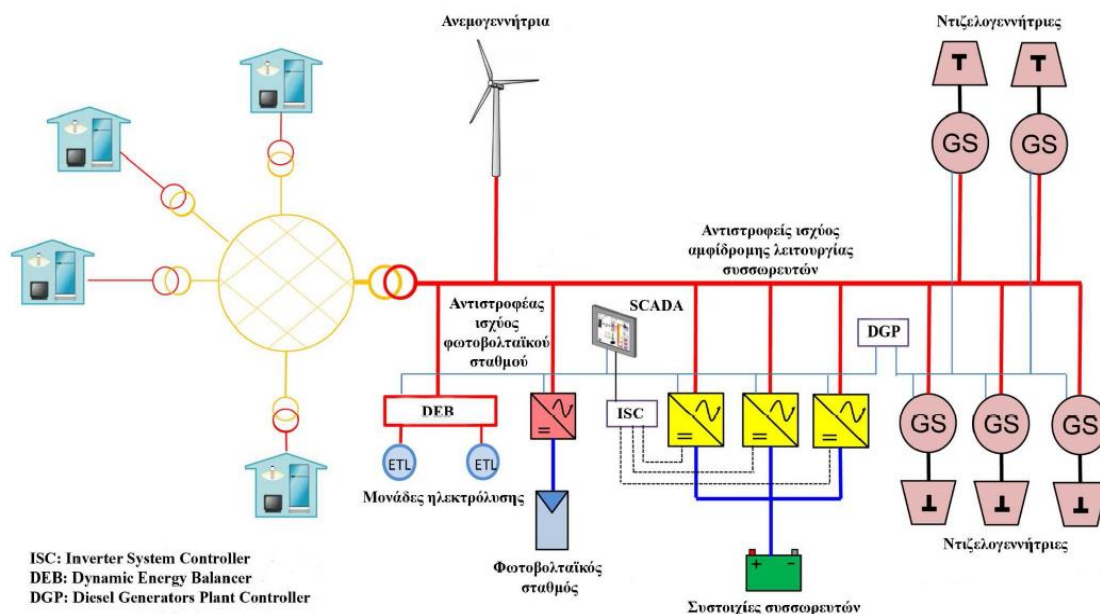


## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας: Η περίπτωση του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης διπολικής διασύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος Αττικής-Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη Αττικής

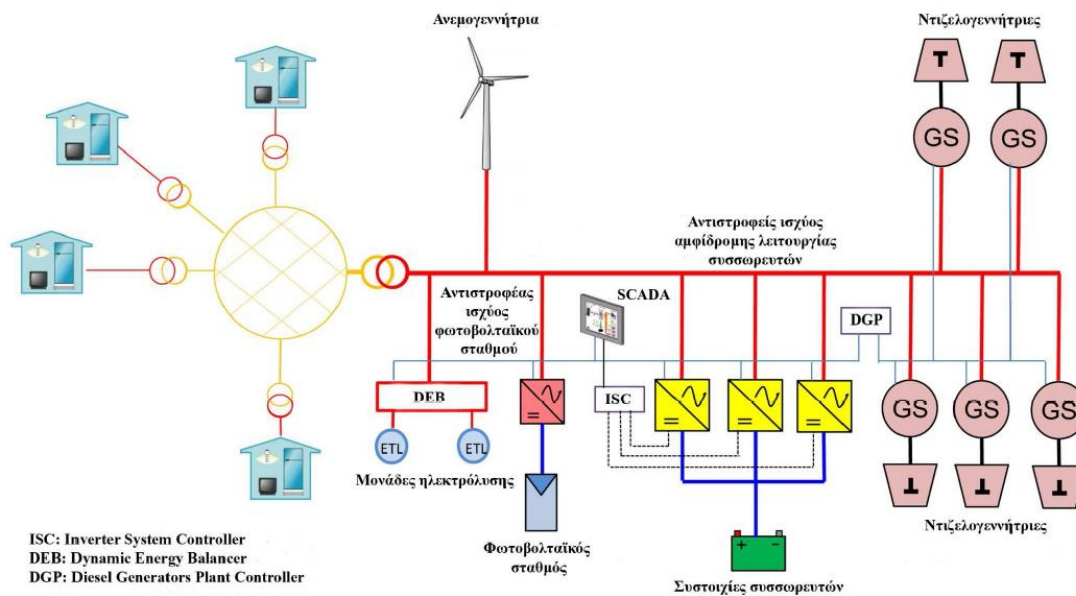


Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια: Παναγιώτα Δεληγιάννη, ΑΜ 23  
Επιβλέπων: Γεώργιος Ι. Τσεκούρας, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΙΓΑΛΕΩ, Ιανουάριος 2021

## MSc Thesis

Small scale hybrid electric power system: The case study of the control house for the grounding electrode station of the bipolar high voltage direct current link for Attica-Crete connection in Stachtoroi islet



Student: Panagiota Deligianni, Registration Number 23

MSc Thesis Supervisor: George Tsekouras, Assistant Professor

ATHENS-EGALEO, January 2021

Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή, εξετάστηκε και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέπων	Μέλος	Μέλος
Γεώργιος Τσεκούρας	Γεώργιος Βόκας	Ηλίας Σταύρακας
Επίκουρος Καθηγητής	Καθηγητής	Καθηγητής

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Δεληγιάννη Παναγιώτα του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου 23 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ηλεκτρικές και Ηλεκτρονικές Επιστήμες μέσω έρευνας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι η συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του τίτλου μου».

Η Δηλούσα



Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας μεγάλος αριθμός αυτόνομου συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικά επίπεδα ισχύος και για ειδικές απαιτήσεις, όπως κλιματικών συνθηκών, εφαρμογών, λειτουργίας, συντήρησης, περιβαλλοντικών επιπτώσεων κα. Στην παρούσα εργασία νέες μέθοδοι σχεδίασης αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται με εφαρμογή στην ηλεκτρική τροφοδοσία του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης διπολικής διασύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος Αττικής-Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη. Οι γενικές οδηγίες της CIGRE και του IEC αναφέρονται στο σύστημα ηλεκτρικής τροφοδοσίας φωτισμού και βοηθητικών φορτίων αυτών των σταθμών ηλεκτροδίων μόνο μέσω του δικτύου διανομής μέσης ή χαμηλής τάσης, ξεχνώντας την ενδεχόμενη κρισιμότητα της διασύνδεσης, όπως συμβαίνει στην Κρήτη. Γι' αυτό αναδιατυπώνονται οι αντίστοιχες οδηγίες διαδικασίας σχεδίασης της ηλεκτρικής τροφοδοσίας του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης, εκτιμώνται αναλυτικά οι ενεργειακές ανάγκες του σταθμού και πραγματοποιείται η βέλτιστη σχεδίαση αυτόνομου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά (φ/β) πλαίσια ναυπηγικής χρήσης και κατάλληλων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης μέσω εξαντλητικών δοκιμών και ανάλυσης ευαισθησίας λαμβάνοντας υπόψη σειρά τεχνικών παραμέτρων, όπως τη γήρανση συσσωρευτών, το βάθος εκφόρτισής τους, την ηλιακή διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, το κόστος κατάληψης γης από τα φ/β πλαίσια κα. Ακολουθώς διαμορφώνεται βέλπιστα η φ/β μονάδα για την εκάστοτε ζητούμενη ισχύ από ένα σύνολο φ/β πλαισίων γενικής χρήσης και αναστροφέων λαμβάνοντας υπόψη τεχνικούς περιορισμούς, κόστη εγκατάστασης, διάρκειες ζωής, αποδόσεις, επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου κα. και επεκτείνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της προηγούμενης διαμόρφωσης κατάλληλα. Στη συνέχεια αναπτύσσεται η μέθοδος βέλτιστης σχεδίασης αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φ/β πλαίσια, συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες που λειτουργούν με το βέλπιστο δυνατό τρόπο, ενώ επιπρόσθετα ρυθμίζονται και άλλες παράμετροι, όπως το εύρος φόρτισης-εκφόρτισης συσσωρευτή κα., εφαρμόζοντάς την όμοια με την περίπτωση του συστήματος με φ/β πλαίσια και συσσωρευτές. Τέλος τα προτεινόμενα αυτόνομα συστήματα συγκρίνονται με τις κλασικές συμβατικές λύσεις (χρήση αυτόνομων συστημάτων με ντιζελογεννήτριες, σύνδεση με το δίκτυο διανομής) και προκύπτει ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη ότι η δημιουργία αυτόνομου συστήματος είτε με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτές, είτε με φ/β πλαίσια ναυπηγικών εφαρμογών, συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες για ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας υπερτερούν έναντι των κλασικών λύσεων ως προς το συνολικό ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής – λειτουργίας – συντήρησης για τα εκάστοτε αποπληρωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου.

**ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ:** αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτροχημικός συσσωρευτής, ντιζελογεννήτρια, οικίσκος ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης διπολικής διασύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, φωτοβολταϊκή μονάδα

## ABSTRACT

*A lot of autonomous power systems have been designed and operated with different power levels and with special requirements for climatic conditions, availability, operation/maintenance cost, fuel consumption, environmental impacts, etc. In this thesis, new methods of designing an autonomous power system are presented by application to the power supply of the shoreline electrode station for HVDC link. This station will be constructed on the small island of Stachtoroi for the new high voltage direct current (HVDC) link of Attica–Crete in Greece. The general guidelines of the International Council on Large Electric Systems (CIGRE) and of the International Electrotechnical Committee (IEC) for the power system of lighting and auxiliary loads for these HVDC stations are supplied from the medium voltage or the low voltage distribution network, whereas they do not take into consideration the criticality of this interconnection, which will practically be the unique power facility of Crete island. Therefore, the respective instructions for the process of designing the electrical supply of shoreline electrode station for HVDC link are reworded, the power needs of the station are evaluated in detail and the optimal design of an autonomous power generation system is carried out in terms of annual equivalent cost of construction, operation and maintenance through exhaustive testing and sensitivity analysis taking into account a number of technical parameters such as battery aging, discharge depth, solar irradiation variance during the day and year, cost of land occupation by the photovoltaic panels etc. Then, the photovoltaic unit is optimally configured for the required power from a set of photovoltaic panels of general use and inverters taking into account technical constraints, installation costs, lifetime, efficiencies, capital recovery rates, etc. and extend the corresponding results of the previous configuration appropriately. Following, the method of optimal design of an autonomous hybrid power generation system with photovoltaic panels, batteries and diesel generators that operate in the optimum operation point is developed, while in addition other parameters are adjusted, such as the charge-discharge range of the battery etc., applying it similar to the case of the autonomous system with photovoltaic panels and batteries. Finally, the proposed autonomous systems are compared with the classic conventional solutions (use of autonomous systems with diesel generators only, connection to the distribution power network) and it turns out that depending on the user requirements the creation of an autonomous system with either general purpose photovoltaic panels and batteries, or with photovoltaic panels for marine applications, batteries and diesel generators for particularly increased reliability requirements are superior to the classic solutions in terms of total annual equivalent construction - operation - maintenance costs for the respective deflated capital recovery rates.*

**KEYWORDS:** autonomous power system, autonomous hybrid power system, battery, diesel generator, photovoltaic panels; shoreline electrode station for HVDC link



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- τον κύριο Γ. Τσεκούρα, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΠΑ.Δ.Α., για την επίβλεψή του κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της παρούσας εργασίας, τη βοήθειά του στη διαμόρφωση των αλγορίθμων και κατά συγγραφή της επιστημονικής δημοσίευσης,
- την κύρια Μ. Ραγκούση, Καθηγήτρια του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΠΑ.Δ.Α., Διευθύντρια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Ηλεκτρικές και Ηλεκτρονικές Επιστήμες μέσω Έρευνας» για την παρουσία της σε όλες τις παρουσιάσεις των τεχνικών αναφορών και τον πάντα υποστηρικτικό της και ενθαρρυντικό της λόγο,
- τον κύριο Γ. Βόκα, Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΠΑ.Δ.Α., για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και τις ιδέες του κατά τις παρουσιάσεις των τεχνικών αναφορών, ειδικά ως προς την εξέταση πλήθους διαφορετικών φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά τη βελτιστοποίηση αυτόνομων συστημάτων,
- τον κύριο Η. Σταύρακα, Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΠΑ.Δ.Α., για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και τις χρήσιμες παρατηρήσεις του κατά τις παρουσιάσεις των τεχνικών αναφορών,
- τον κύριο Κ. Τσιρέκη, Διευθυντή Διεύθυνσης Νέων Έργων Μεταφοράς του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., για τη συνεργασία του στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «*Ερευνητικό έργο διερεύνησης της βέλτιστης διαμόρφωσης συστήματος ηλεκτροδίων γείωσης καλωδίωσης συνεχούς υψηλής τάσης (HVDC) για μεγάλου μήκους διασυνδέσεις Αττικής-Κρήτης*» και την ερευνητική του συνεισφορά κατά τη συγγραφή της επιστημονικής δημοσίευσης,
- την κυρία Β. Κονταργύρη, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό της Σχολής Ηλεκτρολόγων και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π., τον κύριο Φ. Κανέλλο, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης, τον κύριο Π. Κονταξή, Λέκτορα Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΠΑ.Δ.Α., για τη βοήθειά τους κατά την εκτέλεση της παρούσας εργασίας και τη συγγραφή της επιστημονικής δημοσίευσης,
- τέλος την οικογένειά μου για την πολύπλευρη υποστήριξή της.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελ.
Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας</b>	<b>38</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό πλαίσιο του θέματος – Ανασκόπηση του πεδίου</b>	<b>42</b>
1.1. Εισαγωγή στις έννοιες της Ενέργειας και Ισχύος	42
1.1.1. Γενικά	42
1.1.2. Ηλεκτρική ενέργεια	42
1.1.3. Πρωτογενείς μορφές ενέργειας	43
1.1.4. Μορφές ενέργειας κατά τις ανθρώπινες δραστηριότητες	45
1.1.5. Μετατροπές ενέργειας	45
1.1.6. Πηγές ενέργειας	50
1.2. Συμβατικά και Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας	51
1.2.1. Γενικά	51
1.2.2. Συμβατικό σύστημα ενέργειας	52
1.2.3. Υβριδικό σύστημα ενέργειας	53
1.3. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας	55
1.3.1. Γενικά	55
1.3.2. Αυτόνομα και διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	57
1.3.3. Υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	58
1.3.4. Υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας	60
1.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	67
1.5. Περίπτωση Μελέτης: Οικίσκος Ελέγχου Σταθμού Ηλεκτροδίων Γείωσης Διπολικής Διασύνδεσης Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος Αττικής – Σύνδεσης στη νησίδα Σταχτορρόη Αττικής	72
1.6. Βήματα Διπλωματικής Εργασίας	77
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αρχές Σχεδίασης &amp; Διαμόρφωση Οικίσκου Ελέγχου Σταθμού Γείωσης Ηλεκτροδίων Διασύνδεσης Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος Αττικής-Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη</b>	<b>79</b>
2.1. Εισαγωγή	79
2.2. Διαμόρφωση οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης σε νησίδα Σταχτορρόης Αττικής	83
2.3. Προτεινόμενη διαδικασία σχεδίασης για οικίσκο ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης	95
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αρχές Σχεδίασης Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Νησίδα Σταχτορρόης Αττικής</b>	<b>96</b>
3.1. Εισαγωγή	96
3.2. Καταγραφή και εκτίμηση ενεργειακών αναγκών οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων	101
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδίαση του Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας</b>	<b>108</b>
	10

4.1.	Εισαγωγή	108
4.2.	Σύνδεση Σταχτορρόης με Αίγινα μέσω Υποβρύχιου Καλωδίου	108
4.3.	Αυτόνομος Σταθμός με Ντιζελογεννήτριες	109
4.4.	Αυτόνομος Σταθμός με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συσσωρευτές	116
4.4.1.	<i>Γενικά στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας για φωτοβολταϊκά πλαίσια</i>	116
4.4.2.	<i>Κλασική μεθοδολογία διαστασιολόγησης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού</i>	123
4.4.3.	<i>Υπολογισμός γήρανσης συσσωρευτή σε σχέση με τους κύκλους φόρτισης- εκφόρτισης</i>	128
4.4.4.	<i>Προτεινόμενη διαδικασία προσομοίωσης αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας</i>	131
4.4.5.	<i>Προσδιορισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόνομο φωτοβολταϊκό σταθμό κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου</i>	132
4.4.6.	<i>Αλγόριθμος προσδιορισμού διάρκειας ζωής συσσωρευτή</i>	134
4.4.7.	<i>Προκαταρκτική μελέτη ανάπτυξης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού</i>	135
4.4.8.	<i>Οικονομική αξιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού</i>	138
4.4.9.	<i>Σύγκριση βασικής λύσης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού με βασικές λύσεις</i>	140
4.5.	Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συσσωρευτές επιλογής Α.Δ.Μ.Η.Ε. μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	141
4.5.1.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA</i>	141
4.5.2.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA</i>	154
4.5.3.	<i>Σύγκριση βασικών λύσεων με βελτιστοποιημένη επιλογή αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά και συσσωρευτή</i>	166
4.6.	Σχηματισμός Συνάρτησης Ελάχιστου Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής-Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Σταθμού	168
4.6.1.	<i>Διαμόρφωση αλγορίθμου</i>	168
4.6.2.	<i>Ενδεικτική εκτέλεση αλγορίθμου προς κατανόηση βελτιστοποίησής του</i>	182
4.6.3.	<i>Εκτέλεση αλγορίθμου προς εύρεση βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας</i>	189
4.7.	Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	211
4.7.1.	<i>Τρόπος σύγκρισης</i>	211
4.7.2.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA</i>	212
4.7.3.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA</i>	220
4.7.4.	<i>Σύγκριση αποτελεσμάτων από τη χρήση διαφορετικού είδους</i>	228

	<i>συσσωρευτή κατά βελτιστοποιημένη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια γενικής χρήσης</i>	
4.8.	Σύγκριση Βασικών Λύσεων με Βελτιστοποιημένη Διαμόρφωση Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	230
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σχεδιασμός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και συσσωρευτές</b>		<b>232</b>
5.1	Εισαγωγή	232
5.2	Προτεινόμενη μεθοδολογία	234
5.3	Προκαταρκτική μελέτη ανάπτυξης υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	242
5.4.	Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συσσωρευτές Επιλογής Α.Δ.Μ.Η.Ε. μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	256
5.4.1.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA</i>	256
5.4.2.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA</i>	256
5.4.3.	<i>Σύγκριση βασικών λύσεων με βελτιστοποιημένη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά και συσσωρευτή</i>	277
5.5.	Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	279
5.5.1.	<i>Τρόπος σύγκρισης</i>	279
5.5.2.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA</i>	279
5.5.3.	<i>Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA</i>	280
5.5.4.	<i>Σύγκριση αυτόνομου υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, συσσωρευτή και φωτοβολταϊκά γενικής χρήσης με το αντίστοιχο υβριδικό με ντιζελογεννήτριες, συσσωρευτή και φωτοβολταϊκά ναυπηγικής χρήσης</i>	288
5.6.	Σύγκριση Βασικών Λύσεων με Βελτιστοποιημένη Διαμόρφωση Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας	289
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις</b>		<b>292</b>
6.1	Συμπεράσματα	292
6.2.	Μελλοντικά Βήματα	295
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>297</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΩΔΙΚΩΝ</b>		<b>303</b>
Π.1.1.	Κώδικας Υπολογισμού Ετήσιου Κόστους Εγκατάστασης – Συντήρησης Λειτουργίας Υποβρυχίου Καλωδίου και Υποσταθμού	303

	Μέσης / Χαμηλής Τάσης για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης από Αίγινα	
Π.1.2.	Κώδικας Υπολογισμού Ετήσιου Κόστους Εγκατάστασης – Λειτουργίας –Συντήρησης Αυτόνομου Ντιζελοηλεκτρικού Σταθμού Παραγωγής Οικίσκου Σταχτορρόης	305
Π.1.3.	Κώδικας Υπολογισμού Χρόνου Ζωής Συσσωρευτή για Αυτόνομο Σύστημα Φωτοβολταϊκού – Συσσωρευτή για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης	307
Π.1.4.	Κώδικας Υπολογισμού Συνολικού Κόστους Κατασκευής και Λειτουργίας Υβριδικού Αυτόνομου Σταθμού με Ντιζεολογεννήτριες, Φωτοβολταϊκό Σύστημα και Συσσωρευτή για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης	311
Π.1.5.	Κώδικας Σύγκρισης Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Σταθμού προσαρμοσμένου για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης χωρίς Απαίτησεις Αυξημένης Αξιοπιστίας	320
Π.1.6.	Κώδικας Σύγκρισης Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Σταθμού προσαρμοσμένου για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης με Απαίτησεις Αυξημένης Αξιοπιστίας	327
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Παράρτημα Δεδομένων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων και Αναστροφών</b>	<b>335</b>
Π.2.1.	Δεδομένα Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	335
Π.2.2.	Δεδομένα Αναστροφών	344

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

	Σελ.	
1.1.	Πίνακας δυνατών γενικών μετατροπών ενέργειας	46
1.2.	Βασικά χαρακτηριστικά ηλεκτροχημικών συσσωρευτών [Ε6, πιν. 3.3]	64
1.3.	Βασικά χαρακτηριστικά κυψελών καυσίμου [Ε6, πιν. 3.4]	66
3.1.	Θερμικές και ψυκτικές ανάγκες οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων Σταχτορρόης.	103
3.2.	Καταγραφή και εκτίμηση ενεργειακών αναγκών οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων Σταχτορρόης.	105
4.1.	Συσχέτιση πραγματικής χειμερινής ώρας – ηλιακής ώρας για χαρακτηριστικές ημέρες (χειμερινό ηλιοστάσιο, εαρινή ισημερία, εαρινό ηλιοστάσιο, χειμερινή ισημερία).	118
4.2.	Μέσες μηνιαίες ετήσιες ακτινοβολίες και μέση ετήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m <sup>2</sup> ανάλογα με τη γωνία κλίσης χωρίς γωνία σκίασης	120
4.3.	Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, του πλήθους πλαισίων και της χωρητικότητας των συσσωρευτών με βάση τις μέσες μηνιαίες ηλιακές ακτινοβολίες σε kWh/m <sup>2</sup> για μηδενική γωνία σκίασης και για γωνία κλίσης 3° (που είναι η κλίση της στέγης).	125
4.4.	Προσδιορισμός πολλαπλασιαστικού συντελεστή $f_{Hmday}(t, t+\Delta t)$ τελικής τριώρης ηλιακής ακτινοβολίας ως προς την τελική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία τυπικής ημέρας μήνα προς διαμόρφωση κβαντισμένων τριώρων επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας.	133
4.5.	Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πανέλων Sxp154Q, είδους συσσωρευτή (AGM VRLA ή RES SOPzV) και μεγέθους συσσωρευτή (2400 Ah ή 3800 Ah σε ονομαστική τάση 110 V)	136
4.6.	Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q για συσσωρευτή AGM VRLA και χωρητικότητας συσσωρευτή 2400 Ah σε ονομαστική τάση 110 V	142
4.7.	Ανάλυση ευαισθησίας χωρητικότητας συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 110 V για 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q.	144
4.8.	Ανάλυση ευαισθησίας του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA	147
4.9.	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	147
4.10.	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική	152

	τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	
4.11	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	153
4.12	Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές το πλήθος των φ/β πλαισίων Sxp154Q και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V.	153
4.13	Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q για συσσωρευτή RES 7 SOPzV1190 και χωρητικότητας συσσωρευτή 2342 Ah σε ονομαστική τάση 110 V (2 παράλληλες στήλες *55 στοιχεία σε σειρά).	154
4.14	Διαμόρφωση και κόστος κατασκευής συσσωρευτή τύπου RES SOPzV ονομαστικής τάσης 110 V διαφορετικής χωρητικότητας.	155
4.15	Ανάλυση ευαισθησίας χωρητικότητας συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V για 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q	157
4.16	Ανάλυση ευαισθησίας του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV	160
4.17	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	165
4.18	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	166
4.19	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	166
4.20	Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές το πλήθος των φ/β πλαισίων Sxp154Q και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V.	167
4.21	Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή φωτοβολταϊκής μονάδας ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων παραρτήματος 2.	171

4.22	Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών παραρτήματος 2.	202
4.23	Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών της εταιρείας SOLBIAN του παραρτήματος 2.	204
4.24	Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή πλήθους αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για δύο περιπτώσεις (α) για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών παραρτήματος 2, (β) για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών εταιρείας SOLBIAN παραρτήματος 2.	209
4.25	Διαφορά ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από τα πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN (πλήθους από 80 ως 160) και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλασιών του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.	212
4.26	Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	218
4.27	Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	218
4.28	Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.	219
4.29	Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές την τυπική ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 με βέλτιστη διαμόρφωσή της κατά την παράγραφο 4.6, το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλασιών Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά, και τη χω-	220



- ρητικότητα του συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V.
- 4.30 Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 226
- 4.31 Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 226
- 4.32 Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 227
- 4.33 Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές την τυπική ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 με βέλτιστη διαμόρφωσή της κατά την παράγραφο 4.6, το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλασιών Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά, και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή GEL VRLA σε ονομαστική τάση 110 V. 228
- 5.1. Επιτρεπτοί συνδυασμοί λειτουργίας υβριδικού συστήματος με αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  και ελάχιστα απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  με τεχνικά μέγιστο βαθμό φόρτισης συσσωρευτή  $SoC_{max}$  ίσο με 95% και υπολογισμό του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-initial}$  κατά την πρώτη ημέρα εκτέλεσης του αλγορίθμου 242
- 5.2. Ανάλυση ευαισθησίας αυτόνομου υβριδικού σταθμού πλήθους φωτοβολταϊκών πανέλων Sxp154Q ή Sxp154L, είδους (AGM VRLA ή RES SOPzV) και μέγεθους συσσωρευτή (1400, 1675, 1950, 2400 Ah ή 3800 Ah σε τάση 110 V) με χρήση 2 ντιζελομηχανών των 20 kW σε περιπτώσεις με α/α 1 ως 14, με χρήση 4 των 12 kW για α/α 15\* 246
- 5.3. Στοιχεία διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L για τη διαμόρφωση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με προδιαγραφές Α.Δ.Μ.Η.Ε. για ανάλυση ευαισθησίας παραγράφου 5.4.2. 257
- 5.4. Αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, 271

- φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.
- 5.5. Ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή ΔSoC αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 271
- 5.6. Διάρκεια ζωής γεννητριών αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 272
- 5.7. Διάρκεια ζωής συσσωρευτών αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 272
- 5.8. Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτών σε Ah αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 273
- 5.9. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε l αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 273
- 5.10. Ετήσιες ώρες λειτουργίας αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 274
- 5.11. Ετήσια πρόσθετη ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 274

- 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.
- 5.12. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλασιών Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%. 275
- 5.13. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλασιών Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%. 275
- 5.14. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλασιών Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%. 276
- 5.15. Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλασιών Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για διάφορα επιτόκια. 277
- 5.16. Διαφορά ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής –λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από τα πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN (πλήθους από 0 ως 160 με βήμα 20) με χρήση αναστροφέων της εταιρείας SMA και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων φ/β πλασιών και αναστροφέων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φ/β μονάδας και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου. 279
- 5.17. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλασιών και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%. 284
- 5.18. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελο-

	γεννητριών 2*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφών παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%.	
5.19.	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφών παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%.	285
5.20.	Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW (με το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά) για βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφών παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για διάφορα επιτόκια με την παραδοχή της μη αλλαγής λειτουργικών παραμέτρων.	286
Π2.1	Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων	335
Π2.2	Δεδομένα αναστροφών	344

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

		Σελ.
	Εξώφυλλο: Υβριδικό αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας [Ε6, σχήμα 3.17]	1,2
1.1.	Δομή Σ.Η.Ε. [Ε6, σχήμα 2.1]	55
1.2.	Δομή και λειτουργία συμβατικού συστήματος συμπιεσμένου αέρα [Ε6, σχήμα 3.1]	64
1.3.	Δομή και λειτουργία αδιαβατικού συστήματος συμπιεσμένου αέρα [Ε6, σχήμα 3.3]	65
1.4.	Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου με δεξαμενή αποθήκευσης H <sub>2</sub> [Ε18, σχήμα 1].	68
1.5.	Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό για το νησί της Λέσβου [Ε23, σχήμα 1].	69
1.6.	Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για τηλεπικοινωνιακό πομπό [Ε12, σχήμα 1].	69
1.7.	Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό για το νησί της Ικαρίας [Ε26, σχήμα 1].	70
1.8.	Διαμόρφωση διπολικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος με χρήση του «εδάφους» για την επιστροφή ρεύματος (μικρό ποσοστό έναντι του ονομαστικού ρεύματος με εναλλαγή κατεύθυνσης) [Ε8, Fig. 1.2]	74
1.9.	Διαμόρφωση διπολικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος με χρήση του «εδάφους» για την επιστροφή ρεύματος (υπό συνθήκες σφάλματος καλωδίου ενός πόλου το «εδάφος» λειτουργεί με το πλήρες ρεύμα του υγιούς πόλου) [Ε8, Fig. 1.3].	74
1.10.	Διερεύνηση τοποθεσίας εγκατάστασης ηλεκτροδίου λειτουργίας για σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος στην περιοχή Αττικής με κέντρο το Κ.Υ.Τ. Κουμουندούρου – επιλογή Σταχτορρόης Αττικής.	75
1.11.	Οπτική εικόνα της Σταχτορρόης.	75
1.12.	Τυπικό σχέδιο υποβρύχιας βάσης ηλεκτροδίων ποντισμένων σε θαλάσσιο νερό πλησίον της ακτής [Ε22].	76
1.13.	Ενδεικτικό μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτρολογικού πίνακα σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης Σταχτορρόης, όπου D: αποζεύκτης, CB: αυτόματος διακόπτης, ST: μεταγωγικός διακόπτης, Ca: καλώδιο [Ε22].	77
2.1.	Τυπικό μονογραμμικό διάγραμμα τροφοδοσίας παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος σταθμού ηλεκτροδίων στην περίπτωση	80
		21

	τροφοδοσίας κτιρίου / εγκατάστασης με εφεδρική ντιζελογεννήτρια [E9, Fig. 7.1].	
2.2.	Απομόνωση δικτύου διανομής με πολλαπλώς γειωμένο ουδέτερο από εγκατάσταση τροφοδοσίας παροχής εναλλασσόμενης τάσης στο σταθμό ηλεκτροδίων μέσω σπινθηριστή διακένου [E9, Fig. 7.2].	81
2.3.	(α) Διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων ποντισμένων πλησίον της ακτής σε λίμνη, χωρίς σύστημα αυτόματης παρακολούθησης, αλλά με τακτική οπτική παρακολούθηση από ομάδα συντήρησης [E9, Fig. 7.3], (β) διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων χωρίς φράκτη με διακοπτικό εξοπλισμό επί στύλων διανομής [E9, Fig. 7.4].	82
2.4.	(α) Διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων ξηράς στο Itaipu της Βραζιλίας με διακοπτικό υλικό εντός κτιρίου που συνοδεύεται από περιμετρικό φράκτη [E9, Fig. 7.5], (β) θολωτή υπόγεια κατασκευή κατάλληλη για διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων [E9, Fig. 7.6].	83
2.5.	Κάτοψη προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.	91
2.6.	Τομή A/A' προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.	92
2.7.	Τομή B/B' προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.	93
2.8.	Προτεινόμενη διαμόρφωση περιμετρικού χώρου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.	94
3.1.	Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος ως 3 kWp [E17, σχήμα 4.1 σελίδας 131].	97
3.2.	Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος ως 3 kWp [E16, σχήμα 7 σελίδας 427].	98
3.3.	Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος > 3 kWp [E16, σχήμα 14 σελίδας 448].	98
3.4.	Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος > 3 kWp [E17, σχήμα 4.5 σελίδας 137].	99
3.5.	Αλγόριθμος επαναληπτικής υπολογιστικής διαδικασίας βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης υβριδικού σταθμού με κριτήριο το κόστος κύκλου ζωής [E6, σχήμα 3.26/ σελ. 187].	100
4.1.	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υποβρύχιο καλώδιο από Αίγινα και με ύπαρξη εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ως προς επιτόκιο για τις περιπτώσεις: (α) κοστολόγηση αρχικού κεφαλαίου (only capital investment), (β) κοστολόγηση αρχικού κεφαλαίου και συντήρησης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και μετασχηματιστή, (γ) πλήρη κοστολόγηση με χρήση τιμολογίου χαμηλής τάσης Γ21, (δ) πλήρης κοστολόγηση με χρήση τιμολογίου μέσης τάσης ΓΤ.	110
4.2.	Εκτίμηση καμπύλης ισχύος- κατανάλωσης για ηλεκτρογεννήτρια 20 kW [αριθμητικά στοιχεία από E53].	110
4.3.	Μηνιαία προληπτική συντήρηση ντιζελογεννητριών [E55, Fig. 5].	112

- 4.4. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με σύστημα 2 ντιζελογεννητρών 20 kW ως προς επιτόκιο και περιόδους απόσβεσης. 113
- 4.5. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με σύστημα 4 ντιζελογεννητρών 12 kW ως προς επιτόκιο και περιόδους απόσβεσης. 114
- 4.6. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με αρχικό κόστος καυσίμου (100%), 50%, 150% και 200% του αρχικού κόστους, με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με αρχικό κόστος καυσίμου (100%), 50%, 150% και 200% του αρχικού κόστους, με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, για υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη. 115
- 4.7. Διάγραμμα ύψους ήλιου ( $\beta$ ) σε συνάρτηση με το ηλιακό αζιμούθιο για την περιοχή της Σταχτορρόης Αττικής. 117
- 4.8. Εικόνα εύκαμπτου πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πανέλου Sxp154L της Solbian, ονομαστικής ισχύος 154 W για 18,2 V και 8,5 A υπό συνθήκες NOTC (1,5 AM, 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C), τάσης ανοικτοκύκλωσης  $V_{oc}$  23,0 V, έντασης βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  9,1 A, -0,38%/°C για ισχύ, -0,27%/°C για  $V_{oc}$ , +0,05%/°C για  $I_{sc}$ , διαστάσεων 1523 x 683 x 2 mm, βάρους 2,40 kg, κατάλληλο για ναυπηγικές εφαρμογές / θαλάσσιο περιβάλλον [E37]. Το Sxp154Q έχει μόνο διαφορετικές διαστάσεις 1046 x 996 x 2 mm. 121
- 4.9. Επέκταση στέγης και χωροθέτηση 128 φωτοβολταϊκών πανέλων τύπου Sxp154Q της Solbian [E37], 16 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας A-Δ) και 8 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας B-N) με τρεις διαδρόμους 41 cm έκαστος, συνολικής ισχύος 19712 W. 126
- 4.10. Επέκταση στέγης και χωροθέτηση 100 φωτοβολταϊκών πανέλων τύπου Sxp154L της Solbian [E37], 20 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας A-Δ) και 5 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας B-N) με δύο διαδρόμους 54 cm έκαστος, συνολικής ισχύος 15400 W. 126
- 4.11. Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή σε Ah σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα ομαλούς λειτουργίας για το αυτόνομο σύστημα για διάφορους συνδυασμούς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ειδών και χωρητικότητας συσσωρευτών. 137
- 4.12. Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή ανηγμένη στην ονομαστική του χωρητικότητα [%] σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα ομαλούς λειτουργίας για το αυτόνομο σύστημα για διάφορους συνδυασμούς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ειδών και χωρητικότητας συσσωρευτών. 137
- 4.13. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και 139

- συσσωρευτών για έξι διαφορετικά σενάρια ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.
- 4.14. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για τις περιπτώσεις των 128 φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,8 έτη και των 128 φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah με χρόνο αντικατάστασης 6,2 έτη και με μεταβολή κόστους  $\pm 25\%$  ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 140
- 4.15. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,8 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah με χρόνο αντικατάστασης 6,2 έτη, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 141
- 4.16. Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητού πλήθος φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V και 2400Ah. 142
- 4.17. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος. 143
- 4.18. Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητής χωρητικότητας συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V με 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q. 144
- 4.19. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος και 120 φ/β πλαίσια Sxp154Q. 145
- 4.20. Ασφαλής χρόνος λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000). 146
- 4.21. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό 148



- πλήθος φ/β πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.
- 4.22. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φ/β πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 149
- 4.23. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φ/β πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 151
- 4.24. Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητού πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV 108 V και 2342Ah. 155
- 4.25. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή RES SOPzV 108 V χωρητικότητας 2342 Ah με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος. 156
- 4.26. Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητής χωρητικότητας συσσωρευτή RES SOPzV 108 V με 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q. 157
- 4.27. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV 108 V με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος και 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q. 158
- 4.28. Ασφαλής χρόνος λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φ/β πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14. 159
- 4.29. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 161

- 4.30. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 162
- 4.31. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 164
- 4.32. Συγκριτική παράσταση ετήσιου ισοδύναμου κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών ανάμεσα στους τύπους συσσωρευτή RES SOPzV και AGM VRLA Narada για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια. 167
- 4.33. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 168
- 4.34. Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τον άξονα xOx' επισημαίνοντας ελάχιστες αποστάσεις διαδρομών και μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη υπό διαμόρφωση ομάδων φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ταράτσας. 175
- 4.35. Χωροθέτηση πλαισίων επί κάτοψης ταράτσας: (α) μήκος πλαισίου  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα xOx' και πλάτος του  $l_{PV-y}$  κατά τον άξονα yOy', (β) πλάτος πλαισίου  $l_{PV-y}$  κατά τον άξονα xOx' και μήκος του  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα yOy', επισημαίνοντας ελάχιστες αποστάσεις διαδρομών και μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη υπό διαμόρφωση ομάδων φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ταράτσας. 176
- 4.36. Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια με το μήκος τους  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα xOx' με διαδρόμους με πλάτους  $d_x$  προς προσδιορισμό του αριθμού των πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  ( $n_{team-x}=3$ ,  $n_{PV-x}=2$ ). 177
- 4.37. Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια με το μήκος τους  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα xOx' με διαδρόμους με πλάτους  $d_x$  και με αριθμό πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  προς προσδιορισμό πρόσθετου πλήθους πλαισίων  $\Delta n_x$  ( $n_{team-x}=3$ ,  $n_{PV-x}=2$ ,  $\Delta n_x=1$ ). 178
- 4.38. Κάτοψη ταράτσας οικίσκου με δύο ζώνες επέκτασης («1» και «2») 181

- μέσω κατάλληλων προβόλων
- 4.39. Γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους φωτοβολταϊκής μονάδας σε συνάρτηση με την ισχύ (μπλε γραμμή=πραγματική, κόκκινη=κβαντισμένη). 182
- 4.40. Γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσιο τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ισχύ (μπλε γραμμή=πραγματική, κόκκινη=κβαντισμένη) με χρήση τριφασικών αναστροφέων τύπου Tripower της εταιρείας SMA: (α) εύρος εκτέλεσης, (β) μεγέθυνση, για επιτόκιο 10%. 183
- 4.41. Γραφική παράσταση της προσαύξησης των διαστάσεων ταράτσας ως προς τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  κατά τη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ. 184
- 4.42. Γραφική παράσταση του εμβαδού επέκτασης ταράτσας ως προς τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  κατά τη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ. 184
- 4.43. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα της ομάδας tripower της εταιρείας SMA σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, χωρίς αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας. 185
- 4.44. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, χωρίς αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας. 186
- 4.45. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα της ομάδας tripower της εταιρείας SMA σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας (χρήση δύο τουλάχιστον αναστροφέων). 187
- 4.46. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας (χρήση δύο τουλάχιστον αναστροφέων). 188
- 4.47. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της διαφοράς ετήσιου ισοδύναμου κόστους της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN με αυξημένη και 188

- χωρίς αυξημένη αξιοπιστία σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.
- 4.48. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του άξοντα αριθμού τύπου φωτοβολταϊκού πλαισίου σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 190
- 4.49. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του άξοντα αριθμού τύπου φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2. 192
- 4.50. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με τον αντίστοιχο τύπο σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 193
- 4.51. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με τον αντίστοιχο τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2. 194
- 4.52. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $xOx'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 195
- 4.53. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $yOy'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 196
- 4.54. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $xOx'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και 197

- το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2.
- 4.55. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $yOy'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2. 198
- 4.56. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης του εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 199
- 4.57. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξεσης του εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2. 200
- 4.58. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της διαφοράς προσαύξεσης εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας μεταξύ των πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN και του συνόλου πλαισίων του παραρτήματος 2, καθώς και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας. 201
- 4.59. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 203
- 4.60. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα για επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2. 205
- 4.61. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους αναστροφών σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2. 207
- 4.62. (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους αναστροφών για επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου 208

- εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2.
- 4.63. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας εξετάζοντας το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου. 210
- 4.64. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας εξετάζοντας το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN και το σύνολο όλων των αναστροφών του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου. 210
- 4.65. Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της διαφοράς ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλαισίων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου. 211
- 4.66. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμέ-νο επιτόκιο. 213
- 4.67. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 215
- 4.68. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 216

- 4.69. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 221
- 4.70. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 223
- 4.71. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 224
- 4.72. Ποσοστιαία μείωση ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκής μονάδας βέλτιστης διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 έναντι χρήσης φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών για διαφορετικούς τύπους συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight και AGM VRLA Narada ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 229
- 4.73. Συγκριτική παράσταση ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκής μονάδας βέλτιστης διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 έναντι χρήσης φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών για διαφορετικούς τύπους συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight και AGM VRLA Narada ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 229
- 4.74. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 230
- 4.75. Ποσοστιαία μείωση κόστους του βέλτιστου αυτόνομου συστήματος 231

διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight έναντι του μικρότερου κόστους από οποιαδήποτε άλλη λύση (αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη και βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20), ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

- 5.1. Διαμόρφωση αυτόνομου δικτύου νήσου Σταχτορροής (A= αποζεύκτης, A/Δ = Αυτόματος διακόπτης ισχύος, A/Δ.ZΣ= Αυτόματος διακόπτης ισχύος ζεύξης δικτύων συνεχούς τάσης, A/Δ.L= Αυτόματος διακόπτης ισχύος ζεύξης δικτύων εναλλασσόμενης τάσης, Αγ= γραμμή τροφοδοσίας τελικού φορτίου, ΔΔΕ= Διακόπτης διαφυγής έντασης (ή στη θέση του διάταξη επιτήρησης μόνωσης), Σ= συσσωρευτής τύπου AGM VLRA ή RES SOPzV κτλ, Ch= μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη & το αντίστροφο μαζί με διάταξη φόρτισης συσσωρευτή, Co = μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη από φωτοβολταϊκά πλαίσια, D= δίοδος αντεπιστροφής, F= ασφάλεια τήξης, Fv = φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά, G= γεννήτρια, g<sub>pr</sub>= γείωση προστασίας, g<sub>o</sub>=γείωση λειτουργίας (εφόσον υπάρχει), Mcb=μικροαυτόματος, R= ηλεκτρονόμος χειρισμού, π<sub>1</sub>= φορτία ρευματοδοτών – φωτισμού με προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.1, π<sub>2</sub>= φορτία κινητήρων – συσκευών χωρίς προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.1, π<sub>3</sub>= φορτία ρευματοδοτών – φωτισμού με προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.2, π<sub>4</sub>= φορτία κινητήρων – συσκευών χωρίς προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.4, κ= φορτία αδιάλειπτης τροφοδοσίας) 233
- 5.2. Τελική απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή σε τέλος ζωής για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah. 247
- 5.3. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah. 247
- 5.4. Ετήσια διάρκεια λειτουργίας των γεννητριών για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, 247



- χωρητικότητα 2400 Ah.
- 5.5. Ετήσια πρόσθετη ενέργεια περιόδου που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πανέλα για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητα 2400 Ah. 248
  - 5.6. Διάρκεια ζωής συσσωρευτή για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητα 2400 Ah. 248
  - 5.7. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης με αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3% για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητα 2400 Ah. 248
  - 5.8. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών, συσσωρευτών και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW για έξι διαφορετικά σενάρια ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο 249
  - 5.9. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα 100 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L, συσσωρευτών RES SOPzV μεταβλητής χωρητικότητας ( $\alpha/\alpha = 6$  ως 9 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητα 2400 Ah. 251
  - 5.10. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 ( $\alpha/\alpha = 9$  ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητα 2400 Ah. 251
  - 5.11. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για τις περιπτώσεις των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητα 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,8 έτη, με υβριδικό σύστημα 80 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L με συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,69 έτη, με υβριδικό σύστημα 60 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L με συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,66 έτη και με μεταβολή κόστους  $\pm 25\%$  ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 252
  - 5.12. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών 253

- RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 (α/α =9 ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 50% του αρχικού κόστους.
- 5.13. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φ/β πλαισίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 (α/α =8, 10 ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φ/β σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 200% του αρχικού κόστους. 254
- 5.14. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, 20 ή 0 φ/β πλαισίων Sxp154L και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW, για υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, 0 πλαισίων και 4 ντιζελογεννητριών των 12 kW, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φ/β σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 100% και 200% του αρχικού κόστους. 255
- 5.15. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη, υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,5 έτη, 20 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με χρόνο αντικατάστασης 10 έτη, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο και με διάφορα κόστη καυσίμου. 256
- 5.16. Αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή SoC<sub>op</sub>-min-initial για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 260
- 5.17. Ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού 261

- φόρτισης συσσωρευτή ΔSoC για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.
- 5.18. Διάρκεια ζωής γεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 262
- 5.19. Διάρκεια ζωής συσσωρευτών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 263
- 5.20. Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτών σε (α) Ah και (β) % της ονομαστικής χωρητικότητας για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 264
- 5.21. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου [l] ντιζελογεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 265
- 5.22. Ετήσιες ώρες λειτουργίας ντιζελογεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 266
- 5.23. Ετήσια πρόσθετη ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14. 267
- 5.24. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρη- 268

- σης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%.
- 5.25. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%. 269
- 5.26. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%. 270
- 5.27. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20, βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 278
- 5.28. Επιτρεπτή αύξηση κόστους καυσίμου σε % ανάμεσα στο βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15 και το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 278
- 5.29. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφών παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%. 281

- 5.30. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέν παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%. 282
- 5.31. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέν παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%. 283
- 5.32. Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20 (“optimized marine PV+ESS”), βέλτιστο αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight (“optimized general PV+ESS”), βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15 (“optimized hybrid PV+ESS+ diesel generator”), βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζεύγων 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων γενικής χρήσης και αναστροφέν παραρτήματος 2, συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.20 (“optimized general PV+ESS+ diesel generator”) με την παραδοχή μη αλλαγής λειτουργικών παραμέτρων, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. 290

**Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας**

---

Αρχικός σκοπός της προτεινόμενης έρευνας είναι η διερεύνηση υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας προς κάλυψη αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων, π.χ. νήσων, πλοίων, κτλ. εξετάζοντας συμβατικές μονάδες παραγωγής (π.χ. ντιζελογεννήτριες, μικρούς αεριοστρόβιλους, ατμοστρόβιλους κτλ.) σε συνδυασμό με νέες τεχνολογίες (π.χ. κυψέλες καυσίμου), ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. αιολικά, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά κτλ.), συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. συσσωρευτές βαναδίου, αντλησιοταμίευση, κα.). Ο λόγος που στρέφεται η έρευνα σε μικρά συστήματα είναι ότι στα πλαίσια του εξηλεκτρισμού απομονωμένων περιοχών, όχι μόνο στον ελλαδικό χώρο, π.χ. νησιά, αλλά και παγκοσμίως, π.χ. Αυστραλία, Αφρική, τίθεται το ζήτημα του ολιστικού τρόπου σχεδίασης και λειτουργίας των συστημάτων ενέργειας, δίνοντας έμφαση στον ηλεκτρισμό, λόγω των διευκολύνσεων που παρέχει στην αξιοποίησή του και της φιλικότητάς της μέσω των βασικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Την ίδια στιγμή στη ναυτιλία λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών που επιβάλλεται από το Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (IMO) τίθεται το ίδιο ζήτημα στα πλοία και στις πλωτές κατασκευές, οδηγώντας τα στη διερεύνηση του πλήρους εξηλεκτρισμού τους λόγω του καλύτερου βαθμού απόδοσης σε χαμηλά και μεσαία φορτία πρόωσης σε σχέση με τους κλασικούς τρόπους σχεδίασης.

Συγχρόνως η παράλληλη εμπλοκή στο ερευνητικό έργο: «*Ερευνητικό έργο διερεύνησης της βέλτιστης διαμόρφωσης συστήματος ηλεκτροδίων γείωσης καλωδίασης συνεχούς υψηλής τάσης (HVDC) για μεγάλου μήκους διασυνδέσεις Αττικής-Κρήτης*» με κωδικό 80595 με ιδιοκτήτη τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., με ανάδοχο το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής και επιστημονικό υπεύθυνο τον επιβλέποντα της εργασίας, κ. Τσεκούρα, έδωσε το έναυσμα να προσανατολιστεί η αρχική ιδέα της έρευνας σε ένα υπαρκτό και συγκεκριμένο πρόβλημα, της τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια του οικίσκου ελέγχου του σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης στη νησίδα της Σταχτορρόης Αττικής που απέχει 8 km από την Αίγινα με χρήση τεχνικο-οικονομικών κριτηρίων.

Συγκεκριμένα το βασικό γενικό ερευνητικό ερώτημα είναι πως μπορεί να διαμορφωθεί και να λειτουργήσει οικονομικά και αξιόπιστα ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλύπτει το σύνολο των καταναλώσεών του. Για τα διασυνδεδεμένα ή τα μεγάλα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας των εκατοντάδων MW και GW οι βασικές αρχές σχεδίασης και λειτουργίας έχουν διερευνηθεί κατά τα τελευταία 100 χρόνια ιδιαίτερα αναλυτικά καταλήγοντας στη συγγραφή βιβλίων [E1-E3, E1-E2] και η εξέλιξη βρίσκεται τώρα στους άξονες της διεξόδου των διεσπαρμένων πηγών [E4-E5, E3], της ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων [E6, E3] και της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [E4-E5]. Στα μικρά όμως συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (ως κάποια MW) η έρευνα ήταν πιο περιορισμένη, μέχρι που γνώρισε κατά τα τελευταία 20 χρόνια μία έντονη ανάπτυξη λόγω της ύπαρξης μικρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

και των συστημάτων συσσώρευσης ενέργειας σε νησιά και πλοία [E7, E6]. Συγχρόνως όμως υπάρχει και το πλεονέκτημα ότι ένα μικρό αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί εύκολα να ανασχεδιαστεί ριζικά εξαρχής σε αντίθεση με τα μεγάλα συστήματα, που για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους οι οποιοσδήποτε αλλαγές μπορεί να είναι σταδιακές.

Ειδικότερα στην περίπτωση τροφοδοσίας του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης για τη διασύνδεση υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος Αττικής-Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη υπάρχει μία σειρά πρόσθετων προβλημάτων, που εν μέρει πηγάζουν από τις ελάχιστες αντίστοιχες κατασκευές παγκοσμίως και στον περιορισμό των γενικών οδηγιών από την πλευρά του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE) [E8] και της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνίας (IEC) [E9] σε τροφοδοσία των αντίστοιχων σταθμών από δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την κρισιμότητα της διασύνδεσης Αττικής-Κρήτης για τη νήσο Κρήτης [E10]. Η τελευταία οδηγεί στην απαίτηση ενός αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας από πλευράς πηγών ενέργειας, όμοιων με αυτών των στρατιωτικών εγκαταστάσεων και των χειρουργείων – μονάδων εντατικής θεραπείας σε νοσοκομεία [E11].

Οπότε η παρούσα εργασία θα κινηθεί σε δύο βασικούς άξονες:

(α) θα γίνει μία σύντομη ερευνητική διερεύνηση στο αντικείμενο των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, με έμφαση στα υβριδικά, όπου εντοπίζονται πλήθος εφαρμογών [E12-E13], διαφορετικοί συνδυασμοί μονάδων παραγωγής ενέργειας [E14-E24], μεγάλο αριθμός τεχνικών σχεδίασης, λειτουργίας και ελέγχου [E12-E32], που λαμβάνουν υπόψη διάφορα κριτήρια τεχνικά, οικονομικά, αξιοπιστίας και περιβαλλοντικά [E17-E18]. Υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης:

- στο συνδυασμό της σχεδίασης και της λειτουργίας, καθώς αλληλοεπιδρούν και στις περισσότερες περιπτώσεις δε διερευνώνται συγχρόνως,
- στον προσδιορισμό της ζήτησης φορτίου από πλευράς καταναλώσεων,
- στη χρήση τυποποιημένων εμπορικών μεγεθών με τα αντίστοιχα τυπικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν γενικά επιθυμητά στοιχεία που δεν κατασκευάζονται / δεν μπορούν να υπάρξουν στην πράξη,
- στη σύγκριση με την περίπτωση της διασύνδεσης με το δίκτυο διανομής, όπου σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αγνοείται ως στοιχείο,
- στην εφαρμογή και άλλων μεθόδων βελτιστοποίησης.

(β) θα γίνει η μελέτη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης για τη διασύνδεση υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος στην περίπτωση που είναι αυτόνομο, με εφαρμογή στη νησίδα Σταχτορρόη για τη σύνδεση Αττικής-Κρήτης. Αρχικά θα μελετηθούν οι βασικές αρχές σχεδίασης του οικίσκου με βάση τις οδηγίες CIGRE-IEC [E8-E9], θα δειχθούν οι αδυναμίες τους και θα διατυπωθούν οι βασικές αρχές αρχιτεκτονικής σχεδίασης του οικίσκου ελέγχου, προσαρμοσμένου στο περιβάλλον της Σταχτορρόης. Ακολούθως θα πραγματοποιηθεί η βασική διαστασιολόγηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ξεκινώντας από τη μελέτη της ζήτησης φορτίου και καταλήγοντας στην τροφοδότησή του είτε με διασύνδεση μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου από την κοντινότερη τροφοδοτούμενη

ακτή, δηλαδή από την Αίγινα, είτε με αυτόνομο σύστημα παραγωγής, που μπορεί να απαρτίζεται από την κλασική λύση της χρήσης ντιζελογεννητριών ή φωτοβολταϊκών πλαισίων με συσσωρευτές ή υβριδικής του μορφής. Άλλες συνήθεις συμπληρωματικές πηγές έχουν απορριφθεί είτε για περιβαλλοντικούς λόγους (προστατευόμενη περιοχή είδους γλάρων), π.χ. ανεμογεννήτριες, ή για οικονομικούς λόγους, π.χ. κυψέλες καυσίμου. Οι προτεινόμενες λύσεις συνοδεύονται από ανάλυση ευαισθησίας κρίσιμων παραμέτρων, π.χ. κόστος καυσίμου, διάρκεια ζωής κρίσιμων εξαρτημάτων.

Η συγκεκριμένη εργασία έχει δομηθεί ως εξής:

- Στο κεφάλαιο 1 γίνεται η σύντομη ερευνητική διερεύνηση στο αντικείμενο των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, και συνδέεται με την ειδική εφαρμογή στην περίπτωση οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης για τη διασύνδεση υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος.
- Στο κεφάλαιο 2 γίνεται η προκαταρκτική σχεδίαση του οικίσκου για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και μέσω αυτής διατυπώνονται οι βασικές αρχές σχεδίασης.
- Στο κεφάλαιο 3 διατυπώνονται τα βασικά βήματα ανάπτυξης συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και προσδιορίζεται η ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών καταναλώσεων τόσο από πλευράς ισχύος, όσο και από πλευράς ενέργειας.
- Στο κεφάλαιο 4 εξετάζονται με οικονομο-τεχνικά κριτήρια και ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων η τροφοδότηση μέσω διασύνδεσης από άλλη περιοχή, με αυτόνομο σύστημα ντιζελογεννητριών, με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων και συσσωρευτών. Για τα δύο αυτόνομα συστήματα επιλύονται συγχρόνως επιμέρους προβλήματα, όπως ο χρόνος γήρανσης ντιζελογεννητριών ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας και συσσωρευτών ανάλογα με το βάθος εκφόρτισης και τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, κτλ. Υλοποιείται η βελτιστοποίηση διαμόρφωσης του αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια ναυπηγικών εφαρμογών και συσσωρευτές για διαφορετικό πλήθος πλαισίων, είδη συσσωρευτών (AGM VRLA και GEL VRLA) και μέγεθος χωρητικότητας μέσω εξαντλητικών δοκιμών και ανάλυσης ευαισθησίας. Ακολουθώς αναπτύσσεται μία μέθοδος βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας ως προς το ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια μέσω εξέτασης όλων των πιθανών συνδυασμών χρήσης τύπων πλαισίων – τύπων αναστροφών λαμβάνοντας υπόψη τους τεχνικούς περιορισμούς διαμόρφωσης της μονάδας (π.χ. όρια τάσης λειτουργίας, περιορισμοί ρεύματος ανά στοιχειοσειρά αναστροφέα) και τα κόστη αγοράς τεχνικού εξοπλισμού, έκτασης γης, τις αποδόσεις των αναστροφών κα. Τέλος με χρήση της βέλτιστης φ/β μονάδας διαμορφώνεται η βέλτιστη διαμόρφωση του αυτόνομου συστήματος με συσσωρευτές και φ/β πλαίσια γενικής έναντι ναυπηγικής χρήσης και ελέγχεται η καταλληλότητα της επιλογής αυτής μέσω ανάλυσης ευαισθησίας.
- Στο κεφάλαιο 5 επεκτείνεται η ανάλυση του προηγούμενου κεφαλαίου στην περίπτωση υβριδικού αυτόνομου συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές επιλύοντας συγχρόνως τόσο τα αντίστοιχα προβλήματα του κεφαλαίου, δηλαδή π.χ. του χρόνου γήρανσης ντιζελογεννητριών και συσσωρευτών, όσο και τα ιδιαίτερα ζητήματα λειτουργίας του υβριδικού



συστήματος, όπως συνθήκες φόρτισης ντιζελογεννητριών, μέγιστης και ελάχιστης φόρτισης συσσωρευτών κα.. Πραγματοποιείται η βέλτιστη επιλογή των ντιζελογεννητριών, φ/β ναυπηγικής χρήσης και συσσωρευτών ως προς ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής – λειτουργίας – συντήρησης για διάφορα επιτόκια μέσω εξαντλητικών δοκιμών και κατάλληλης ρύθμισης λειτουργικών παραμέτρων, όπως εύρος φόρτισης και εκφόρτισης συσσωρευτή. Ακολουθώντας με χρήση της βέλτιστης επιλογής φ/β μονάδας με πλαίσια γενικής χρήσης από το προηγούμενο κεφάλαιο και με την παραδοχή της μη μεταβολής ρύθμισης λειτουργίας συσσωρευτών και ντιζελογεννητριών για το εκάστοτε επίπεδο ισχύος προσδιορίζεται η βέλτιστη διαμόρφωση του αυτόνομου υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήριες, συσσωρευτές και φ/β πλαίσια γενικής έναντι ναυπηγικής χρήσης και ελέγχεται η καταλληλότητα της επιλογής αυτής.

- Στο κεφάλαιο 6 προκύπτουν τα βασικά συμπεράσματα, με έμφαση στην παρούσα εφαρμογή αν χρειάζεται η διαμόρφωση αυτόνομου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή η ανάπτυξη του δικτύου διανομής, ενώ διατυπώνονται τα μελλοντικά βήματα.
- Στο παράρτημα 1 καταγράφονται οι σχετικοί αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν στο προγραμματιστικό πακέτο MATLAB.
- Στο παράρτημα 2 καταγράφονται τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών φωτοβολταϊκών πλαισίων και αναστροφέων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

## 1.1. Εισαγωγή στις έννοιες της Ενέργειας και Ισχύος

### 1.1.1. Γενικά

Η σύγχρονη ζωή του ανθρώπου στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πολύπλοκα τεχνολογικά επιτεύγματα. Επιστημονικές ανακαλύψεις υλοποιούνται ταχύτατα υπό τη μορφή νέων συσκευών, οι οποίες εμφανίζονται καθημερινά στον κόσμο και οδηγούν αντίστοιχα σε γρήγορες αλλαγές στον τρόπο της ανθρώπινης ζωής. Είναι δυνατό να ειπωθεί ότι η μεγάλη σημερινή τεχνολογική πρόοδος βασίζεται κυρίως σε τρεις παράγοντες:

- στην ικανότητα μετατροπής ενέργειας με ελεγχόμενο τρόπο για την παραγωγή πάσης φύσης χρήσιμου έργου,
- στην ικανότητα παράγωγης και βελτίωσης κατάλληλων υλικών,
- στην ικανότητα, στον έλεγχο και στην αξιοποίηση της πληροφορίας.

Οπότε κρίσιμο στοιχείο είναι η ενέργεια, η οποία είναι ένα από τα διαδεδομένα φυσικά μεγέθη, όμως και από τα πιο δύσκολα, διότι δε γίνεται εύκολα αντιληπτό από τις αισθήσεις, σε αντίθεση τον όγκο ή τη θερμοκρασία. Ως *ενέργεια θεωρείται η ικανότητα ενός σώματος ή ενός συστήματος να παράγει έργο*. Με τη σειρά το έργο ορίστηκε σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με τη βοήθεια ενός σώματος στο οποίο ασκείται δύναμη μέτρου  $F$  που το μετατοπίζει κατά ένα διάστημα μήκους  $S$ , του οποίου η διεύθυνση του διαστήματος σχηματίζει με τη διεύθυνση της δύναμης αυτής γωνία  $\varphi$ , με συνέπεια το παραγόμενο έργο να είναι ίσο με το εσωτερικό γινόμενο των αντίστοιχων διανυσμάτων δύναμης και διαστήματος. Ακολούθως έγινε η σκέψη ότι το παραγόμενο έργο πραγματοποιήθηκε από μία ισόποση κατανάλωση ενέργειας που δόθηκε είτε από το μυϊκό σύστημα του ανθρώπου, είτε την κινούσα μηχανή [E6]. Συγχρόνως ορίστηκε και η ισχύς ως ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας ως προς το χρόνο, δηλαδή κατά πόσο γρήγορα ή αργά προσφέρεται (ή καταναλώνεται) η ενέργεια.

### 1.1.2. Ηλεκτρική ενέργεια

Νευραλγικής σημασίας για τη σύγχρονη διαβίωση του ανθρώπου είναι η παραγωγή, η διανομή και η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η **ηλεκτρική ενέργεια** είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία συνδέεται με την παρουσία ή την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων [E7]. Άλλες μορφές ενέργειας γνωστές από τη επιστήμη της φυσικής είναι π.χ. η μηχανική ενέργεια που κατέχει ένα αυτοκίνητο που κινείται, η θερμική ενέργεια που έχει το θερμό νερό στο λέβητα θέρμανσης, η χημική ενέργεια που κατέχει κάθε καύσιμη ύλη και η ατομική ενέργεια που έχει μία ατομική βόμβα.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια πολύ χρήσιμη μορφή ενέργειας, γιατί μπορεί εύκολα και αποδοτικά να μετατραπεί σε άλλες μορφές. Σημειώνεται ότι με τον όρο **μετατροπή ενέργειας** εννοείται η αλλαγή της φυσικής μορφής της. Ενδεικτικό παράδειγμα φυσικής

είναι η τελική προκύπτουσα ενέργεια μιας υδατόπτωσης από τη θερμική ενέργεια του ήλιου μέσω του κύκλου του νερού, που περιλαμβάνει την εξάτμιση των επίγειων νερών, την κίνηση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα μέσω των ανέμων, την πτώση τους υπό τη μορφή βροχής και τη ροή του νερού πάνω στην επιφάνεια της γης. Ένα παράδειγμα τεχνητής μετατροπής ενέργειας είναι η παραγόμενη μηχανική ενέργεια από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος καταναλώνει την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στους ακροδέκτες τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- είναι «καθαρή» στη χρήση της,
- είναι διαθέσιμη όποτε ζητηθεί,
- μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά,
- μετατρέπεται εύκολα σε άλλες μορφές.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η ηλεκτρική ενέργεια είχαν ως αποτέλεσμα τη συνεχώς αυξανόμενη διείσδυσή της στην κάλυψη των αναγκών της ανθρώπινης κοινωνίας και ιδιαίτερα των αστικών αναγκών.

### *1.1.3. Πρωτογενείς μορφές ενέργειας*

Οι πραγματικά πρωτογενείς πηγές ενέργειας που υπάρχουν στη φύση είναι:

- η **ηλιακή ενέργεια**, η οποία προέρχεται από τη σύντηξη του υδρογόνου στον ήλιο. Οι χρήσεις της είναι άμεσες και έμμεσες (που απαιτεί το μετασχηματισμό της ηλιακής ενέργειας σε άλλη μορφή). Στις άμεσες ανήκουν:
  - οι συλλέκτες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
  - οι συλλέκτες συγκέντρωσης θερμότητας,
  - τα φωτοστοιχεία,
  - οι χημικοί συλλέκτες (οργανικοί και ανόργανοι μέθοδοι).

Στις έμμεσες ανήκουν:

- η εκμετάλλευση της αποθηκευμένης θερμότητας στο έδαφος, στο νερό (υπόγεια ύδατα, λίμνες, ποτάμια) και στον αέρα μέσω αντλίας θερμότητας,
  - τη δημιουργία του ανέμου και την ύπαρξη της αιολικής ενέργειας,
  - τα θαλάσσια φαινόμενα που προκαλούνται από την ηλιακή ενέργεια, όπως τη βυθομετρική θερμοκρασιακή διαφορά, τη θερμοκρασιακή διαφορά νερού – πάγου, την ενέργεια κυμάτων και θαλάσσιων ρευμάτων,
  - την ενέργεια του κύκλου του νερού (υπό τη μορφή της υδροδυναμικής ενέργειας και της διαφοράς περιεκτικότητας αλατιού μεταξύ θαλάσσιου και γλυκού νερού),
  - τη φωτοσύνθεση (από την οποία έχουν προκύψει τα χημικά καύσιμα και οι κυριότερες βιολογικές μετατροπές).
- η **ενέργεια γήινης προέλευσης**, η οποία είναι κατά κύριο λόγο θερμική (γεωθερμική - θερμές πηγές - ηφαίστεια),
  - η **ενέργεια πυρηνικής φύσης** (σχάση πυρήνων ισοτόπων / ραδιενεργών υλικών - σύντηξη πυρήνων μικρού ατομικού βάρους).
  - η **ενέργεια παλιρροϊκών κινήσεων**, η οποία οφείλεται στην επίδραση των βαρυτικών δυνάμεων μεταξύ των ουράνιων σωμάτων (στην περίπτωση της γης οφείλεται κυρίως στην επίδραση μεταξύ ήλιου - γης - σελήνης).

Πρακτικά οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, οι οποίες καλούνται στην ενεργειακή οικονομία ως πρωτογενείς, είναι:

- τα **χημικά καύσιμα**, κυρίως ο άνθρακας (πάσης φύσης, όπως λιγνίτης, γαιάνθρακας, τύρφη, κκ) , το πετρέλαιο (και πάσης φύσης υγρά καύσιμα, όπως βενζίνη, κηροζίνη, κκ.) και το αέριο (φυσικό ή τεχνητό, όπως το φωταέριο). Τα υλικά αυτά θεωρούνται πηγες ενέργειας υπό την έννοια ότι μια χημική αντίδραση – συνήθως η οξειδωση – απελευθερώνει ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας, φωτός και εκπεμπόμενων προϊόντων καύσης. Δηλαδή μια χημική αντίδραση προκαλεί τη μετατροπή ενέργειας από μια μορφή αποθηκευμένης ενέργειας στο καύσιμο σε άλλες μορφές, όπως είναι η θερμική, η ακτινοβολία και η μηχανική. Ορισμένες φορές η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται άμεσα για το φωτισμό (π.χ. λάμπες υγραερίου) ή έμμεσα μέσω μετατροπής της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια μέσω της μηχανής εσωτερικής καύσης ή ενός ατμοστροβίλου. Για λόγους μεταφοράς και τελικής χρησιμοποίησης μέρος της ενέργειας του καύσιμου μετατρέπεται σε μια ακόμη ενδιάμεση μορφή, όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια.
- η **ενέργεια του νερού**, η οποία μπορεί είτε να είναι αποθηκευμένη ως δυναμική ενέργεια με τη βοήθεια φραγμάτων, είτε να είναι υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας λόγω της ροής του νερού στα ποτάμια και να μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική μέσω υδροστροβίλων και ηλεκτρικών γεννητριών.
- η **πυρηνική ενέργεια**. Ορισμένα ραδιενεργά καύσιμα (π.χ. εμπλουτισμένο ουράνιο, πλουτόνιο κτλ.) δύνανται να απελευθερώσουν ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας μέσω της διαδικασίας της διάσπασης, η οποία εκτελείται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες σχάσης. Γενικά σε μεγάλα μεγέθη ισχύος της τάξης εκατοντάδων MW είναι οικονομικά συμφέρουσα, χωρίς όμως να ξεχνά κανείς και τις σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ειδικά σε περίπτωση ατυχήματος (Τσερνομπιλ, 1986). Μια άλλη πυρηνική διαδικασία είναι η σύντηξη, η οποία συμβαίνει στα άστρα και σε πειραματικούς αντιδραστήρες σύντηξης. Η τελευταία υπόσχεται να καταστεί πηγή πρακτικά απεριόριστων ποσών ενέργειας, εφόσον η επιστήμη και η τεχνολογία μπορέσουν να υλοποιήσουν τεχνικές μεθόδους έλεγχου της ενέργειας που απελευθερώνεται.
- η **αιολική ενέργεια**. Ουσιαστικά είναι η κινητική ενέργεια που κρύβει μέσα του η μάζα του αέρα, όπως αυτή κινείται με διαφορετική ταχύτητα γύρω από το γήινο φλοιό και η οποία αξιοποιείται από τον άνθρωπο μέσω των ανεμογεννητριών και των ανεμόμυλων άντλησης νερού και άλεσης σιτηρών και άλλων αγροτικών προϊόντων.
- η **γεωθερμική ενέργεια** (και γενικότερα πάσης φύσης εκμετάλλευση θερμοκρασιακών διαφορών). Ουσιαστικά χρησιμοποιείται είτε για την άμεση θέρμανση νερού χρήσης ή ρευστού θέρμανσης, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παραγωγής ατμού και χρήσης ατμοστροβίλου.
- η **ηλιακή ενέργεια**. Ο ήλιος ακτινοβολεί επί της γης κατά τη διάρκεια ενός έτους ενέργεια μεγαλύτερη από όση είναι αποθηκευμένη σε όλες τις υπόλοιπες γνωστές σήμερα πηγές χημικών καυσίμων της γης. Ωστόσο η σημερινή τεχνολογία δεν επιτρέπει οικονομικά τη συγκέντρωση και τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες, παρά μόνο σε ειδικές εφαρμογές, όπως απομονωμένοι φάροι, ή κατά την άμεση μετατροπή της σε θερμότητα, π.χ. θερμοσίφωνες. Αντίθετα η

ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατή συνήθως μόνο με επιδότηση.

- η **ενέργεια από τα απορρίμματα** και γενικά πάσης φύσης **οργανικά κατάλοιπα**. Ουσιαστικά η εκμετάλλευσή τους είναι όμοια των χημικών καυσίμων, αν και ως πρώτη ύλη έχουν διαφορετική πηγή.
- η **ενέργεια των παλιρροϊκών κυμάτων και θαλάσσιων ρευμάτων νερού**, η οποία βασίζεται στην αντίστοιχη ροή του νερού με χρήση κατάλληλων στροβίλων – γεννητριών. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας είναι κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο.

Από τις παραπάνω πηγές ενέργειας μόνο η ηλιακή ενέργεια, η πυρηνική σύντηξη και η ενέργεια των υδάτων υπόσχονται επαρκή παροχή για χιλιετίες. Αντίθετα τα αποθέματα των χημικών και των πυρηνικών καυσίμων επαρκούν για λίγες ανθρώπινες γενιές [E8].

#### *1.1.4. Μορφές ενέργειας κατά τις ανθρώπινες δραστηριότητες*

Οι συνήθεις τελικές μορφές ενέργειας στην κατανάλωση είναι:

- **θερμική**, όπως στις διάφορες τεχνικές διεργασίες των βιομηχανιών, στη θέρμανση χώρων, στο μαγείρεμα και στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για τον οικιακό τομέα,
- **μηχανική**, όπως στους κινητήρες των βιομηχανιών και του οικιακού τομέα, στην κίνηση οχημάτων στον τομέα της συγκοινωνίας,
- **φωτεινή**, όπως στους λαμπτήρες διαφόρων τύπων.

Ανεξάρτητα των πρωτογενών πηγών ενέργειας από τις οποίες λαμβάνεται η ενέργεια, υφίσταται πάντοτε το πρόβλημα της μετατροπής, της μεταφοράς και της χρησιμοποίησής της, καθώς και των υλικών και των εγκαταστάσεων, που εμπλέκονται σε όλες αυτές τις φάσεις. Με τη σημερινή τεχνολογία η μόνη μορφή ενέργειας που επιλύει άνετα τα βασικά προβλήματα της μεταφοράς, της διανομής και χρησιμοποίησης σε πολλούς και διάφορους σκοπούς, είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Γι' αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις ενέργεια οποιασδήποτε πηγής χρειάζεται να μετατρέπεται σε ηλεκτρική, ώστε να καλυφθεί μέρος των αντίστοιχων ανθρώπινων αναγκών σε ενέργεια [E8].

#### *1.1.5. Μετατροπές ενέργειας*

Γενικά οι δυνατές μετατροπές ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη (και όχι αποκλειστικά σε ηλεκτρική) παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Τα μη διαγώνια στοιχεία είναι μετατροπές ενέργειας από τη μία μορφή σε άλλη, όπως η άμεση μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται μέσω κυψελών καυσίμου, ενώ η άμεση μετατροπή της ηλεκτρικής σε χημική μέσω της ηλεκτρόλυσης. Τα κύρια διαγώνια στοιχεία περιέχουν μετατροπές που δεν μεταβάλλουν τη μορφή της ενέργειας, αλλά τα χαρακτηριστικά της, π.χ. σε ένα μετατροπέα ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική δύναμη να μεταβάλλονται συγχρόνως στοιχεία, όπως σ' έναν κυκλομετατροπέα η τάση και η συχνότητα. Αντίστοιχα ο έλικας ενός πλοίου μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια που λαμβάνει πάλι σε μηχανική άλλων όμως χαρακτηριστικών (περιστροφική κίνηση έλικα → ευθύγραμμη κίνηση πλοίου). Σημειώνεται ότι η πυρηνική ενέργεια άμεσα μετατρέπεται σε θερμότητα, που γενικά περιλαμβάνει πάσης φύσης ακτινοβολία [E8].

**Πίνακας 1.1:** Πίνακας δυνατών γενικών μετατροπών ενέργειας

Προς Από	Χημική ενέργεια	Μηχανική ενέργεια	Ηλεκτρική ενέργεια	Υδραυλική ενέργεια	Πνευματική ενέργεια	Θερμότητα
Χημική ενέργεια	Αναμορ- φωτής	Μηχανή	Κυψέλη καυσίμου	Έμβολο		Φούρνος
Μηχανική ενέργεια		Κιβώτιο ταχυτήτων Έλικας	Ηλεκτρο- γεννήτρια	Υδραυλική αντλία	Αερο- συμπιεστής	Πύργος ψύξης
Ηλεκτρική ενέργεια	Ηλεκτρό- λυση	Ηλεκτρο- κινητήρας	Μετατρο- πέας			Θερμαντής
Υδραυλική ενέργεια		Υδραυλικός κινητήρας		Υδραυλικός μετατροπέας		
Πνευματική ενέργεια		Πνευματικός κινητήρας			Μειωτής	
Θερμότητα		Τουρμπίνα				Εναλλάκτης
Πυρηνική ενέργεια						Αντιδρα- στήρας

Ειδικότερα οι πιο γνωστές μέθοδοι μετατροπής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι οι εξής:

1. η **θερμική - μηχανική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή που αποτελεί τη βάση για την πλειοψηφία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα. Στην περίπτωση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού το καύσιμο (όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, η βιομάζα κα.) καίγεται για την παραγωγή θερμότητας. Ακολούθως η θερμότητα παράγει ατμό, ο οποίος χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ατμοστροβίλου, που αποτελεί την κινητήρια μηχανή της ηλεκτρογεννήτριας. Την ίδια βασική δομή λειτουργίας έχουν πυρηνικοί ηλεκτρικοί σταθμοί, όπου το καύσιμο είναι πυρηνικά υλικά διάσπασης, ενώ ως μέσο πέρα του νερού έχει χρησιμοποιηθεί το βαρύ ύδωρ, το διοξείδιο του άνθρακα, το ήλιον και το υγρό νάτριο. Η βασική αλυσίδα μετατροπής ενέργειας είναι: καύσιμο → θερμότητα → ρευστό μέσο → μετατροπή θερμικής ενέργειας σε μηχανική → μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, αν και είναι δυνατό να υπάρξουν ορισμένες παρεκκλίσεις προς βελτίωση της απόδοσης της εγκαταστάσεις. Επίσης στις περιπτώσεις των μηχανών εσωτερικής καύσης η αντίστοιχη αλυσίδα είναι: καύσιμο → παραγωγή καυσαερίων και θερμότητας → μετατροπή μηχανικής-κινητικής ενέργειας καυσαερίων σε ηλεκτρική. Με αυτές τις διαδικασίες είναι δυνατή η παραγωγή τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας με βασικά μειονεκτήματα τη μείωση των αποθεμάτων των χημικών καυσίμων και τις αρνητικές επιπτώσεις μόλυνσης του περιβάλλοντος και έκλυσης τεράστιων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου. Ειδικά για τις πυρηνικές μονάδες πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κίνδυνοι πυρηνικού ατυχήματος, καθώς και η διάθεση πάσης φύσης πυρηνικών - ραδιενεργών αποβλήτων. Τέλος στην ίδια κατηγορία ανήκει και το φαινόμενο εκμετάλλευσης των δυνάμεων διαστολής στην περίπτωση θέρμανσης ενός υλικού, το οποίο είναι κατάλληλο για τη λειτουργία αισθητήρων, όχι όμως για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.
2. η **καθαρώς μηχανική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή που περιλαμβάνει την υδροηλεκτρική ισχύ των νερών που είτε είναι αποθηκευμένα σε λεκάνες μέσω φραγμάτων, είτε προέρχεται από τη ροή του νερού των ποταμών. Στην

τελευταία κατηγορία μπορεί να συμπεριληφθεί και οι περιπτώσεις των παλιρροϊκών ρευμάτων, των θαλάσσιων κυμάτων, καθώς και η περίπτωση του αέρα (αιολική ενέργεια) με χρήση ανεμογεννητριών. Η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ισχύος πραγματοποιείται σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα βασικά της μειονεκτήματα είναι ότι δεν διατίθενται επαρκή αποθέματα νερών σε σχέση με τη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος ανά τον κόσμο, ενώ ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης ισχύος είναι εποχιακή λόγω της μεταβλητής παροχής νερού στα ποτάμια. Επίσης στην περίπτωση κατασκευής φραγμάτων τίθενται περιβαλλοντικά ζητήματα λόγω της διακοπής της φυσικής ροής των ποταμών. Όσον αφορά τα παλιρροϊκά ρεύματα διαθέτουν τεράστιες ποσότητες δυναμικής ενέργειας, υφίστανται όμως σε ορισμένα μέρη παγκοσμίως και απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις. Η εκμετάλλευση των θαλάσσιων κυμάτων είναι σε ερευνητικό επίπεδο, ενώ η χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία όμως δεν έχει σταθερή παροχή παραγόμενης ισχύος και έχει αρχικό κόστος εγκατάστασης αρκετό υψηλό με μικρή διάρκεια ζωής έναντι των κλασικών θερμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής.

3. η **καθαρώς χημική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή που επιτυγχάνεται μέσω των ηλεκτρικών στοιχείων / συσσωρευτών και των κυψελών καυσίμων. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (υγροί ή ξηροί) έχουν βρει εφαρμογή σε πολλές ειδικές εφαρμογές, αλλά δεν δύνανται να δώσουν υπολογίσιμες ποσότητες ενέργειας έναντι της αντίστοιχης παγκόσμιας ζήτησης. Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή, η οποία μετατρέπει την εκλυόμενη ενέργεια μιας χημικής αντίδρασης άμεσα σε ηλεκτρική. Το καύσιμο μπορεί να είναι υδρογόνο με παράγωγο προϊόν νερό, διάφορα είδη υδρογονανθράκων, όπως μεθάνιο, αιθανόλη κτλ. με παράγωγα προϊόντα νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Αν και η χρήση είναι σχετικά καθαρή, υπάρχουν σειρά τεχνολογικών ζητημάτων προς επίλυση και η εφαρμογή τους περιορίζεται σε ειδικές εφαρμογές, όπως διαστημικές συσκευές, υποβρύχια κτλ, λόγω του υψηλού κόστους.
4. η **μαγνητούδροδυναμική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή. Η αρχή της είχε διατυπωθεί από το Faraday μέσω κατάλληλων πειραμάτων του, σύμφωνα με τα οποία, όταν πλάσμα, δηλαδή ένα ιονισμένο ρευστό ηλεκτρικά ουδέτερο, ρέει μέσω ενός στατικού μαγνητικού πεδίου, εξασκείται δύναμη στα ιονισμένα σωματίδια, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό των θετικών φορτίων από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια). Τα ηλεκτρόνια κινούνται κάθετα προς τη φορά κίνησης του ρευστού και συλλέγονται από κατάλληλα αγωγικά ηλεκτρόδια. Αν κλείσει το κύκλωμα στα άκρα των ηλεκτροδίων, τότε παράγεται ρεύμα και ουσιαστικά ηλεκτρική ενέργεια, η οποία προέρχεται από μέρος της κινητικής ενέργειας του ρευστού, με συνέπεια το ρευστό να υφίσταται ελάττωση της ταχύτητάς του. Σύγχρονες εφαρμογές συναντώνται με τη χρησιμοποίηση ως ιονισμένου ρευστού αερίου υψηλής θερμοκρασίας, όπως των καυσαερίων θερμοηλεκτρικών μονάδων και του θερμαινόμενου αδρανούς αερίου στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, το οποίο βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα. Τα αέρια αυτά δεν περιέχουν πολλά ιονισμένα σωματίδια, αλλά η περιεκτικότητά τους όμως σε ιόντα αυξάνεται σημαντικά με τη θερμοκρασία. Η μέγιστη θερμοκρασία στα προϊόντα καύσης κανονικών καυσίμων

είναι περίπου 5000 K, ενώ σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα οι μέγιστες επιτυγχανόμενες θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλότερες φθάνοντας τους 1500 K. ωστόσο όμως και στη θερμοκρασία των 5000 K η περιεκτικότητα του αερίου σε ιόντα είναι τόσο χαμηλή, που δεν είναι δυνατή η λειτουργία μίας μαγνητοϋδροδυναμικής γεννήτριας λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας. Το τελευταίο δύναται να λυθεί με την προσθήκη στο αέριο υλικού χαμηλού δυναμικού ιονισμού, όπως το κάλιο, το καίσιο κτλ. επιτυγχάνοντας επαρκής ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αισθητά χαμηλότερες θερμοκρασίες, περίπου 3000 K, οπότε καθίσταται δυνατή η κατασκευή αντίστοιχων γεννητριών συνεχούς λειτουργίας και ισχύος δεκάδων MW. Η χρησιμοποίησή αυτής της γεννήτριας λόγω του ιδίου χαμηλού βαθμού απόδοσης μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο ως συμπληρωματικό στοιχείο ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού παράγωγης βελτιώνοντας σημαντικά το συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης, καθώς τα καυσαέρια των κλασικών μονάδων ή τα ψυκτικά αέρια μέσα των πυρηνικών σταθμών ούτως η άλλως υπάρχουν. Σημειώνεται ότι υπάρχει και η δυνατότητα της αντίθετης πορείας, δηλαδή της κατασκευής μαγνητοϋδροδυναμικού κινητήρα. Π.χ. το ρευστό μπορεί να είναι θαλασσινό νερό και με την επίδραση κατάλληλου μαγνητικού πεδίου μπορεί να προκληθεί η σχετική κίνηση του ρευστού σε σχέση με το πλεύμενο που διαθέτει αυτόν τον κινητήρα σχηματίζοντας ένα κινητήρα πρόωσης. Τέτοιες κατασκευές βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο.

5. η **θερμοηλεκτρική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή, η οποία βασίζεται στο ομώνυμο φαινόμενο που ανακαλύφθηκε από το Seebeck, σύμφωνα με το οποίο, όταν δύο αγωγοί διαφορετικού υλικού είναι ενωμένοι και στα δύο άκρα τους και οι δύο ενώσεις βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, τότε αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη που είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Με χρήση αυτής της αρχής λειτουργίας έχουν κατασκευαστεί διάφορα θερμοστοιχεία, που είναι χρήσιμα για τη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας, και θερμοηλεκτρικές συσκευές υπό τη μορφή αντλιών θερμότητας για τον έλεγχο της θερμοκρασίας ηλεκτρονικών στοιχείων. Όμως με τα υπάρχοντα υλικά η παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας είναι εξαιρετικά μικρή για αξιοποίησή της ως μονάδα παραγωγής.
6. η **θερμιονική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** σε ηλεκτρική μορφή, η οποία βασίζεται στην αρχή της εκπομπής ηλεκτρονίων που ανακαλύφθηκε από τον Edison. Αν η κάθοδος και η άνοδος (πομπός και δέκτης ηλεκτρονίων) συνδεθούν ηλεκτρικά μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος και ο πομπός θερμανθεί σε επαρκή θερμοκρασία, τότε αποκαθίσταται μεταξύ αυτών μία διαφορά δυναμικού λόγω της εκπομπής ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια απορροφώνται από το δέκτη και ρεύμα ρέει στο εξωτερικό κύκλωμα. Αυτό έχει ως συνέπεια η θερμική ενέργεια να μετατρέπεται σε ηλεκτρική και είναι δυνατή να τροφοδοτηθεί ένα φορτίο που είναι συνδεδεμένο στο εξωτερικό κύκλωμα. Η διαθέσιμη όμως διαφορά δυναμικού είναι μικρή, ενώ αντιμετωπίζονται μία σειρά από τεχνικά προβλήματα για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Ωστόσο τέτοιοι μετατροπείς μπορούν να αξιοποιηθούν με οικονομικά κριτήρια σε περιπτώσεις που λειτουργούν σε συνδυασμό με πυρηνικούς αντιδραστήρες ή με ραδιενεργά υλικά που δεν είναι κατάλληλα για πυρηνικά



καύσιμα, όπως το ράδιο. Η ράβδος του πυρηνικού καύσιμου μπορεί να σχεδιασθεί, ώστε να περιβάλλεται από θερμοιονικούς μετατροπείς. Η θερμότητα που παράγεται από το πυρηνικό καύσιμο διεγείρει το θερμοιονικό μετατροπέα, ενώ συγχρόνως μεταφέρεται και στο αντίστοιχο ρευστό λειτουργίας. Δηλαδή ο αντιδραστήρας τροφοδοτεί με θερμότητα τόσο το συμβατικό κύκλο παράγωγης, όσο και το θερμοιονικό μετατροπέα. Ακολούθως πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια προσφέρεται από το θερμοιονικό μετατροπέα. Ομοίως στην περίπτωση ραδιενεργού υλικού, το τελευταίο μπορεί να διαμορφωθεί σε κατάλληλη μορφή (π.χ. ράβδων ή σφαιρών), η οποία θα περιβάλλεται από θερμοιονικούς μετατροπείς που διεγείρονται από την παραγόμενη θερμότητα οδηγώντας στην παραγωγή μικρών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, κατάλληλης όμως για την τροφοδοσία δορυφόρων, απομακρυσμένων φάρων κα. Αυτές οι συσκευές είναι γνωστές ως συσσωρευτές ισωτόπων.

7. η **φωτοηλεκτρική μέθοδος μετατροπής ενέργειας** κατά την οποία ενέργεια ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η αρχή λειτουργίας στηρίζεται στην τεχνολογία ημιαγωγών, όπου οι αποκαλούμενες φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι δίοδοι που προορίζονται να δέχονται φωτεινή ακτινοβολία, της οποίας τα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη φορέων οπών – ελεύθερων ηλεκτρονίων. Το ενσωματωμένο όμως ηλεκτροστατικό πεδίο της ένωσης p-n της διόδου είναι κατά τέτοιο τρόπο φτιαγμένο που δεν δίνει τη χρονική ευκαιρία στους φορείς να επανασυνδεθούν, αλλά εκτρέπει τις δημιουργούμενες οπές προς το τμήμα τύπου p και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια προς το τμήμα τύπου n. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσεται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου, που διατηρείται όσο επιδρά η ακτινοβολία, δημιουργώντας μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Αντίθετη ακριβώς λειτουργία εκτελούν τα φωτοκύτταρα, τα οποία καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια παράγουν ακτινοβολία. Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες έχουν βρει εκτεταμένη εφαρμογή την τελευταία πενήκονταετία στην τροφοδοσία δορυφόρων και απομακρυσμένων επίγειων σταθμών τηλεπικοινωνιών. Η παραγόμενη ποσότητα ενέργειας εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας που εκτίθεται στη φωτεινή ακτινοβολία, καθώς επίσης απαιτούνται συσσωρευτές, εφόσον πρόκειται η συσκευή να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους σκοταδιού. Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται για τη συστηματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχηματίζοντας τα λεγόμενα φωτοβολταϊκά πάρκα. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι το μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης (3-πλάσιο με 5-πλάσιο ενός συμβατικού σταθμού), η εξαρτώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη διάρκεια της ηλιοφάνειας και τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά), η καταλαμβανόμενη έκταση, η μη ελεγχόμενη παραγωγή από τον άνθρωπο και η μικρή διάρκεια ζωής έναντι των συμβατικών. Εξαιτίας του κόστους η αντίστοιχη κατασκευή υλοποιείται μόνο υπό καθεστώς επιδότησης, αν και η φωτοηλεκτρική μετατροπή σε ηλεκτρική είναι από τις πιο φιλικές ως προς το περιβάλλον.

Οι προαναφερθείσες μέθοδοι μετατροπής ενέργειας δύνανται να κατηγοριοποιηθούν:

- στις **έμμεσες**, στις οποίες ανήκουν η θερμική – μηχανική και η μηχανική, και
- στις **άμεσες** στις οποίες ανήκουν η καθαρώς χημική, η μαγνητοϋδροδυναμική μετατροπή, η θερμοηλεκτρική, η φωτοηλεκτρική, η θερμοιονική.

Οι πλέον διαδεδομένες είναι οι έμμεσες μέθοδοι, καθώς κυριαρχούν οι θερμοηλεκτρικοί και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί έχουν αρχίσει να βρίσκουν εκτεταμένες εφαρμογές, ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι εξυπηρετούν ως επί το πλείστον ειδικές εφαρμογές.

Τέλος επισημαίνονται ορισμένοι χαρακτηριστικοί πρακτικοί τρόποι αποθήκευσης ανά μορφή ενέργειας:

- για την **ηλεκτρική** ενέργεια επιτυγχάνονται κυρίως μέσω της μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας με:
  - χρήση συσσωρευτών (σε χημική ενέργεια),
  - αύξηση περιστροφικής ενέργειας σφονδύλου (σε μηχανική – περιστροφική ενέργεια),
  - μεταφορά νερού σε μεγαλύτερο υψόμετρο (σε μηχανική –δυναμική ενέργεια),
  - συμπίεση αέρα σε αεροφυλάκιο (σε μηχανική/πνευματική –δυναμική ενέργεια),
  - χρήση υπερπυκνωτών ή μεγάλων πηνίων (αρκετά ακριβή λύση που αποφεύγεται).
- για τη **θερμική** ενέργεια επιτυγχάνονται άμεσα με:
  - χρησιμοποίηση θερμοχωρητικότητας, όπως θερμοσυσσωρευτές,
  - χρησιμοποίηση λανθάνουσας θερμότητας υπό σταθερή θερμοκρασία, π.χ. δεξαμενές νερού-ατμού.
- για τη **μηχανική** ενέργεια μέσω σφονδύλων,
- για την **υδραυλική** ενέργεια μέσω μεταφοράς νερού σε υψηλότερο επίπεδο ή χρήσης πιεστικού δοχείου,
- για την **πνευματική** ενέργεια μέσω αεροφυλακίων,
- για τη **χημική** ενέργεια μέσω χρήσης αναμορφωτή και αποθήκευσης των χημικών πρώτων υλών, π.χ. υδρογόνου.

Ουσιαστικά παρατηρείται ότι η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται εύκολα από ή σε οποιαδήποτε μορφή ενέργειας δίνοντάς τη δυνατότητα να αποθηκεύεται με έμμεσο τρόπο [E8].

Τέλος κάθε μετατροπή ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη συνεπάγεται απώλειες ενέργειας, δηλαδή στη διάρκεια κάθε μετατροπής ενέργειας δεν επιτυγχάνεται απόλυτη μετατροπή σε ποσοστό 100% από τη μία μορφή στην άλλη. Διότι μία ποσότητα ενέργειας δε μετατρέπεται στην επιθυμητή μορφή, καθώς είτε παραμένει στην αρχική μορφή, είτε μετατρέπεται σε κάποια άλλη μη αξιοποιήσιμη μορφή ενέργειας. Ως βαθμός απόδοσης της μετατροπής ορίζεται ως λόγος της ποσότητας ενέργειας  $E_{\text{τελ}}$  που μετατρέπεται σε τελική μορφή από συνολική ποσότητα ενέργειας  $E_{\text{αρχ}}$  αρχικής μορφής [E6].

### 1.1.6. Πηγές ενέργειας

Η χρήση του όρου «πηγές ενέργειας» δεν είναι 100%, καθώς σύμφωνα με την αρχή της διατήρησης ενέργειας, η ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται, απλώς αλλάζει μορφές. Πρακτικά ο όρος «πηγές ενέργειας» εκφράζει τη δυνατότητα μετατροπής κάποιας αρχικής διαθέσιμης μορφής ενέργειας σε κάποια άλλη τελική ενέργεια χρήσης. Χρησιμοποιώντας καταχρηστικά αυτόν τον όρο κάποιες από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας συναντώνται στη φύση και καλούνται ως φυσικές πηγές ενέργειας. Με την τεχνολογική ανάπτυξη μπορεί να γίνει η συλλογή, η αποθήκευση ή και η απευθείας μετατροπή των μορφών ενέργειας που απαντώνται στις φυσικές πηγές

ενέργειας, σε μορφές ενέργειας που είναι χρήσιμες για τον άνθρωπο. Οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε:

- στις *συμβατικές-μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*: Χαρακτηρίζονται οι πηγές οι οποίες δεν αναπληρώνονται από φυσικές διαδικασίες, ή αναπληρώνονται εξαιρετικά αργά για την ανθρώπινη χρονική διάσταση. Περιλαμβάνονται κυρίως ο άνθρακας (τύρφη, λιγνίτες, υποπισσούχοι γαιάνθρακες, πισσούχοι γαιάνθρακες και ανθρακίτης), το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, δηλαδή τα ορυκτά καύσιμα. Βέβαια, η φύση συνεχίζει να δημιουργεί άνθρακα και πετρέλαιο, αλλά με αρκετά αργό ρυθμό, καθώς σχηματίζει σε 1000 έτη την ημερήσια κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, από το οποίο φαίνεται ότι δεν είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα ανήκουν και τα πυρηνικά καύσιμα, π.χ. φυσικό ή εμπλουτισμένο ουράνιο, πλουτώνιο (που έχει παραχθεί από πυρηνικές αντιδράσεις) κτλ.. Η παραγόμενη ισχύς και ενέργεια είναι σχεδόν πλήρως ελεγχόμενη από τον άνθρωπο, αν και ρυπογόνα όντας μη φιλική για τον άνθρωπο και το φυσικό περιβάλλον.
- στις *ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)*: Χαρακτηρίζονται οι πηγές ενέργειας που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και ανανεώνονται ετησίως με ρυθμούς υψηλότερους από την κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο. Θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες, γεωγραφικά διεσπαρμένες, συνήθως μη ρυπογόνες και με χαμηλό λειτουργικό κόστος, φιλικές για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, ωφέλιμες για την κοινωνία. Κατά την αξιοποίησή τους υπάρχουν μία σειρά περιορισμένων που έγκειται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη τεχνικά αξιόπιστων και οικονομικά βιώσιμων τεχνολογικών λύσεων, καθώς επίσης διακρίνονται για τη γεωγραφική διασπορά του δυναμικού τους και τη δύσκολη συγκέντρωση μεγάλων μεγεθών ισχύος, για τη χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, για τις διακυμάνσεις της διαθεσιμότητάς τους και το χαμηλό συντελεστή εκμετάλλευσής τους. Περιλαμβάνουν τον ήλιο, τον άνεμο, τις υδατοπτώσεις, τη γεωθερμία, τη βιομάζα, τη θάλασσα [Ε6].

## 1.2. Συμβατικά και Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας

### 1.2.1. Γενικά

Ως ενεργειακό σύστημα καλείται το σύνολο των μέσων και των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ενέργειας στα σημεία ζήτησής της. Τέτοιου είδους συστήματα είναι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μίας νήσου, το κεντρικό σύστημα θέρμανσης μίας πόλης, το σύστημα πρόωσης ενός πλοίου, χωρίς όμως να περιορίζεται από το μέγεθος, αλλά από το αν μπορεί να λειτουργήσει μόνο του. Δηλαδή θερμικό σύστημα είναι και το σύστημα θέρμανσης μίας κατοικίας ή το αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα ενός φάρου ή το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας που διασυνδέεται με τα άλλα συστήματα γειτονικών χωρών.

Κατά τα τελευταία χρόνια αναφέρεται συχνά μία διάκριση των συστημάτων ενέργειας και ειδικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε συμβατικά και υβριδικά, ειδικά μετά τη μεγάλη εξάπλωση διαφόρων τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας από Α.Π.Ε. Στη συνέχεια θα δοθεί το κριτήριο διάκρισης ανάμεσα στα δύο συστήματα ενέργειας,

που αρκετές φορές έχει κυριαρχήσει να χρησιμοποιείται ο όρος μονάδες παραγωγής αντί μονάδες μετατροπής ενέργειας.

### 1.2.2. Συμβατικό σύστημα ενέργειας

Ένα συμβατικό σύστημα ενέργειας είναι το σύστημα το οποίο βασίζει την παραγωγή ενέργειας σε μονάδες εγγυημένης και ελεγχόμενης παραγωγής, δηλαδή σε μονάδες των οποίων η τροφοδοσία της αρχικής ενέργειας για μετατροπή στην επιθυμητή μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλη ακρίβεια, να ελεγχθεί και να ακολουθήσει τη ζήτηση ενέργειας σε τελική μορφή, όπως είναι αυτή. Παραδείγματα χάρη μία ατμοηλεκτρική μονάδα με δεδομένη διαθεσιμότητα καυσίμου, δηλαδή άνθρακα, λιγνίτη, πετρελαίου, πυρηνικού καυσίμου, κα. μπορεί να ρυθμιστεί η λειτουργία της με επιθυμητό τρόπο με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, που καλείται να εξυπηρετήσει. Ομοίως ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης, με δεδομένη τη διαθεσιμότητα πετρελαίου θέρμανσης, πέλετ, συσσωματωμάτων βιομάζας κα., μπορεί να ρυθμιστεί η λειτουργία της με επιθυμητό τρόπο με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας και τη ζήτηση θερμικής ενέργειας.

Ουσιαστικά οι μονάδες παραγωγής ενέργειας (ή ακόμη πιο ορθά οι μονάδες μετατροπής ενέργειας ή μορφοτροπείς [Ε6]) των οποίων μπορεί να ελεγχθεί η παραγωγή (ή πιο ορθά η μορφοτροπή ενέργειας) κατά επιθυμητό τρόπο, με δεδομένη τη διαθεσιμότητα του καυσίμου, ορίζεται ως *μονάδες ή μορφοτροπείς εγγυημένης παραγωγής*. Τέτοιες μονάδες είναι εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας παρέχεται από μη ανανεώσιμες πηγές, κυρίως ορυκτά καύσιμα. Επιπρόσθετα μπορούν να ανήκουν και εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας προέρχεται από καύσιμα βιομάζας ή από γεωθερμία, υπό την προϋπόθεση ότι η διαθεσιμότητά τους είναι γνωστή, ανεξάρτητα αν είναι ικανή ή ανεπαρκής αναφορικά με συγκεκριμένη ζήτηση ενέργειας.

Για να γίνει κατανοητό αναφέρεται το παράδειγμα μίας ντιζελογεννήτριας, η οποία σε κάθε περίπτωση μονάδα εγγυημένης παραγωγής, γιατί με δεδομένη τη διαθεσιμότητα του καυσίμου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το χρήστη μπορεί να ρυθμιστεί με επιθυμητό τρόπο. Δεν επηρεάζεται από το αν η μονάδα είναι τοποθετημένη στα Ελληνικά Διυλιστήρια, στον οποίο η τροφοδοσία του καυσίμου είναι σε μεγάλο βαθμό εγγυημένη, ή από το αν είναι τοποθετημένη στον αυτόνομο σταθμό παραγωγής της Γαύδου, όπου, ενδεχομένως, λόγω έντονων καιρικών φαινομένων είναι δυνατό να μην επαρκούν τα αποθέματα καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της νήσου.

Αντίθετα οι μονάδες παραγωγής ενέργειας (ή ακόμη πιο ορθά οι μονάδες μετατροπής ενέργειας ή μορφοτροπείς) *μη εγγυημένης παραγωγής* είναι εκείνες στις οποίες η μορφοτροπή ενέργειας δεν μπορεί να ελεγχθεί κατά βούληση από το χρήστη, αλλά συνήθως καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα της αρχικής μορφής ενέργειας, η οποία, σε αντίθεση με την περίπτωση των μονάδων εγγυημένης παραγωγής, είναι τυχαία και δεν μπορεί να ελεγχθεί. Συνήθως είναι οι μονάδες αξιοποίησης Α.Π.Ε., καθώς η τυχαία διαθεσιμότητα αιολικού δυναμικού ή ηλιακής ακτινοβολίας καθιστούν τις ανεμογεννήτριες, τους ηλιακούς συλλέκτες ή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ως μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής.

Σήμερα η μορφοτροπή ενέργειας σε χρήσιμες μορφές ενέργειας παγκοσμίως (ή πιο απλά η παραγωγή ενέργειας) στηρίζεται, έως σήμερα, κυρίως σε συμβατικά ενεργειακά συστήματα. Δηλαδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται κυρίως σε θερμοηλεκτρικές μονάδες εγγυημένης παραγωγής, στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας διατίθεται από ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και πυρηνικά καύσιμα). Ομοίως, η παραγωγή θερμικής ή μηχανικής ενέργειας στηρίζεται κυρίως επίσης σε μονάδες εγγυημένης παραγωγής (μηχανές εσωτερικής καύσης, στρόβιλοι ως κινητήρες οχημάτων, καυστήρες θέρμανσης) με την αρχική ενέργεια και πάλι να προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (βενζίνες, ντίζελ, κηροζίνες, υγραέριο). Το σύνολο των ανωτέρω συστημάτων ενέργειας, τα οποία έχουν επικρατήσει ως σήμερα για τη διάθεση χρήσιμων μορφών ενέργειας, στηρίζονται σε μονάδες εγγυημένης παραγωγής, η χρήση και λειτουργία τους μπορεί να θεωρηθεί πλέον ως συμβατική και γι' αυτό καλούνται «συμβατικά» ενεργειακά συστήματα. Βέβαια τα συμβατικά συστήματα ενέργειας μπορούν να συμπεριλαμβάνουν και μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής, αλλά επικουρικά / συμπληρωματικά καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών αναγκών και περιορίζοντας την κατανάλωση μη ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση όμως οι κύριες μονάδες παραγωγής παραμένουν οι μονάδες εγγυημένης παραγωγής.

### *1.2.3. Υβριδικό σύστημα ενέργειας*

Όμως σήμερα παρουσιάζεται μία στροφή για μεγαλύτερη διείσδυση των Α.Π.Ε. στα συστήματα ενέργειας για λόγους αειφόρου ανάπτυξης, φιλικής προς το φυσικό περιβάλλον για περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου και της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Αυτό έχει ως συνέπεια στα συστήματα ενέργειας να παρουσιάζεται η επιθυμία αλλαγής των ρόλων μεταξύ των μονάδων εγγυημένης και μη εγγυημένης παραγωγής, δηλαδή να λειτουργήσουν ως κύριες μονάδες οι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και να περιοριστεί η λειτουργία των μονάδων εγγυημένης παραγωγής σε επικουρική. Βέβαια τίθεται το ερώτημα πως θα συμβεί να καλυφθεί συγκεκριμένη ανελαστική ζήτηση τελικής ισχύος με δεδομένα τη μη ελεγχόμενη λειτουργία των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής. Για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος της αδιάλειπτης και ασφαλούς παραγωγής τελικής ισχύος, σύμφωνα με δεδομένη ζήτηση, από μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής, απαιτείται η προσαρμογή της παραγωγής από τις μονάδες εγγυημένης παραγωγής στη ζήτηση ισχύος μετατρέποντας την τελευταία και αυτή σε τυχαίο μέγεθος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί παρά μόνο με τη συνδυασμένη λειτουργία των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής με μονάδες αποθήκευσης.

Η βασική ιδέα της λειτουργίας μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής και συστημάτων αποθήκευσης είναι η εξής: Αν η τελική ισχύς από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής υπερβαίνει τη ζήτηση ισχύος, τότε η περίσσεια παραγόμενης ισχύος αποθηκεύεται στις μονάδες αποθήκευσης. Αν η ζήτηση ισχύος είναι μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη ισχύ εκ μέρους των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, τότε το έλλειμμα παραγωγής καλύπτεται από τις μονάδες αποθήκευσης. Όμως για να εξασφαλιστεί η αδιάλειπτη, αξιόπιστη και ασφαλής παραγωγή ισχύος από ένα τέτοιο σύστημα, πρέπει να αντιμετωπιστεί το ενδεχόμενο της μη κάλυψης της ζήτησης φορτίου λόγω μικρής

παραγωγής ισχύος από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και της ταυτόχρονης χαμηλής στάθμης αποθηκευμένης ενέργειας στις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Οπότε υπό αυτές τις συνθήκες πρέπει η ζήτηση φορτίου να καλυφθεί από μονάδες εγγυημένης παραγωγής, οι οποίες είναι διαθέσιμες και η λειτουργία τους είναι κατά κύριο λόγο ελεγχόμενη από τον άνθρωπο. Δηλαδή ένα τέτοιο σύστημα ενέργειας που στηρίζεται κυρίως σε μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής αποτελείται από τρία στοιχεία:

- Τις μονάδες βάσης, που στην παρούσα περίπτωση είναι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και αποτελούν τις κύριες μονάδες παραγωγής του συστήματος. Σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας οι μονάδες αυτές ενδέχεται να είναι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες, αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά κλπ., ενώ σ' ένα σύστημα θέρμανσης οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι ηλιακοί συλλέκτες κλπ.
- Τις μονάδες αποθήκευσης, που έχουν ως σκοπό να προσαρμόζουν την παραγωγή ισχύος των μονάδων βάσης στη ζήτηση ισχύος. Σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες αυτές ενδέχεται να είναι αντλησιοταμιευτικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μπαταρίες, διατάξεις αποθήκευσης υδρογόνου με κυψέλες καυσίμου και διατάξεις ηλεκτρολύσης, διατάξεις αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα με αεριοστροβίλους και συμπιεστές, ενώ σ' ένα σύστημα θέρμανσης θερμοδοχεία.
- Τις μονάδες εφεδρείας, οι οποίες θα καλύψουν τη ζήτηση ισχύος όταν υπάρξει χαμηλή διαθεσιμότητα ισχύος από τις μονάδες βάσης και έχουν εξαντληθεί τα ενεργειακά αποθέματα στις μονάδες αποθήκευσης. Σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας τέτοιες μονάδες είναι οι θερμοηλεκτρικές, όπως ντιζελογεννήτριες ή αεριοστρόβιλοι ή σπανιότερα ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, ενώ σ' ένα σύστημα θέρμανσης οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης.

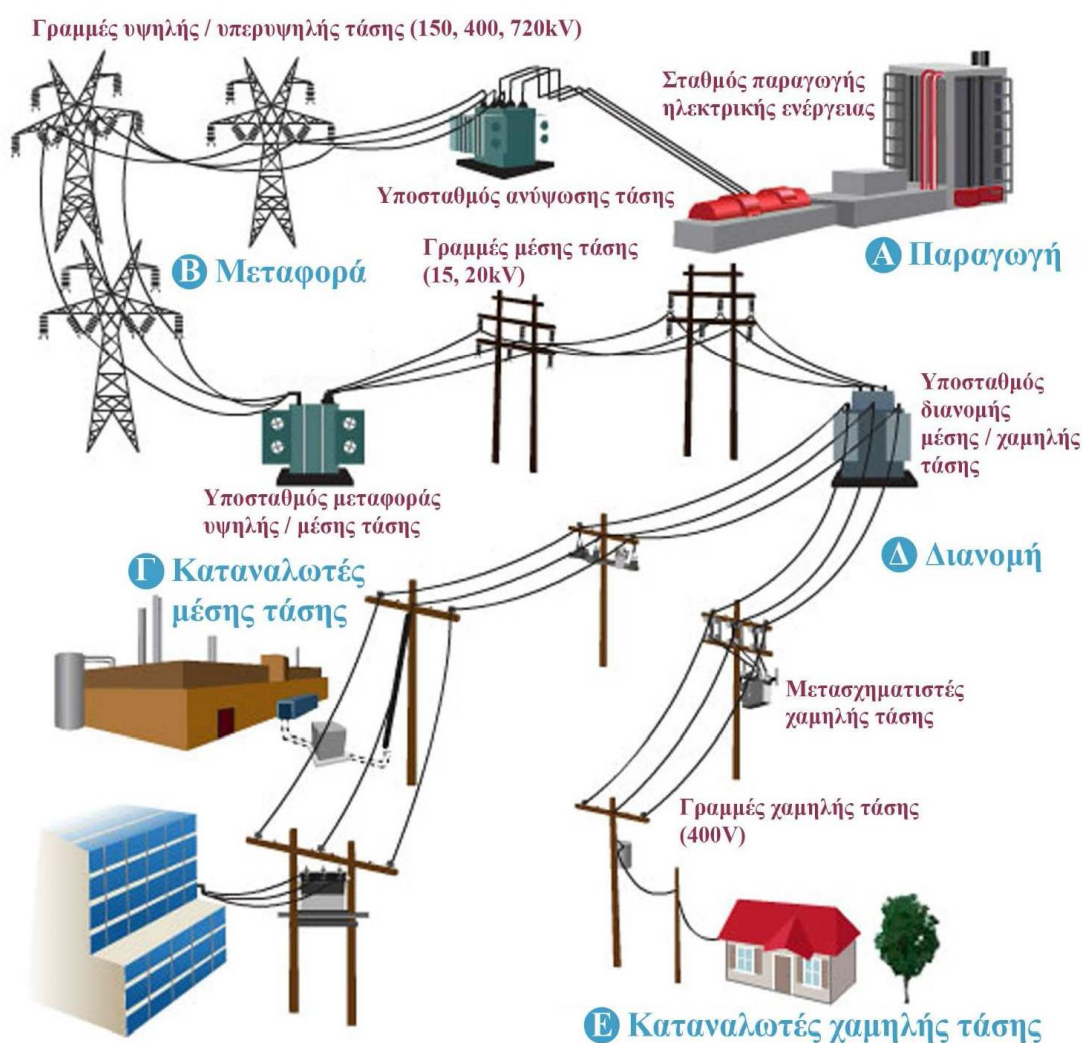
Ένα σύστημα ενέργειας που λειτουργεί με σκοπό τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και έχοντας ως εφεδρικές τις μονάδες εγγυημένης παραγωγής ονομάζεται «υβριδικό» ενεργειακό σύστημα. Κατά το [E6] ο όρος αυτός έχει κυριαρχήσει καταχρηστικά και εσφαλμένα, διότι η λέξη «υβριδικός» έχει ως ρίζα της τη λέξη «ύβρις». Χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή ενεργειακών συστημάτων, με την ίδια φιλοσοφία που χρησιμοποιήθηκε η λέξη «υβρίδιο» για την περιγραφή μεταλλαγμένων αγροτικών προϊόντων (υβρίδιο καλαμποκιού, υβρίδιο σόγιας κλπ). Ωστόσο αυτά τα αγροτικά προϊόντα παρήχθησαν κατά παράβαση των φυσικών διεργασιών, αποτελώντας μία ύβρη προς τη φύση. Ωστόσο ένα υβριδικό σύστημα ενέργειας δεν αποτελεί ύβρη προς κάποια φυσική ή τεχνητή διαδικασία. Ο όρος χρησιμοποιείται καταχρηστικά, για να περιγράψει ένα σύστημα ενέργειας που δε λειτουργεί όπως τα συνήθη συμβατικά συστήματα. Όμως το υβριδικό σύστημα δεν είναι υβριστικό ως προς οποιαδήποτε παραγωγή / μορφοτροπή ενέργειας. Αντίθετα θα μπορούσα κάποιος να ισχυριστεί το αντίθετο, δηλαδή ότι τα συμβατικά συστήματα ενέργειας λειτουργούν βλαπτικά προς τη φύση, καθώς καταναλώνουν φυσικούς ενεργειακούς πόρους και πόρους φυσικών υλών με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς από αυτούς που χρειάστηκε η φύση, για να τους δημιουργήσει. Αντί των «υβριδικών» ενεργειακών συστημάτων ίσως θα ήταν καλύτερος ο όρος «ενεργειακά συστήματα μεγιστοποίησης παραγωγής από Α.Π.Ε.» [E6]. Ωστόσο ο όρος που έχει καθιερωθεί είναι «υβριδικά συστήματα ενέργειας» ή «υβριδικά ενεργειακά συστήματα».

## 1.3. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 1.3.1. Γενικά

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τι είναι όμως ένα τέτοιο σύστημα;

**Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.)** είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις για την ασφαλή λειτουργία του είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας την αναγκαία ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος (επίπεδα συχνότητας και τάσης) και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η σχηματική διάταξη ενός δικτύου [Ε6].



Σχήμα 1.1: Δομή Σ.Η.Ε. [Ε6, σχήμα 2.1]

Για να επιτευχθεί η τροφοδοσία των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται οι εξής λειτουργίες του Σ.Η.Ε.: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται εύκολα και οικονομικά, με συνέπεια πρέπει να παράγεται

στο χρονικό σημείο που απαιτείται και από τη στιγμή που θα παραχθεί βρίσκεται σε μία συνεχή ροή ως ότου φτάσει στο σημείο κατανάλωσής της.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κατά κύριο λόγο στηρίζεται στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας λόγω της ροής και τού ύψους πτώσης του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ακολούθως πραγματοποιείται η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και με μεγάλες ποσότητες ενέργειας από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής προς τις περιοχές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσεως (για τον ελληνικό χώρο τριφασικό εναλλασσόμενο δίκτυο 400 kV και 150 kV και δίκτυο συνεχούς τάσης  $\pm 500$  kV). Με αυτόν τον τρόπο η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στα κέντρα υπερυψηλής / υψηλής τάσης και στους υποσταθμούς υψηλής / μέσης τάσης, από όπου αρχίζουν να απλώνονται τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης (για τον ελληνικό χώρο τριφασικό εναλλασσόμενο δίκτυο 20 kV κυρίως) που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια τόσο στους καταναλωτές μέσης τάσης, όσο και στους καταναλωτές χαμηλής τάσης μέσω υποσταθμών διανομής και γραμμών διανομής χαμηλής τριφασικής τάσης 400 / μονοφασικής τάσης 230 V. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και το δίκτυο μεταφοράς είναι σε σημαντικό βαθμό οικονομικά εξαρτημένο ανάμεσά τους. Εξαιτίας τούτου η τεχνική και η οικονομική ανάπτυξη του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής και του δικτύου μεταφοράς, καθώς και των κέντρων υπερυψηλής / υψηλής τάσης και υποσταθμών υψηλής / μέσης τάσης θα έπρεπε να αντιμετωπίζεται ενιαία, αν και λόγω της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν ισχύει πλέον. Μόνο με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια με το ελάχιστο δυνατό κόστος και το μέγιστο βαθμό αξιοπιστίας.

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ξεχωριστά, καθώς επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο διαμόρφωσης / ενεργειακής ανάπτυξης μιας περιοχής και των εξυπηρετούμενων καταναλωτών.

Σε κάθε περίπτωση η δομή ενός Σ.Η.Ε. διαμορφώνεται σε σημαντικό βαθμό από την καταλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, τη χρονολογική της καμπύλη κατά τη διάρκεια το χρόνου (εικοσιτετράωρο, εβδομάδα, έτος) και τη χωρική της κατανομή.

Παρά τη διαφοροποίηση του μεγέθους των Σ.Η.Ε. από μερικά kW ως χιλιάδες MW υπάρχουν ορισμένα κοινά στοιχεία ανάμεσα τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας 50 ή 60 Hz, ενώ σπανιότερα υπάρχουν και συστήματα συνεχούς ρεύματος, όπως σε υποβρύχια σκάφη, ή για το δίκτυο μεταφοράς, όπως υποβρύχια διασύνδεση Αττικής – Κρήτης. Η ονομαστική τάση λειτουργίας μεταξύ διαδοχικών σημείων ανύψωσης / υποβιβασμού έχει μία τιμή. Το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο διανομής μέσης τάσης διαθέτουν τρεις αγωγούς φάσεων και εξυπηρετούν μεγάλους καταναλωτές (κατά κύριο λόγο βιομηχανικούς). Το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης τέσσερις λόγω ύπαρξης του ουδέτερου αγωγού. Υπάρχουν και μονοφασικές γραμμές διανομής χαμηλής τάσης δύο αγωγών. Σε κάθε περίπτωση στα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης εξυπηρετούνται καταναλωτές μικρής ζήτησης ισχύος, όπως οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο τμήμα της εμπορικής χρήσης.



Η διαμόρφωση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τις μονάδες παραγωγής, ως προς το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο διανομής χρειάζεται να είναι γνωστό κάθε χρονική στιγμή στις επιχειρήσεις / οργανισμούς ανάπτυξης και λειτουργίας του Σ.Η.Ε., καθώς αυτή η διαμόρφωση εξαρτάται από τη συνολική μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της μη εύκολης και της μη οικονομικής αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας με τα σημερινά δεδομένα. Συγχρόνως από την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια προσδιορίζονται οι αναγκαίες ποσότητες των διαφόρων καυσίμων που απαιτούνται από τις μονάδες παραγωγής σε χρήση, ενώ η χρονολογική μεταβολή της ζητούμενης ισχύος επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τον τρόπο λειτουργίας των μονάδων παραγωγής, των δικτύων μεταφοράς και διανομής λόγω της μορφής της κατανάλωσης.

Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη αιχμή, η καταναλισκόμενη ενέργεια και η χρονολογική καμπύλη φορτίου μαζί με τα κόστη καυσίμου επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το κόστος της παραγόμενης ενέργειας και ισχύος, το οποίο αυξάνει σταδιακά κατά τη μετάβαση από τις μονάδες παραγωγής προς το τελικό σημείο κατανάλωσης λόγω των αντίστοιχων στοιχείων που μεσολαβούν. Τελικά το κόστος πρέπει να πληρωθεί από τους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τα χαρακτηριστικά της καταναλισκόμενης ισχύος κατά τη διάρκεια της αντίστοιχης χρονικής περιόδου μελέτης σύμφωνα με τα τιμολόγια που έχουν διαμορφωθεί και συμφωνηθεί μεταξύ των εταιρειών ηλεκτρισμού και των καταναλωτών υπό την εποπτεία των ρυθμιστικών αρχών ενέργειας [Ε6-Ε8].

### *1.3.2. Αυτόνομα και διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*

Ως *διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας* ορίζεται ένα Σ.Η.Ε., το οποίο έχει ηλεκτρική διασύνδεση με γειτονικά Σ.Η.Ε., όπως άλλων γεωγραφικών περιοχών ή κρατών, τα οποία είτε ελέγχονται γενικά από διαφορετικά κέντρα ελέγχου ενέργειας, είτε ο έλεγχος λειτουργίας των «μικρών» περιοχών αναλαμβάνεται από τις «μεγαλύτερες» περιοχές από πλευράς ηλεκτρικής ισχύος. Το ελληνικό ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει διασυνδεθεί από πλευράς κρατών με τα αντίστοιχα της Ιταλίας, της Αλβανίας, της Βουλγαρίας, της Βόρειας Μακεδονίας και της Τουρκίας, ενώ από πλευράς περιοχών με τα Επτάνησα και σχεδόν το σύνολο των νησιών των Κυκλάδων. Ειδικά οι διασυνδέσεις μέσω της Ιταλίας και της Βόρειας Μακεδονίας επιτρέπουν τη διασύνδεση με τα ευρωπαϊκά εθνικά δίκτυα μεταφοράς.

Ως *απομονωμένο, ή μη διασυνδεδεμένο, ή αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας* ορίζεται ένα Σ.Η.Ε. που καλύπτει αποκλειστικά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία απομονωμένη γεωγραφικά περιοχή, η οποία διαθέτει το δικό της σύστημα μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες καλύπτουν την αντίστοιχη ζήτηση, χωρίς να υπάρχουν διασυνδέσεις με άλλα «μεγάλα» Σ.Η.Ε. που δύνανται να του προσφέρουν ή να παραλάβουν μεγάλες ποσότητες ισχύος.

Οι αντίστοιχοι ορισμοί περιέχουν ορισμένες ασάφειες, όπως τι σημαίνει «μεγάλο» σύστημα. Ο διαχωρισμός δεν είναι απόλυτος και σχετίζεται με το μέγεθος και το είδος του προβλήματος υπό μελέτη. Π.χ. κατά τις μελέτες διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δηλαδή μονάδων μη εγγυημένης ισχύος, σε απομονωμένες γεωγραφικές περιοχές, το μέγεθος του Σ.Η.Ε. εξαρτάται ουσιαστικά από την καταναλισκόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος και από την ισχύ των Α.Π.Ε. προς εγκατάσταση. Ενδεικτικά

η εγκατάσταση μονάδων Α.Π.Ε. στοχαστικής συμπεριφοράς, όπως ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών σταθμών, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 30-40% της μέγιστης ετήσιας καταναλισκόμενης ισχύος μιας απονωμένης περιοχής, ενδέχεται να οδηγήσει σε προβλήματα ευστάθειας του Σ.Η.Ε. κτλ.. Όταν είναι δυνατή η διείσδυση τέτοιων μεγεθών Α.Π.Ε. σε μια γεωγραφική περιοχή, τότε η μελέτη διείσδυσής τους στη συγκεκριμένη περιοχή θα χαρακτηριστεί ως απομονωμένο Σ.Η.Ε..

Μη διασυνδεδεμένα Σ.Η.Ε. βρίσκονται συνήθως σε απομονωμένες γεωγραφικά περιοχές, όπως νησιά ή περιοχές με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα (π.χ. Σιβηρία, αρκτικές περιοχές, κλπ). Στον ελληνικό χώρο τα περισσότερα νησιά του ανατολικού και του νοτίου Αιγαίου είναι ακόμη αυτόνομα Σ.Η.Ε., μικρού ή μεσαίου μεγέθους, αν και ο στρατηγικός σχεδιασμός του Α.Δ.Μ.Η.Ε. είναι να άρει αυτόν τον αποκλεισμό. Αυτόνομα Σ.Η.Ε. μεγάλου μεγέθους είναι τα απομακρυσμένα από τον ηπειρωτικό κορμό μεγάλα νησιά της Μεσογείου, όπως η Κρήτη, η Κύπρος, σε αντίθεση με τα συνδεδεμένα νησιά της Σαρδηνίας, της Σικελίας και της Εύβοιας, αν και η γενικότερη επιθυμία είναι να διασυνδεθούν.

Το πλεονέκτημα των διασυνδεδεμένων Σ.Η.Ε. είναι η δυνατότητα αλληλοϋποστήριξης μεταξύ τους μέσω της κατάλληλης μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος από το ένα Σ.Η.Ε. στο άλλο. Οι εισαγωγές και οι εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα σε δίκτυα μεταφοράς διαφορετικών κρατών είναι μία συνήθης διαδικασία που επιτυγχάνεται συνήθως μέσω διακρατικών συμφωνιών, με στόχο όχι μόνο τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και τη στήριξη ενός Σ.Η.Ε. από πλευράς ευστάθειας στις περιπτώσεις σφαλμάτων στο δίκτυο ή απωλειών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από τα γειτονικά διασυνδεδεμένα Σ.Η.Ε. Σε τέτοιες οριακές καταστάσεις η έγχυση ισχύος από γειτονικά Σ.Η.Ε. προστατεύει σε μεγάλο βαθμό από τη μερική ή την ολική κατάρρευση (black-out) του συστήματος.

Αυτές οι δυνατότητες δεν είναι διαθέσιμες στα απομονωμένα Σ.Η.Ε., με αποτέλεσμα να έχουν συνήθως αρκετά μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, να είναι πιο ευαίσθητα σε διαταραχές, όπως σε απότομες μεταβολές της ζήτησης φορτίου, σε απώλειες ηλεκτροπαραγωγής και στη μεταβολή παραγόμενης ισχύος από Α.Π.Ε. υπό συνθήκες υψηλή διείσδυση, που υπό συνθήκες είναι ικανά να οδηγήσουν στην παύση λειτουργίας / κατάρρευση του αυτόνομου Σ.Η.Ε.. Ενδεικτικά το ετήσιο συνολικό ειδικό κόστος παραγωγής για το διασυνδεδεμένο ελληνικό σύστημα ανέρχεται περίπου στα 80€/MWh για τα έτη 2012-13, ενώ για τα αυτόνομα νησιά μεταξύ των 170€/MWh και 1750 €/MWh [E6, πίνακα 2.1].

### *1.3.3. Υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*

Ένα υβριδικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της συμμετοχής μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά δηλαδή μονάδων Α.Π.Ε., στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης ζήτησης ισχύος, αντιστρέφοντας τους ρόλους μεταξύ των μονάδων Α.Π.Ε. και των συμβατικών μονάδων σε ένα Σ.Η.Ε.. Για να γίνει αντιληπτό, έστω ένα Σ.Η.Ε. χωρίς συμβατικές μονάδες ισχύος, όπου οι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής είναι οι μονάδες βάσης, οι οποίες πρέπει να καλύψουν τη ζήτηση φορτίου αδιάλειπτα με το ελάχιστο κόστος παραγωγής με το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας και παρεχόμενης ποιότητας ισχύος. Δηλαδή απαιτείται δύο ανεξάρτητες

μεταξύ τους χρονοσειρές ισχύος, της διαθέσιμης παραγωγής από πλευράς μονάδων Α.Π.Ε. και της ζήτησης φορτίου από πλευράς καταναλωτών, να ταυτιστούν χρονικά. Επειδή δεν μπορούν να αλλάξουν οι ανάγκες των καταναλωτών, πρέπει να μεταβληθεί η τυχαία παραγωγή ισχύος από τις Α.Π.Ε. στη ζήτηση φορτίου, το οποίο επιτυγχάνεται με τη συνδυασμένη λειτουργία των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Για την επίτευξη αδιάλειπτης και ασφαλούς τροφοδοσίας της ζήτησης φορτίου από ένα υβριδικό σταθμό λόγω της πιθανότητας ταυτόχρονης έλλειψης παραγόμενης ισχύος εκ μέρους των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής και χαμηλής στάθμης αποθηκευμένης ενέργειας στα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας είναι αναγκαία η διαθεσιμότητα μιας ή περισσότερων μονάδων εγγυημένης παραγωγής, συνήθως θερμοηλεκτρικών μονάδων, που παίζουν το ρόλο των εφεδρικών μονάδων [Ε6, §3.1].

Η κατηγοριοποίηση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το μέγεθός τους είναι κρίσιμο, διότι ανάλογα με τα μεγέθη ισχύος μεταβάλλονται οι τεχνολογικές λύσεις για τις μονάδες βάσης και ειδικά για τα συστήματα αποθήκευσης, με συνέπεια να μεταβάλλεται ο τρόπος διαμόρφωσης του σταθμού, οι επιμέρους συνιστώσες και η διαστασιολόγησης και υπολογισμού του. Διακρίνονται βασικά σε σταθμούς μεγάλου (άνω των 3MW), μεσαίου (1 ως 3 MW) και μικρού μεγέθους (κάτω του 1 MW), όπου του μεσαίου μεγέθους είναι η «γκρίζα» ζώνη μεταξύ των δύο βασικών κατηγοριών.

Στην κατηγορία υβριδικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής μεγάλου μεγέθους αναφέρονται κατασκευές για κάλυψη ζήτησης φορτίου μεγαλύτερη των 3MW, όπως μικροί οικισμοί ή μικρά νησιά, με συνολικό πληθυσμό της τάξης των 1.000 – 1.500 κάτοικους, και επιτυγχάνεται συνήθως μέσω συγκεντρωμένης παραγωγής η οποία καλύπτει ένα σύνολο διεσπαρμένων καταναλώσεων, π.χ. λόγω της ύπαρξης πολλών οικισμών σε ένα νησί.

Στην κατηγορία υβριδικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής μικρού μεγέθους αναφέρονται κατασκευές για κάλυψη ζήτησης φορτίου που δεν υπερβαίνει το 1MW, όπως μικροί οικισμοί και πολύ μικρά νησιά, με πληθυσμό κάτω των 500 κατοίκων, κλπ. και επιτυγχάνεται πάλι μέσω συγκεντρωμένης παραγωγής η οποία καλύπτει ένα σύνολο καταναλώσεων, που συνήθως δεν είναι ιδιαίτερα διεσπαρμένες.

Οι τεχνολογικές λύσεις για τις μονάδες βάσης και αποθήκευσης μέσω σειράς μελετών έχουν συγκεκριμενοποιηθεί για κάθε κατηγορία υβριδικών σταθμών. Π.χ. για σταθμούς μικρής ισχύος προτείνεται η χρήση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών ως μέσου αποθήκευσης, το οποίο είναι ακατάλληλο τεχνικό-οικονομικά για σταθμούς μεγάλου μεγέθους. Από την άλλη πλευρά μία αντλησιοσταμιευτική υδροηλεκτρική μονάδα είναι κατάλληλη για ένα σύστημα μεγάλου μεγέθους, το οποίο δεν είναι οικονομικό στην περίπτωση ενός μικρού.

Ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες σταθμών υπάρχει μία μεταβατική περιοχή, δηλαδή των σταθμών μεσαίου μεγέθους, όπου η ζήτηση ισχύος κυμαίνεται ανάμεσα στο 1MW και στα 3MW, όπου δεν υπάρχουν συγκεκριμένες λύσεις για τη σύνθεση του αντίστοιχου υβριδικού σταθμού εξαρχής. Αντίθετα επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους. Π.χ. σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι προτιμότερη η κατασκευή

μίας αντλησιοταμιευτικής υδροηλεκτρικής μονάδας λόγω μειωμένου κόστους κατασκευής εξαιτίας κατάλληλης τοπογραφικής – γεωλογικής διαμόρφωσης της περιοχής εγκατάστασης έναντι της χρήσης κλασικών μπαταριών. Σε άλλες περιπτώσεις που διατίθεται φθινό καύσιμο (π.χ. Αυστραλία, Μέση Ανατολή, Η.Π.Α.) μπορεί να είναι φθηνότερη η κατασκευή μίας μονάδας συμπιεσμένου αέρα για αποθήκευση ενέργειας με ταυτόχρονη κατανάλωση καυσίμου. Σε κάθε περίπτωση η μεταβολή της χρονολογικής καμπύλης ζήτησης φορτίου σε κάθε εικοσιτετράωρο επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας του υβριδικού σταθμού σε σημαντικό βαθμό.

Γενικά, όσο αυξάνεται η ισχύς ή οι ώρες ημερήσιας παραγωγής ισχύος του υβριδικού σταθμού, η χρησιμοποίηση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών γίνεται συνήθως λιγότερο ανταγωνιστική, τόσο τεχνικά, όσο οικονομικά, λόγω του ολοένα αυξανόμενου μεγέθους του «αποθηκευτικού χώρου».

Επιπλέον των τριών βασικών κατηγοριών υπάρχει και η κατηγορία των σταθμών πολύ μικρού μεγέθους, με ισχύ μικρότερη των 100kW. Ζήτηση ισχύος τέτοιου μεγέθους ενδέχεται να εμφανίζουν απομονωμένες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, μη διασυνδεδεμένες με το δίκτυο διανομής, όπως πολύ μικροί απομονωμένοι ορεινοί ή νησιωτικοί οικισμοί (π.χ. Γαύδος, Αντικύθηρα), κτηνοτροφικές μονάδες, μονάδες αφαλάτωσης, βιολογικοί καθαρισμοί, κα.. Οι αντίστοιχες τεχνολογικές λύσεις συνήθως είναι επίσης δεδομένες και όμοιες με εκείνες των υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους [E6, §3.2].

#### *1.3.4. Υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας*

Τα υβριδικά συστήματα μικρού μεγέθους αποσκοπούν στην πλήρη κάλυψη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε Σ.Η.Ε., των οποίων η αιχμή ζήτησης φορτίου είναι μικρότερη του 1 MW. Συνήθως σ' αυτήν την κατηγορία η χρήση αντλησιοταμιευτικών υδροηλεκτρικών μονάδων ή σταθμών συμπιεσμένου αέρα ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας δεν προτείνονται λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης ως προς το μέγεθος της αιχμής ζήτησης φορτίου. Το είδος αποθήκευσης επηρεάζει και το είδος των προτεινόμενων μονάδων βάσης Α.Π.Ε..

Ειδικότερα τα αιολικά πάρκα έχουν υψηλότερους συντελεστές φόρτισης σε σχέση με τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς παράγοντας ετησίως υψηλότερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλότερο ειδικό κόστος παραγωγής για την ίδια εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ, οπότε πλεονεκτεί ως μονάδα βάσης υβριδικού σταθμού είτε είναι μικρού μεγέθους, είτε μεγάλου. Ωστόσο δεν έχει την απόλυτη κυριαρχία, καθώς επηρεάζεται από το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση μεγάλου υβριδικού σταθμού, η ύπαρξη μίας υδροηλεκτρικής μονάδας με αντλησιοταμίευση με ορθή διαστασιολόγηση μπορεί να οδηγήσει σε διαθεσιμότητα του στοιχείου αποθήκευσης με αυτονομία μεγαλύτερης ακόμα και της μίας εβδομάδας. Δηλαδή η μονάδα αποθήκευσης έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, καθιστώντας την ικανή να τροφοδοτήσει από μόνη της το Σ.Η.Ε. για αρκετές μέρες όταν δεν είναι διαθέσιμες οι Α.Π.Ε., έχοντας αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας κατά την περίοδο που είναι διαθέσιμες οι Α.Π.Ε..

Στην περίπτωση μικρού υβριδικού σταθμού αυτή η ικανότητα μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας δεν παρέχεται από τα αντίστοιχα στοιχεία αποθήκευσης, ειδικά όταν είναι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, που τα τεχνικά και οικονομικά τους

χαρακτηριστικά οδηγούν σε περιορισμό εγκαταστάσεων τιμών μεγάλου μέγεθους ισχύος, όπως:

- Το υψηλό κόστος αγοράς των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών και ο μικρός χρόνος ζωής τους. Π.χ. μία από τις πιο οικονομικές τεχνολογίες είναι οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου, οι οποίοι υπό ιδανικές συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασίες περιβάλλοντος ως 26°C, μέγιστο βάθος εκφόρτισης ως 60%) λειτουργούν ικανοποιητικά ως 6 – 7 έτη χωρίς σημαντική μείωση της χωρητικότητάς τους. Αυτό έχει ως συνέπεια για ένα υβριδικό σταθμό με τυπική διάρκεια ζωής της τάξης των είκοσι ετών, οι συσσωρευτές πρέπει να αντικατασταθούν δύο φορές τουλάχιστον.
- Το χαμηλό βάθος εκφόρτισης ορισμένων βασικών ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, το οποίο περιορίζει τη μέγιστη πραγματική ικανότητα αποθήκευσης.
- Η περιορισμένη ευελιξία τους. Σε μία υδροηλεκτρική μονάδα με αντλησιοταμίευση που διαθέτει ξεχωριστό αγωγό προσαγωγής ύδατος στο στρόβιλο και αγωγό κατάθλιψης από τις αντλίες είναι δυνατή η ταυτόχρονη φόρτιση – εκφόρτισή τους σε αντίθεση με ένα ηλεκτροχημικό συσσωρευτή, που αυτό είναι αδύνατο. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί εγκαθιστώντας δύο διαφορετικές ανεξάρτητες μεταξύ τους συστοιχίες συσσωρευτών, οι οποίες όμως αν λειτουργούν ανεξάρτητα, δεν μπορούν απευθείας να παραλληλιστούν. Επιπλέον η αύξηση του αριθμού των συστοιχιών αυξάνει το αρχικό κόστος αγοράς και των αντίστοιχων αντικαταστάσεων κατά τη διάρκεια ζωής του τεχνικού έργου.
- Κάποιοι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές που είναι τεχνολογικά βελτιωμένοι (π.χ. συσσωρευτές ροής βανναδίου), οι οποίοι διακρίνονται από το μεγάλο βάθος εκφόρτισης και τη μεγάλη διάρκεια ζωής (άνω των 20 ετών) έχουν πολύ μεγάλο κόστος αγοράς. Επίσης άλλοι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, όπως ιόντων λιθίου, που ραγδαία μειώνουν το κόστος και διακρίνονται για πολύ καλά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, έχουν άλλα «κρυμμένα» τεχνικά προβλήματα, όπως αυξημένες απαιτήσεις πυρασφάλειας και πυρόσβεσης λόγω της εκρηκτικής συμπεριφοράς τους κατά τη διάρκεια ατυχήματος με πυρκαγιά αυξάνοντας έμμεσα το κόστος εγκατάστασης.

Εξαιτίας των ανωτέρω παραμέτρων σε μικρούς υβριδικούς σταθμούς δεν εγκαθίστανται μεγάλες μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης περιορίζεται με βάση τεχνικά – οικονομικά κριτήρια και η επιτυγχανόμενη αυτονομία του υβριδικού σταθμού περιορίζεται στην τάξη της μίας μέρας στην περίπτωση χρήσης ηλεκτροχημικών συσσωρευτών.

Εξαιτίας αυτού του προβλήματος για να υπάρξει μεγάλη διείσδυση Α.Π.Ε. σε ένα Σ.Η.Ε. μικρού μεγέθους λόγω της μικρής αποθηκευτικής ικανότητας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας χρειάζεται η ύπαρξη παραγωγής ισχύος από δύο ανεξάρτητες μονάδες Α.Π.Ε. με ξεχωριστές / ανεξάρτητες πηγές πρωτογενούς ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα απαιτείται η τοποθέτηση σημαντικής εγκαταστημένης ισχύος παραγωγής.

Ειδικότερα εγκαθίσταται ισχύς της βασικής μονάδας Α.Π.Ε., δηλαδή του αιολικού πάρκου, περίπου 1,5 ως 2 φορές μεγαλύτερη από την ετήσια αιχμή φορτίου του Σ.Η.Ε., με συνέπεια η συνήθης παραγωγή ισχύος να καλύπτει τη ζήτηση, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής διαθεσιμότητας αιολικού δυναμικού. Όμως στατιστικά υπάρχουν

κάποιες περιόδους του έτους όπου η διαθεσιμότητα του δυναμικού της βασικής μονάδας μη εγγυημένης παραγωγής Α.Π.Ε. είναι ανεπαρκής, όσο μεγάλη και αν είναι η εγκατεστημένη ισχύς αυτής της μονάδας Α.Π.Ε.. Στην περίπτωση χρήσης ανεμογεννητριών ως βασική μονάδα Α.Π.Ε., οι περιόδους νημεμίας είναι ουσιαστικά οι περιόδους μη διαθεσιμότητας αιολικού δυναμικού, οι οποίες κυρίως εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών οδηγούν στη διαμόρφωση συνθηκών καύσωνα, που οδηγούν συχνά στις ετήσιες αιχμές ζήτησης φορτίου λόγω της ταυτοχρονισμένης λειτουργίας μεγάλου πλήθους κλιματιστικών συσκευών. Η μη παραγωγή ισχύος από τη μονάδα Α.Π.Ε. και η μικρή αποθηκευτική ικανότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας αυξάνουν τον κίνδυνο μη κάλυψης της ζήτησης φορτίου από τον υβριδικό σταθμό μικρού μεγέθους, ειδικά αν το φαινόμενο διαρκεί περισσότερο από μία ημέρα. Η λύση του προβλήματος είναι η εγκατάσταση μιας άλλης μονάδας Α.Π.Ε. από άλλη πρωτογενή ενέργεια που θα λειτουργεί συμπληρωματικά της πρώτης, όταν αυτή δε θα είναι διαθέσιμη. Βασική απαίτηση είναι η διαθεσιμότητα δυναμικού από τη συμπληρωματική Α.Π.Ε. κατά τα χρονικά διαστήματα στα οποία δεν επαρκεί το αντίστοιχο δυναμικό της βασικής Α.Π.Ε.. Για το παράδειγμα χρήσης ανεμογεννητριών ως βασική Α.Π.Ε., η εναλλακτική πηγή Α.Π.Ε., που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τις περιόδους νημεμίας, είναι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί, καθώς κατά τα διαστήματα του καλοκαιριού που εμφανίζεται νημεμία η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι, εκ των πραγμάτων, εγγυημένη και υψηλή. Αντίθετα άλλες πηγές Α.Π.Ε., π.χ. η χρήση κυματικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συσχετισμένη με τον άνεμο, ενώ η χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια είναι περιορισμένη κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Επιπλέον οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί είναι μία τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική λύση ως προς τα αιολικά πάρκα για χρήση ως μονάδα βάσης υβριδικού σταθμού. Η προϋπάρχουσα εμπειρία από ερευνητικές εργασίες, προσομοιώσεις λειτουργίας, διαστασιολογήσεις και κατασκευές-λειτουργία υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους οδηγεί στο συμπέρασμα για τον ελληνικό χώρο ότι επαρκεί συνήθως η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος της τάξης του 80% της ετήσιας αιχμής φορτίου του αυτόνομου Σ.Η.Ε., με δεδομένη την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία κατά το καλοκαίρι στη χώρα μας.

Η τοποθέτηση μιας μονάδας βάσης Α.Π.Ε. από άλλη πρωτογενή πηγή ενέργειας, συνήθως φωτοβολταϊκών σταθμών, πρακτικά προτιμάται από την αύξηση της ονομαστικής χωρητικότητας των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για οικονομικούς λόγους κυρίως. Δηλαδή το ίδιο επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά του υβριδικού σταθμού στο Σ.Η.Ε. που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας μπορεί να υλοποιηθεί με την εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μεγαλύτερης αποθηκευτικής ικανότητας, το οποίο κοστίζει σημαντικά περισσότερο από τη λύση της φωτοβολταϊκής μονάδας. Ο συνδυασμός του κατάλληλου μεγέθους αποθηκευτικής ικανότητας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σε σχέση με τις εναλλακτικές πηγές Α.Π.Ε. με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ισχύος του υβριδικού σταθμού είναι υπό μελέτη σε κάθε εφαρμογή.

Οι πολύ μικροί υβριδικοί σταθμοί, που συναντώνται σε πολύ μικρούς ορεινούς ή νησιωτικούς οικισμούς (μοναστήρια Αγίου Όρους, Γαύδος, Αγαθονήσι, Αντικύθηρα,

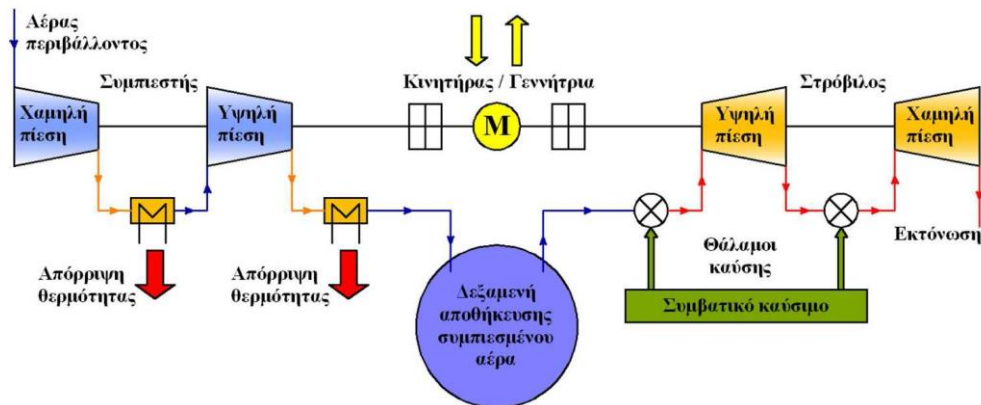
κ.λπ.), παρουσιάζουν την ιδιαιτερότητα ότι η χρήση δύο διαφορετικών πηγών Α.Π.Ε. ή η αύξηση της ικανότητας του συστήματος αποθήκευσης είναι πλήρως ανταγωνιστικές. Η μικρή ζήτηση φορτίου και κατ' επέκταση του αναγκαίου υβριδικού σταθμού, δίνει τη δυνατότητα οποιασδήποτε εναλλακτικής σχεδίασης χωρίς τη μεγάλη αύξηση του κόστους προμήθειας εξοπλισμού και εγκατάστασης. Άλλωστε η αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας μπορεί να προτιμηθεί αντί της εγκατάστασης δύο τεχνολογιών Α.Π.Ε. για διαφορετικούς λόγους, όπως είναι η απλούστευση της δομής του υβριδικού σταθμού, η μη διαθεσιμότητα του δυναμικού Α.Π.Ε. για τη μία από τις δύο τεχνολογίες σε ικανοποιητικό βαθμό, περιβαλλοντικοί ή αισθητικοί λόγοι κ.λπ.

Τα βασικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι:

- οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές: Είναι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, σχεδιασμένες για να μετατρέψουν είτε την αποθηκευμένη σ' αυτές χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την περίοδο εκφόρτισης, είτε την παρεχόμενη σ' αυτές ηλεκτρική ενέργεια σε χημική και να την αποθηκεύσουν κατά την περίοδο φόρτισης. Κατηγοριοποιούνται σε συσσωρευτές χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης (συνήθως σε θερμοκρασίες δωματίου) και σε συσσωρευτές υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης. Η βασική διαφορά τους βρίσκεται στο ότι στην τελευταία κατηγορία το τμήμα μετατροπής ενέργειας είναι διαχωρισμένο από το τμήμα του ενεργού χημικού υλικού του συσσωρευτή επιτρέποντας τη ξεχωριστή διαστασιολόγηση και σχεδίαση των τμημάτων φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Τα συνιστώμενα στοιχεία μετατροπής ενέργειας και χημικής αποθήκευσης είναι ξεχωριστές οντότητες, συνδεδεμένες όμως μεταξύ τους για τη πραγματοποίηση ηλεκτροχημικών αντιδράσεων ανάμεσα στα δύο στοιχεία κατά τις φάσεις φόρτισης και εκφόρτισης. Τύποι συσσωρευτών χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου ( $PbO_2$  με διάφορες υποκατηγορίες ανοικτού τύπου, κλειστού τύπου με βαλβίδα, με τζελ κ.), νικελίου – καδμίου (NiCd), ιόντων λιθίου, νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH), ενώ για την περίπτωση συσσωρευτών υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης οι νατρίου – θείου (NaS), νατρίου – νικελίου – χλωρίου (NaNiCl) και οι μπαταρίες ροής (π.χ. οξειδίων βανναδίου). Τα βασικά τους χαρακτηριστικά συνοψίζονται στον Πίνακα 1.2.
- οι μονάδες συμπιεσμένου αέρα μικρού μεγέθους (micro CAES). Γενικά η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή εσωτερικής ενέργειας του ρευστού αέρα λόγω συμπίεσής του. Οι μονάδες συμπιεσμένου αέρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις συμβατικές, όπως του σχήματος 1.2, και τις αδιαβατικές (AA-CAES) του σχήματος 1.3. Η περίπτωση της συμβατικής μονάδας μοιάζει αρκετά με μία αεριοστροβιλική μονάδα, όπου η συμπίεση και η εκτόνωση γίνονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει και κατανάλωση καυσίμου. Κατά τη φάση της περίσσειας ισχύος από Α.Π.Ε. γίνεται συμπίεση του αέρα, με ψύξη και αποθήκευση αέρα. Κατά τη φάση μη κάλυψης του φορτίου συμπιεσμένος αέρας συγκεκριμένης παροχής απελευθερώνεται και θερμαίνεται σε έναν καυστήρα αυξάνοντας την ειδική ενθαλπία του ρευστού - καυσαερίου και εκτονώνεται στο στρόβιλο.

**Πίνακας 1.2:** Βασικά χαρακτηριστικά ηλεκτροχημικών συσσωρευτών [Ε6, πιν. 3.3].

Τύπος συσσωρευτή	Απόδοση	Αρχικό κόστος	Διάρκεια ζωής	Θερμοκρασία λειτουργίας	Ενεργειακή πυκνότητα	Αυτό-εκφόρτιση	Λοιπά στοιχεία
Υγρού οξέος μολυβδού ανοικτού τύπου	72%-78%	50±150 €/kWh	1000±2000 κύκλοι για DoD= 70%	-5 ÷ 40 °C	30÷50 Wh/kg	2÷5% το μήνα	Συχνή συντήρηση για αναπλήρωση νερού, μεγάλο βάρος
Οξέος μολυβδού τύπου VRLA	72%-78%	50±150 €/kWh	200±300 κύκλοι για DoD= 80%	-5 ÷ 40 °C	30÷50 Wh/kg	2÷5% το μήνα	χαμηλή συντήρηση, φορητός, περισσότερος ασφαλής
Νικελίου Καδμίου Ni-Cd	72%-78%	200÷600 €/kWh	3000 κύκλοι για DoD=100%	-40 ÷ 50 °C	45÷80 Wh/kg	5÷20% το μήνα	Ικανότητα υψηλής ισχύος εκφόρτισης, χαμηλή συντήρηση, κίνδυνος δηλητηρίασης
Νατρίου-θείου NaS	89% σε 325°C	200÷300 €/kWh	2500 κύκλοι για DoD=100%	325 °C	100 Wh/kg	5÷20% το μήνα	Κατάσταση αναμονής πρέπει να θερμαίνεται, λόγω υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας μείωση απόδοσης
Ιόντων λίθιου	<100%	70÷1000 €/kWh	3000 κύκλοι για DoD=80%	-30 ÷ 60 °C	90÷190 Wh/kg	1% το μήνα	Υψηλό κόστος λόγω απαιτούμενης ειδικής συσκευασίας & εσωτερικής προστασίας υπερφόρτισης, αυξημένος κίνδυνος έκρηξης σε περίπτωση πυρκαγιάς
Οξειδίων βανναδίου	85%	360÷1000 €/kWh	10000 κύκλοι για DoD=75%	0 ÷ 40 °C	70 Wh/kg	0% το μήνα	Υψηλό κόστος, μεγάλη διάρκεια ζωής

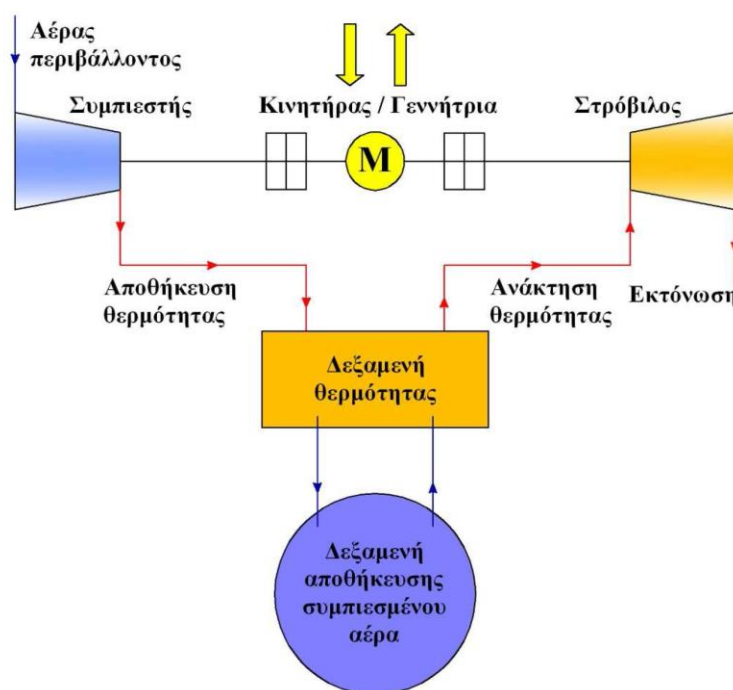


**Σχήμα 1.2:** Δομή και λειτουργία συμβατικής μονάδας συμπιεσμένου αέρα [Ε6, σχήμα 3.1]

Στην περίπτωση της αδιαβατικής μονάδας συμπιεσμένου αέρα η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα κατά τη συμπίεσή του δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον, αλλά αποθηκεύεται σε μία ανεξάρτητη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας, ώστε να μην καταναλώνονται συμβατικά καύσιμα για τη θέρμανση του αέρα πριν την εκτόνωσή του στις βαθμίδες του στροβίλου και να συμπιεστεί ο αέρας χωρίς ψύξη διατηρώντας τις υψηλές θερμοκρασίες του και την αποθηκευμένη ενέργειά του στη δεξαμενή αποθήκευσης. Αυτή η διάταξη έχει συνολικό βαθμό απόδοσης κύκλου αποθήκευσης – παραγωγής της τάξης του 70%, προσεγγίζοντας έτσι τις αντίστοιχες τιμές της απόδοσης που επιτυγχάνεται σε μία υδροληκτρική μονάδα με αντλησιοταμίευση. Ωστόσο, η κατασκευή της αδιαβατικής μονάδας συμπιεσμένου



αέρα απαιτεί εκ νέου σχεδίαση των βασικών συνιστωσών του συστήματος με συγκεκριμένες βελτιώσεις, όπως στις απαιτούμενες δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας για την επίτευξη υψηλών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας κατά τις φάσεις αποθήκευσης στη δεξαμενή και ανάκτησης θερμότητας από τη δεξαμενή, μειώνοντας όμως στο ελάχιστο τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, όσο η θερμική ενέργεια είναι αποθηκευμένη μέσα στη δεξαμενή, στο συμπιεστή, όπου η συμπίεση πρέπει να πλησιάζει την αδιαβατική μεταβολή με επίτευξη υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών (συνήθως τριβάθμιο συμπιεστή), στο στρόβιλο, όπου είναι αναγκαία η νέα σχεδίασή του ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες εισόδου, με μεταβαλλόμενες παροχές αέρα, χωρίς να μειώνεται η απόδοση της μονάδας. Αυτές οι νέες προδιαγραφές απαιτούν τη σχεδίαση μίας νέας μη συμβατικής βαθμίδας ρύθμισης λειτουργίας, προκειμένου να διαχειριστεί το εργαζόμενο μέσο μεταβαλλόμενης παροχής και πίεσης με το βελτιστό δυνατό τρόπο. Η προθέρμανση του στρόβιλου βοηθά στη βελτίωση της απόκρισης της μονάδας [Ε6, §3.3.2α]. Σε κάθε περίπτωση η διαμόρφωση ενός συστήματος αποθήκευσης αέρα μικρού μεγέθους micro-CAES είναι αρκετά ενδιαφέροντα επιστημονικά, αλλά δεν έχει ακόμη την αναγκαία τεχνολογική ωριμότητα και δεν υπάρχουν εμπορικά πακέτα.



**Σχήμα 1.3:** Δομή και λειτουργία αδιαβατικής μονάδας συμπιεσμένου αέρα [Ε6, σχήμα 3.3]

- οι κυψέλες καυσίμου, οι οποίες ένας ειδικός τρόπος ηλεκτροχημικής αποθήκευσης ενέργειας με βασική διαφορά ως προς τους κλασικούς ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές την κατανάλωση κάποιας μορφής καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως το καύσιμο είναι το καθαρό υδρογόνο, το οποίο εναλλακτικά μπορεί να προκύψει από κάποιο άλλο καύσιμο που περιέχει υδρογόνο μέσω κατάλληλης επεξεργασίας, όπως είναι η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα

του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. Εναλλακτικά το καθαρό υδρογόνο παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού. Αν η τελευταία υλοποιείται από Α.Π.Ε., τότε η κυψέλη καυσίμου μπορεί να λειτουργήσει 100% με Α.Π.Ε.. Αν το υδρογόνο αποθηκεύεται με στόχο την εξασφάλιση συνεχούς παροχής ισχύος από την κυψέλη καυσίμου, τότε προκύπτει η αναγεννούμενη κυψέλη καυσίμου (regenerative fuel cell – RFC). Τα προϊόντα ηλεκτροχημικής λειτουργίας μίας κυψέλης καυσίμου είναι το νερό, η θερμική και η ηλεκτρική ενέργεια. Την τελευταία εικοσαετία έχουν κατασκευαστεί διάφορα είδη κυψελών καυσίμου, με σκοπό να αντικαταστήσουν τις θερμικές μηχανές εσωτερικής καύσης, να είναι μονάδες παραγωγής ισχύος στα Σ.Η.Ε., όπως σε υποβρύχια, να τροφοδοτήσουν με ισχύ φορητές καταναλώσεις και να αποτελέσουν βοηθητική πηγή ισχύος σε υβριδικά αυτοκίνητα. Οι βασικές κατηγορίες κυψελών καυσίμου διαμορφώνονται με βάση το μηχανισμό εναλλαγής ιόντων και τα είδη ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, που επηρεάζονται σημαντικά από τα αντιδρώντα στοιχεία και τους ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται. Ανάλογα με το είδος ηλεκτρολύτη, οι βασικοί υπάρχοντες τύποι κυψελών καυσίμου είναι: αλκαλικοί (alkaline – AFC), μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membrane – PEMFC), άμεσης χρήσης μεθανόλης (direct methanol – DMFC), άμεσης χρήσης αιθανόλης (direct ethanol – DEFC), φωσφορικού οξέος (phosphoric acid – PAFC), τηγμένων ανθρακικών αλάτων (molten carbonate – MCFC), στερεοποιημένων οξειδίων (solide oxide – SOFC). Στον πίνακα 1.3 καταγράφονται τα σπουδαιότερα αναπτυγμένα είδη κυψελών καυσίμου μαζί με τα τυπικά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

**Πίνακας 1.3:** Βασικά χαρακτηριστικά κυψελών καυσίμου [Ε6, πιν. 3.4]

Τύπος κυψέλης καυσίμου	Θερμοκρασία λειτουργίας	Ηλεκτρολύτης	Μέσο φόρτισης	Άνοδος καταλύτη	Κάθοδος καταλύτη	Απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Ονομαστική ισχύς εμπορικών συσκευών
Αλκάλια (AFC)	70÷100°C	υδατικό αλκαλικό διάλυμα (υγρό)	H <sup>+</sup>	Ni	H <sub>2</sub>	60÷70%	10÷100 kW
Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	50÷100°C	πορώδες, θειούχο πολυμερές (στερεό)	H <sup>+</sup>	Pt	H <sub>2</sub>	30÷50%	0,1÷500 kW
Άμεσης μεθανόλης (DMFC)	90÷120°C	πορώδες, θειούχο πολυμερές (στερεό)	H <sup>+</sup>	Pt	Μεθανόλη	20÷30%	100÷1000 Kw
Άμεσης αιθανόλης (DEFC)	90÷120°C	πορώδες, θειούχο πολυμερές (στερεό)	H <sup>+</sup>	Pt	Αιθανόλη	20÷30%	100÷1000 kW
Φωσφορικό οξύ (PAFC)	150÷220°C	Φωσφορικό οξύ (υγρό)	H <sup>+</sup>	Pt	H <sub>2</sub>	40÷55%	5÷10000 kW
Τηγμένα ανθρακικά άλατα (MCFC)	650÷700°C	Ανθρακούχο αλκαλικό διάλυμα (υγρό)	CO <sup>2</sup>	Ni	CO / H <sub>2</sub>	50÷60%	100÷300 kW
Στερεοποιημένα οξείδια (SOFC)	800÷1000°C	στερεοποιημένα άλατα ζιρκόνιου (στερεό)	O <sup>2</sup>	Ni	CO / H <sub>2</sub> / CH <sub>4</sub>	50÷60%	0,5÷100 kW

Η συνολική απόδοση μίας κυψέλης καυσίμου είναι περίπου 40% με 65%, με δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσής της, εφόσον αξιοποιείται συγχρόνως η απορριπτόμενη θερμότητα σε άλλες χρήσεις. Ένα βασικό μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου, που εμποδίζει σήμερα τη μεγάλη τους χρήση, είναι το υψηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης τους, που κυμαίνεται μεταξύ των 5.000 – 8.000€/kW, το

οποίο καθορίζεται κυρίως από το κόστος των απαιτούμενων υλικών κατασκευής και συντήρησής της κατά τη λειτουργία της, π.χ. αντικατάσταση μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων. Συνήθως ως λύση είναι αρκετά πιο ακριβή από τους συμβατικούς ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές.

Πάντως ένας υβριδικός σταθμός μικρού μεγέθους μπορεί να ενταχθεί σ' ένα Σ.Η.Ε. είτε για την πλήρη κάλυψη ισχύος, είτε για την κάλυψη των αιχμών φορτίου, με συνηθέστερη χρήση την πρώτη, διότι:

- Η καταναλισκόμενη ισχύς έχει τέτοια τιμή, που καλύπτεται πλήρως από τον υβριδικό σταθμό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς την απαίτηση μεγάλων εγκαταστάσεων και τεχνικών έργων από πλευράς όγκου και καταλαμβανόμενης έκτασης.
- Το συγκριτικά υψηλό κόστος προμήθειας και αντικατάστασης των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών αποσβένεται πιο γρήγορα, εφόσον μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς, το οποίο είναι εφικτό με τη διαρκή λειτουργία των υβριδικών μονάδων σε όλη τη διάρκεια της ημέρας και όχι μόνο κατά την περίοδο αιχμής.
- Λόγω του μεγέθους του Σ.Η.Ε. δεν υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στις θερμικές μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους βάσης και αιχμής φορτίου. Διότι σ' αυτά τα Σ.Η.Ε. οι αντίστοιχες μονάδες είναι συνήθως ντιζελογεννήτριες, με συνέπεια να υπάρχει διαφορά στο ειδικό κόστος παραγωγής κατά τις περιόδους βάσης και αιχμής φορτίου, με συνέπεια να μην υπάρχουν τεχνικοί (π.χ. περιορισμός στο ρυθμό ανάληψης ή απορριψής φορτίου από τη μεριά των λιγνιτικών ή των πυρηνικών μονάδων) ή οικονομικοί λόγοι αντικατάστασης της παραγωγής των θερμικών μονάδων κατά τη διάρκεια της αιχμής (π.χ. μικρότερο κόστος λειτουργίας των λιγνιτικών και πυρηνικών μονάδων έναντι των αεριστροβιλικών μονάδων).

Αντίστοιχα έχουν αναπτυχθεί βασικοί αλγόριθμοι λειτουργίας των υβριδικών συστημάτων [E6, §3.6] και διαστασιολόγησης των συνιστωσών τους [E6, §3.7]. Βέβαια στη βιβλιογραφική ανασκόπηση θα αναφερθούν περιπτώσεις που απορρίπτουν τις προαναφερθείσες αρχές σχεδίασης.

#### 1.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

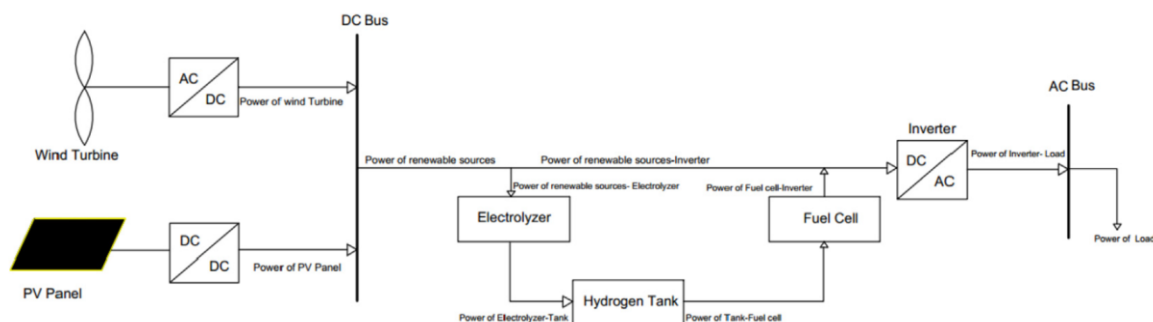
Σήμερα ένα μεγάλο πλήθος από αυτόνομα υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί από έναν αναμεταδότη τηλεπικοινωνιών [E12, E16] ή μικρή κατοικία [E13] των μερικών kW ως ένα απομονωμένο νησί [E14-E15] των μερικών MW. Η σχετική έρευνα κυρίως εντοπίζεται στους διαφορετικούς συνδυασμούς μονάδων παραγωγής ενέργειας και συσσωρευτών, στις τεχνικές σχεδίασης, λειτουργίας και ελέγχου, που λαμβάνουν υπόψη διάφορα κριτήρια τεχνικά, οικονομικά, αξιοπιστίας και περιβαλλοντικά.

Ειδικότερα έχουν προταθεί διάφοροι συνδυασμοί μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συσσωρευτών όπως:

- φωτοβολταϊκά και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E16, E17, E76], όπου προτείνουν για ισχύες συστήματος μικρότερες των 3 kWp τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να τροφοδοτούν απευθείας μέσω του κατάλληλου μετατροπέα τους συσσωρευτές στο ζυγό συνεχούς ρεύματος και στη συνέχεια να υπάρχει ένας αντιστροφέας για τις

καταναλώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ άνω των 3 kWp τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τροφοδοτούν μέσω αντιστροφέα το ζυγό καταναλώσεων εναλλασσόμενου ρεύματος και οι συσσωρευτές έχουν το δικό τους ανεξάρτητο αντιστροφέα / φορτιστή συνδεδεμένο απευθείας στο ζυγό καταναλώσεων εναλλασσόμενου ρεύματος,

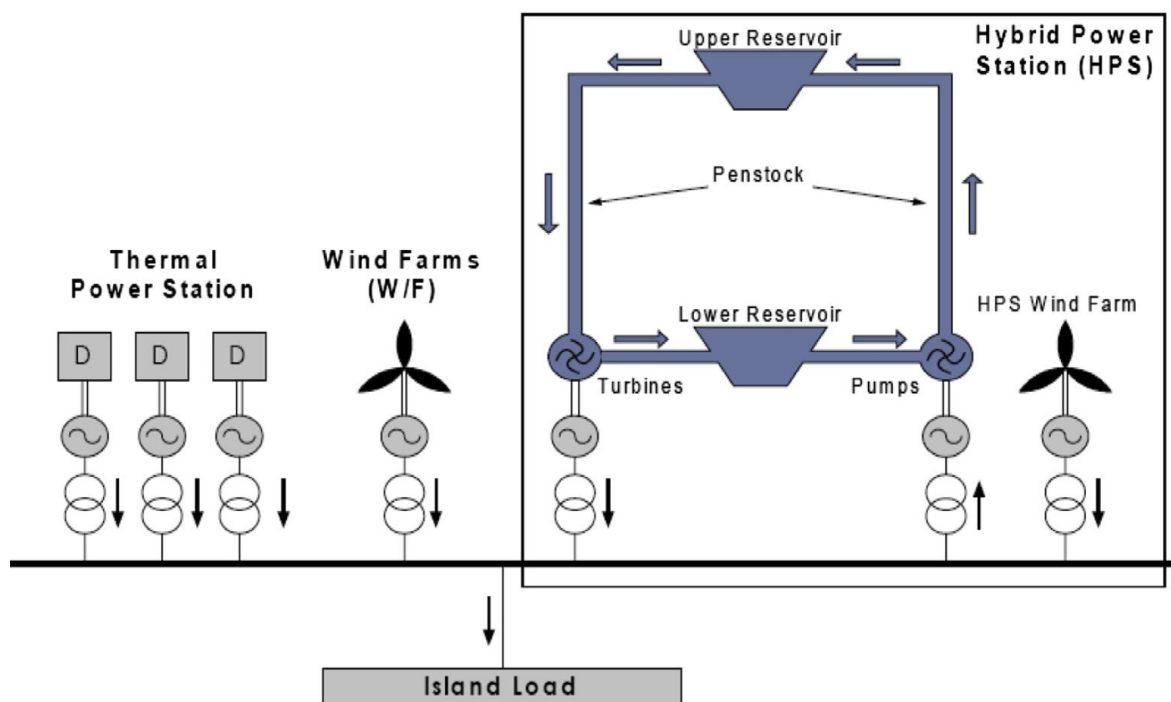
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E13, E14, E16-E17, E25, E17, E79, E80, E81], όπου κατά το [E17] είναι κατάλληλος για ισχύες συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια άνω των 3 kWp, στο [E13] η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς για οικία είναι 2,28 kW (2 kW ανεμογεννήτριες & 280 W Φ/Β) με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο, ενώ στο [E79] για αιχμή μικρότερη των 3,5 kW,
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και ντιζελογεννήτριες [E17],
- ανεμογεννήτριες και ντιζελογεννήτριες [E17],
- ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E17, E19],
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E17, E20-E21, E6], όπου κατά το [E6] είναι κατάλληλος για ισχύες συστήματος μικρής κλίμακας ως το 1 MW,
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και κυψέλες καυσίμου με δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου [E18], όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4,



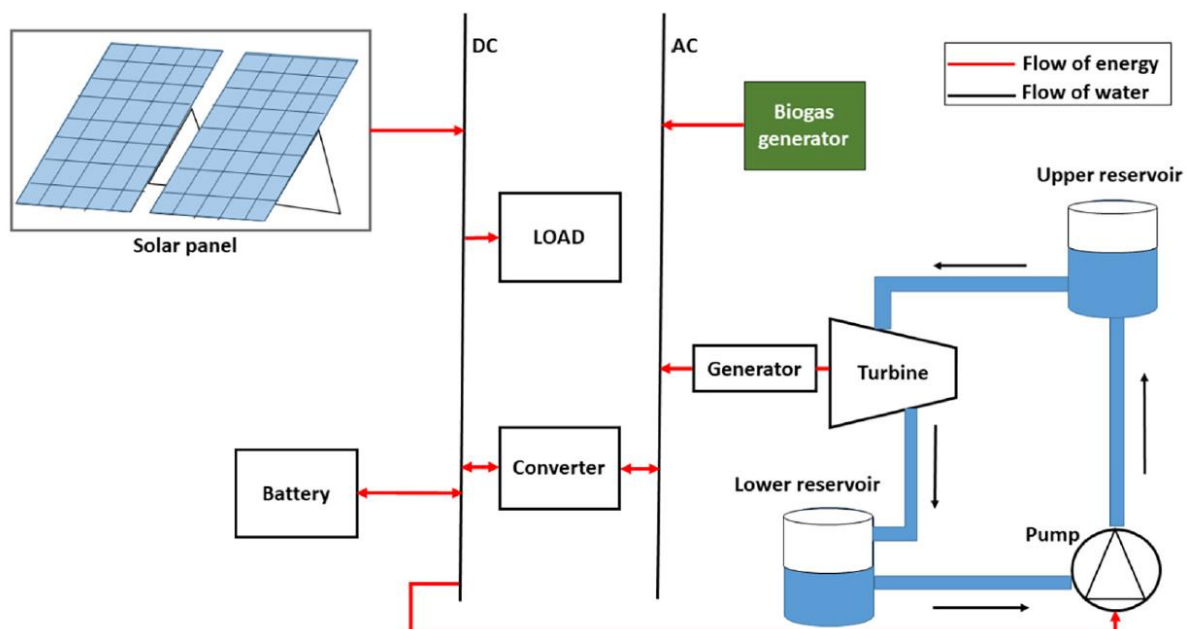
**Σχήμα 1.4:** Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου με δεξαμενή αποθήκευσης H<sub>2</sub> [E18, σχήμα 1].

- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες, ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές και κυψέλες καυσίμου με δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου [E6, E83],
- ανεμογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό (αντλητικό με δύο ταμιευτήρες) [E22, E6],
- ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό (αντλητικό με δύο ταμιευτήρες) [E23], όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5,
- φωτοβολταϊκά, θερμική μηχανή με βιοάεριο με ηλεκτρική γεννήτρια, αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E12], όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6,
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό [E26], όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7,
- φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου με δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου, αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό και ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές [E24].

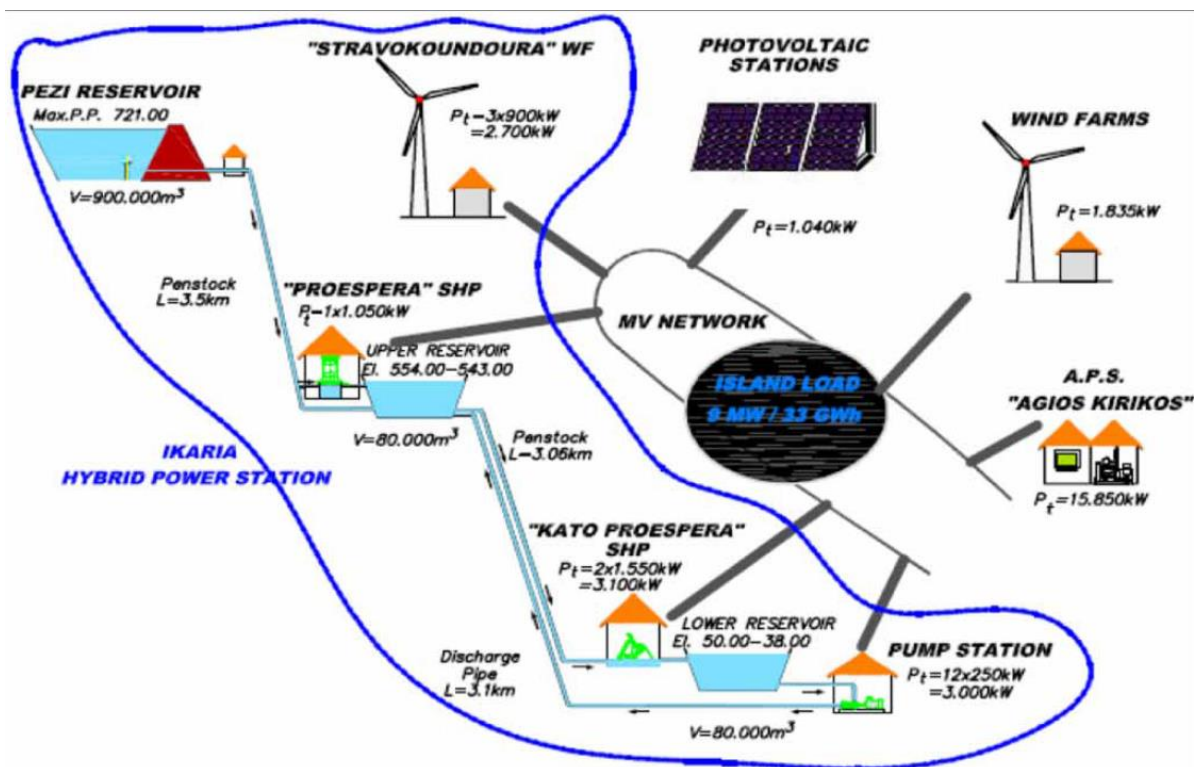
Στις περισσότερες αναφορές δεν υπάρχει ανάλυση της καταλληλότητας των εκάστοτε διαμορφώσεων για εύρη ισχύων, πλην των [Ε6, Ε16, Ε17, Ε15]. Επίσης οι αναλυτικές συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων διαμορφώσεων περιορίζονται σε λίγα άρθρα [Ε17, Ε18, Ε82].



**Σχήμα 1.5:** Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό για το νησί της Λέσβου [Ε23, σχήμα 1].



**Σχήμα 1.6:** Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για τηλεπικοινωνιακό πομπό [Ε12, σχήμα 1].



**Σχήμα 1.7:** Δομή υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ντιζελογεννήτριες και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό για το νησί της Ικαρίας [Ξ26, σχήμα 1].

Ως προς τους αλγορίθμους βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης του υβριδικού έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές, όπως:

- Αναλυτική διαδικασία υπολογισμών μέσω εξαντλητικών δοκιμών [Ξ15, Ε6, Ξ79, Ξ81, Ξ83], όπου σε επιλύουν το αντίστοιχο ζήτημα ορίζοντας εξ αρχής τους κανόνες λειτουργίας μεταξύ φωτοβολταϊκών – ανεμογεννητριών – αντλητικού συγκροτήματος ή μεταξύ φωτοβολταϊκών – ανεμογεννητριών – συσσωρευτών και κάνουν αντίστοιχες δοκιμές συγκεκριμένων τιμών με κριτήριο τη διείδυση Α.Π.Ε. 100%, χωρίς όμως να απαιτούν τον ίδιο χρόνο αυτονομίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις ορίζονται νέες παράμετροι, π.χ. παράμετρος κορεσμού φωτοβολταϊκών ως προς σύνολο ανανεώσιμων πηγών φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών και συνολική ισχύς ανανεώσιμων πηγών [Ξ81].
- Μεταεριστικός αλγόριθμος [Ξ12], όπου βασίζονται σε τεχνικές ανανέωσης πληθυσμών φλόγας Moth και κύκλου νερού.
- Τεχνική της μεγάλης έκρηξης – μεγάλου Crunch [Ξ16], όπου από το πληθυσμό συγκεκριμένου πλήθους πιθανών λύσεων βρίσκεται από την αντίστοιχη λειτουργία τα κέντρα μάζας των αντίστοιχων τεχνικών χαρακτηριστικών και μέσω κατάλληλης κανονικής συνάρτησης και ορίων προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά των επόμενων λύσεων και η διαδικασία επαναλαμβάνεται ως τη σύγκλιση. Στο [Ξ16] γίνεται παρουσίαση τόσο ο βασικός αλγόριθμος, όσο και οι τροποποιήσεις, όπως η αντιμετώπιση ακέραιων αριθμών.
- Τεχνική της γονιμοποίησης λουλουδιών [Ξ18], που περιγράφει τον τρόπο μεταφοράς γύρης και γονιμοποίησης λουλουδιών πολύ συνοπτικά.

- Τεχνική βελτιστοποίησης της κίνησης γκρίζου λύκου [E19, E80], όπου στο [E19] αναφέρει τον τρόπο κυνηγιού του γκρίζου λύκου μέσω διανυσματικής ανάλυσης καλύπτοντας τόσο μαθηματικά, όσο φιλολογικά τον αντίστοιχο αλγόριθμο, χωρίς καμιά βελτίωση.
- Πολυκριτηριακή αυτό-προσαρμοζόμενη διαφορική εξέλιξη [E21], όπου παρουσιάζει περιγραφικά τον αντίστοιχο αλγόριθμο.
- Μέτωπο Pareto [E22], χωρίς κάποια ανάλυση.
- Πολυκριτηριακός γενετικός αλγόριθμος [E23], χρησιμοποιώντας έτοιμη λειτουργία από το προγραμματιστικό πακέτο MATLAB.
- Πολυκριτηριακός αλγόριθμος σμήνους σωματιδίων [E19, E24, E78], όπου στο [E19] αναφέρει τη βασική μαθηματική σχέση.
- Αλγόριθμος Jaya, που είναι μία γενική μέθοδος έρευνας πληθυσμού λύσεων, που προτάθηκε από το V.Rao το 2016, που περιγράφεται συνοπτικά σε [E80].
- Αλγόριθμος Krill Herd, που είναι μία μετα-ευρυστική μέθοδος, που προτάθηκε από τους Gandomi & Alavi το 2012, που περιγράφεται ικανοποιητικά σε [E80].
- Αλγόριθμος μίμησης κίνησης μυρμηλεοντίδων και μυρμηγκιών, που είναι μία μέθοδος έρευνας που περιγράφεται ικανοποιητικά [E80].
- Αλγόριθμος πυγολαμπίδας [E25], όπου περιγράφεται ο σχετικός αλγόριθμος λεκτικά.
- Ανάλυση ευαισθησίας [E76, E77, E78], όπου προσδιορίζεται η επίδραση των παραμέτρων εισόδου, όπως ισχύς φωτοβολταϊκών πλαισίων και ενεργειακής χωρητικότητας των συσσωρευτών [E76], στην έξοδο, όπως στην καθαρή παρούσα αξία του έργου σε συγκριμένο χρονικό διάστημα [E76]. Το [E77] αναφέρεται μόνο σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ενώ στο [E78] μεταβάλλονται τιμές κόστους κεφαλαίου προς προσδιορισμό της επίδρασής τους στην εκάστοτε προτεινόμενη λύση.

Στις περισσότερες περιπτώσεις αντιμετωπίζουν τους αλγορίθμους βελτιστοποίησης ως «μαύρα» κουτιά, όπως στο [E12, E22, E23, E24, E78] ή εφαρμόζουν έτοιμα προγραμματιστικά πακέτα, όπως το HOMER [E17, E20, E82].

Επιπρόσθετα στις περισσότερες περιπτώσεις αναφέρονται σε μία μορφή υβριδικού συστήματος, εκτός των [E15, E17] που γίνεται μία αναλυτική εξέταση διαφορετικών λύσεων και [E77, E81] που διερευνούν διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Ως προς τα κριτήρια βελτιστοποίησης έχουν αναφερθεί διάφορα κριτήρια, όπως:

- τεχνικά, όπως όρια λειτουργίας συσσωρευτών [E12, E13, E15, E19, E20, E77, E83], όπου στο [E20] βασίζεται σε εξισώσεις χημικής κινηματικής και στο [E83] σε μεταβλητό βαθμό απόδοσης συσσωρευτή, όρια αποθήκευσης δεξαμενών υδρογόνου [E18], κύκλοι λειτουργίας γεννήτριας [E20], ποσοστό διείσδυσης Α.Π.Ε. [E23], πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια [E80, E83], λόγος πλεονάζουσας ενέργειας προς τη συνολική ενέργεια ζήτησης [E83], μη καλυπτόμενη ενέργεια ζήτησης και αντίστοιχος λόγος προς την συνολική ενέργεια ζήτησης [E83] κα.
- οικονομικά, όπως βελτιστοποίηση ως προς τη συνολική καθαρή παρούσα αξία επένδυσης μαζί με κόστη συντήρησης [E12, E14, E15, E18, E19, E20, E22, E24, E76, E78, E83], ως προς το μέσο κόστος της χρήσιμης παραγόμενης ενέργειας [E17, E21, E25, E80, E81, E82, E83], ως προς το ειδικό κόστος της αποθηκευόμενης ενέργειας

[E77], ως προς το εσωτερικό βαθμό απόδοσης [E22, E23], ως προς την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές (ελαχιστοποίηση) [E24], ως προς το ατελές κριτήριο του χρόνου απόσβεσης [E81],

- αξιοπιστίας, όπως πιθανότητα απώλειας φορτίου [E12, E18, E21, E24, E25, E80, E81], απώλεια ενέργειας [E18], λόγος απώλειας ενέργειας [E14], δείκτη λόγου απώλειας ενέργειας άνοιξης & καλοκαιριού προς απώλεια ενέργειας φθινοπώρου & χειμώνα [E14],
- περιβαλλοντικά [E17].

Πολλές φορές αγνοούνται άλλα στοιχεία, όπως τα τεχνικά όρια λειτουργίας ντιζελογεννητριών [E17, E19], ο βαθμός αυτό-εκφόρτισης ηλεκτροχημικών συσσωρευτών (σχεδόν στο σύνολο πλην των [E14, E16, E80, E81, E83]) κα.

Πρόσθετη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί σε ζητήματα, όπως για:

- τη βέλτιστη λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων [E26-E27],
- τη στρατηγική ελέγχου [E28],
- τις ειδικές απαιτήσεις συγκεκριμένων εγκαταστάσεων, όπως ποιμνιοστάσια [E29], κατοικίες [E13], αντλιοστάσια [E83].
- τα είδη συστημάτων ενεργειακής συσσώρευσης [E77] με βιβλιογραφική επισκόπηση των τεχνικών στοιχείων τους,
- τη γήρανση των συσσωρευτών, όπως στα [E25, E16, E79] αναφέρονται στη σταθερή τιμή του γινομένου βάθους εκφόρτισης συσσωρευτή με τον αντίστοιχο μέγιστο αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις την αγνοούν, όπως στο [E6, E12, E13, E15, E19, E20, E24, E77, E80, E81], που αποτελεί σημαντική έλλειψη για την οικονομική βιωσιμότητα του τεχνικού έργου,
- τις ειδικές απαιτήσεις αξιοπιστίας / διαθεσιμότητας σε προτεινόμενα συστήματα, όπως κατάλληλο για όλα τα κλιματικά δεδομένα [E30], πλοία [E31], αεροπλάνα [E32], κτλ.
- εφαρμογές σε Ελλάδα, όπως για τα νησιά της Σύμης, Αστυπάλαιας και Καστελορίζου [E15], της Κρήτης [E22, E33], της Λέσβου [E23], της Καρπάθου [E33], της Κάσου [E33, E75], της Ικαρίας [E26], της Τήλου [E24], της Άνδρου [E79], της Νάξου [E79], της Κέας [E79], της Ρόδου και άλλων νησιών του Αιγαίου [E77].

Στην τελευταία κατηγορία ειδικών εγκαταστάσεων με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας ανήκει το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοσίας του οικίσκου ελέγχου του σταθμού γείωσης ηλεκτροδίων που αφορά τη διασύνδεση υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος μεταξύ Αττικής – Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη Αττικής.

## 1.5. Περίπτωση Μελέτης: Οικίσκος Ελέγχου Σταθμού Ηλεκτροδίων Γείωσης Διπολικής Διασύνδεσης Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος Αττικής – Σύνδεσης στη νησίδα Σταχτορρόη Αττικής

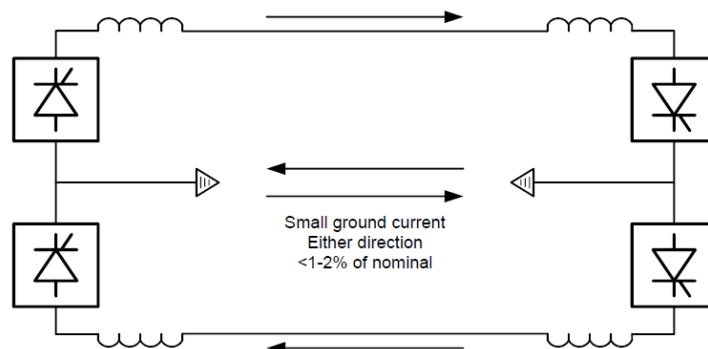
Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος: «*Ερευνητικό έργο διερεύνησης της βέλτιστης διαμόρφωσης συστήματος ηλεκτροδίων γείωσης καλωδίωσης συνεχούς υψηλής τάσης (HVDC) για μεγάλου μήκους διασυνδέσεις Αττικής-Κρήτης*» με κωδικό 80595 με ιδιοκτήτη τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.,



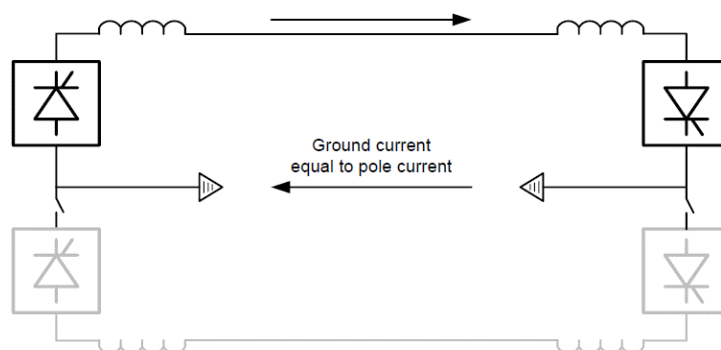
με ανάδοχο το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής και επιστημονικό υπεύθυνο τον επιβλέποντα της εργασίας, προέκυψε το πρόβλημα, της τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια του οικίσκου ελέγχου του σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης στη νησίδα της Σταχτορρόης Αττικής που απέχει 8 km από την Αίγινα με χρήση τεχνικο-οικονομικών κριτηρίων. Ειδικότερα οι αντίστοιχες κατασκευές παγκοσμίως είναι ελάχιστες και οι σχετικές οδηγίες περιορισμένες από την πλευρά του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE) [Ε8] και της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνίας (IEC) [Ε9], καθώς δίνουν έμφαση σε τροφοδοσία των αντίστοιχων σταθμών από δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. Η παρούσα όμως περίπτωση έχει βασικό χαρακτηριστικό, την κρισιμότητα της διασύνδεσης Αττικής-Κρήτης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος για τη νήσο Κρήτης [Ε10], καθώς υπάρχει η απαίτηση από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και από τον Α.Δ.Μ.Η.Ε. με την ολοκλήρωση της διασύνδεσης της Αττικής-Κρήτης να κλείσουν οι θερμικές μονάδες της Κρήτης για περιορισμό εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και για τοπικούς περιβαλλοντικούς λόγους. Πρόσθετα η εναλλασσόμενη διασύνδεση της Κρήτης με την Πελοπόννησο ονομαστικής ισχύος 2\*200 MVA, ονομαστικής τάσης 150 kV δεν μπορεί να διαχειριστεί τη ζήτηση φορτίου στην Κρήτη από μόνη της για θερμικούς λόγους και λόγους ευστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οδηγεί στη σχεδίαση της τροφοδοσίας του οικίσκου ελέγχου με βάση τον κανόνα αξιοπιστίας «2n» αντί «n+1», όμοια με αυτών των στρατιωτικών εγκαταστάσεων [Ε31] και των χειρουργείων – μονάδων εντατικής θεραπείας σε νοσοκομεία [Ε11].

Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό η κρισιμότητα του οικίσκου ελέγχου γίνεται μία σύνοψη του τεχνικού έργου της διασύνδεσης Αττικής-Κρήτης. Πρόκειται για ένα διπολικό σύστημα υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος στα 500 kV λόγω υψηλής ζήτησης ονομαστικής ισχύος 1000 (=2\*500) MW με δυνατότητα επίτευξης μελλοντικής διασύνδεσης της Κρήτης με την Κύπρο και το Ισραήλ, ενώ συγχρόνως θα επιτρέπει τη μεγαλύτερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχει δυναμικό Α.Π.Ε. της τάξης 2 GW και την κατάργηση των θερμικών μονάδων επί της Κρήτης, που ανέρχονται σε ισχύ της τάξης των 500 MW. Η επιστροφή του ρεύματος ανομοιομορφίας επί ομαλές συνθήκες (βλ. σχήμα 1.8) και υπό συνθήκες βλάβης κύριου καλωδίου (θετικού ή αρνητικού πόλου- βλ. σχήμα 1.9) πραγματοποιείται μέσω της θάλασσας, προκειμένου να περιοριστεί το σχετικό κόστος καλωδίου περίπου κατά 200.000.000 € κατά τη μελέτη εκτίμησης κόστους του Α.Δ.Μ.Η.Ε.. Το αντίτιμο είναι η κατασκευή δύο σταθμών ηλεκτροδίων γείωσης, τον ένα στη Σταχτορρόη Αττικής, τον άλλο στην Κορακιά Κρήτης.

Αρχικά ο Α.Δ.Μ.Η.Ε. χωροθέτησε τους σταθμούς μετατροπής διπολικού σχεδιασμού με μετατροπείς πηγής τάσης συνολικής ισχύος 1000 MW διπλής λειτουργίας, το μεν Αττικής δίπλα στο Κέντρο Υπερψηλής Τάσης Κουμουνδούρου λόγω της διαθεσιμότητας ισχύος και χώρου σε αυτό το Κ.Υ.Τ., καθώς και ότι είναι το μοναδικό ΚΥΤ 400 kV πλησίον θάλασσας σε Νότια Ελλάδα [Ε21], το δε Κρήτης στην περιοχή του χωριού Δαμάστα δήμου Αλεβιζίου νομού Ηρακλείου σε κατάλληλο χώρο μακριά από κατοικημένη ζώνη και πλησίον της παραλίας Κορακιάς νομού Ηρακλείου, που αρχικά προοριζόταν να γίνει νέος θερμικός σταθμός στην Κρήτη.



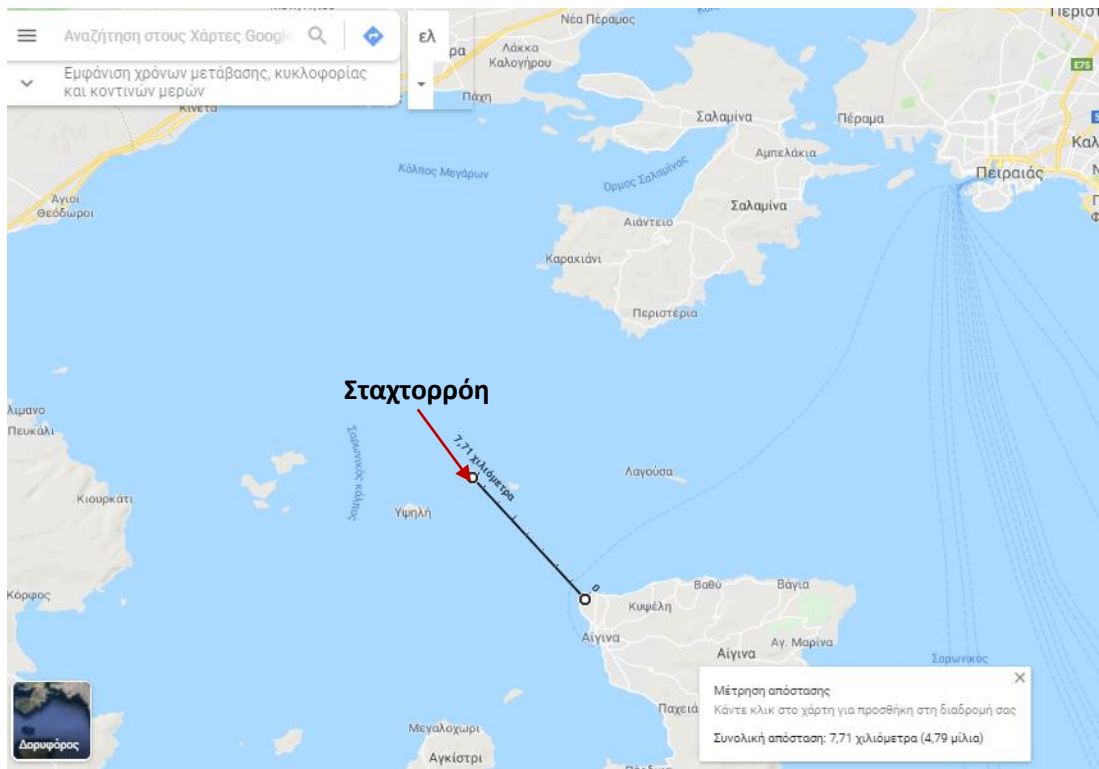
**Σχήμα 1.8:** Διαμόρφωση διπολικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος με χρήση του «εδάφους» για την επιστροφή ρεύματος (μικρό ποσοστό έναντι του ονομαστικού ρεύματος με εναλλαγή κατεύθυνσης) [Ξ8, Fig. 1.2]



**Σχήμα 1.9:** Διαμόρφωση διπολικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος με χρήση του «εδάφους» για την επιστροφή ρεύματος (υπό συνθήκες σφάλματος καλωδίου ενός πόλου το «έδαφος» λειτουργεί με το πλήρες ρεύμα του υγιούς πόλου) [Ξ8, Fig. 1.3].

Ακολουθώντας λαμβάνοντας υπόψη τους γεωγραφικούς χάρτες από τη Γεωγραφική Υπηρεσία, σχετικούς γεωλογικούς χάρτες, χάρτες ναυτιλίας, πολεοδομικούς χάρτες, χάρτες χρήσης γης, γενικές πληροφορίες περί γεωθερμικών πεδίων, υδροφόρου ορίζοντα, πεδίων βολής, περιοχών Natura, κτλ. ως καταλληλότερη περιοχή χωροθέτησης του σταθμού ηλεκτροδίων η νησίδα Σταχτορρόη Αττικής, που είναι κεντροβαρικά τοποθετημένη σε σχέση με κατοικημένες περιοχές και εγκαταστάσεις, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.10. Πρακτικά βρίσκεται σε ικανοποιητική απόσταση από την Αίγινα και άλλων κατοικημένων περιοχών (άνω των 8 km). Η οπτική εικόνα φαίνεται στο σχήμα 1.11 και η περιοχή που είναι κατάλληλη για τη διαμόρφωση λιμενικού έργου (με ένα μικρό στοιχειώδη όρμο) βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της νησίδας.

Η νησίδα δε διαθέτει δίκτυο διανομής, οπότε είτε θα τροφοδοτηθεί από το δίκτυο της Αίγινας μέσω υποβρύχιου καλωδίου μέσης τάσης 8 km τουλάχιστον και μετασχηματιστή υποβιβασμού, με εφεδρική ντιζελογεννήτρια και ηλεκτροχημικό συσσωρευτή 48 ωρών λόγω της απομονωμένης, δυσπρόσιτης περιοχής, είτε από έναν αυτόνομο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



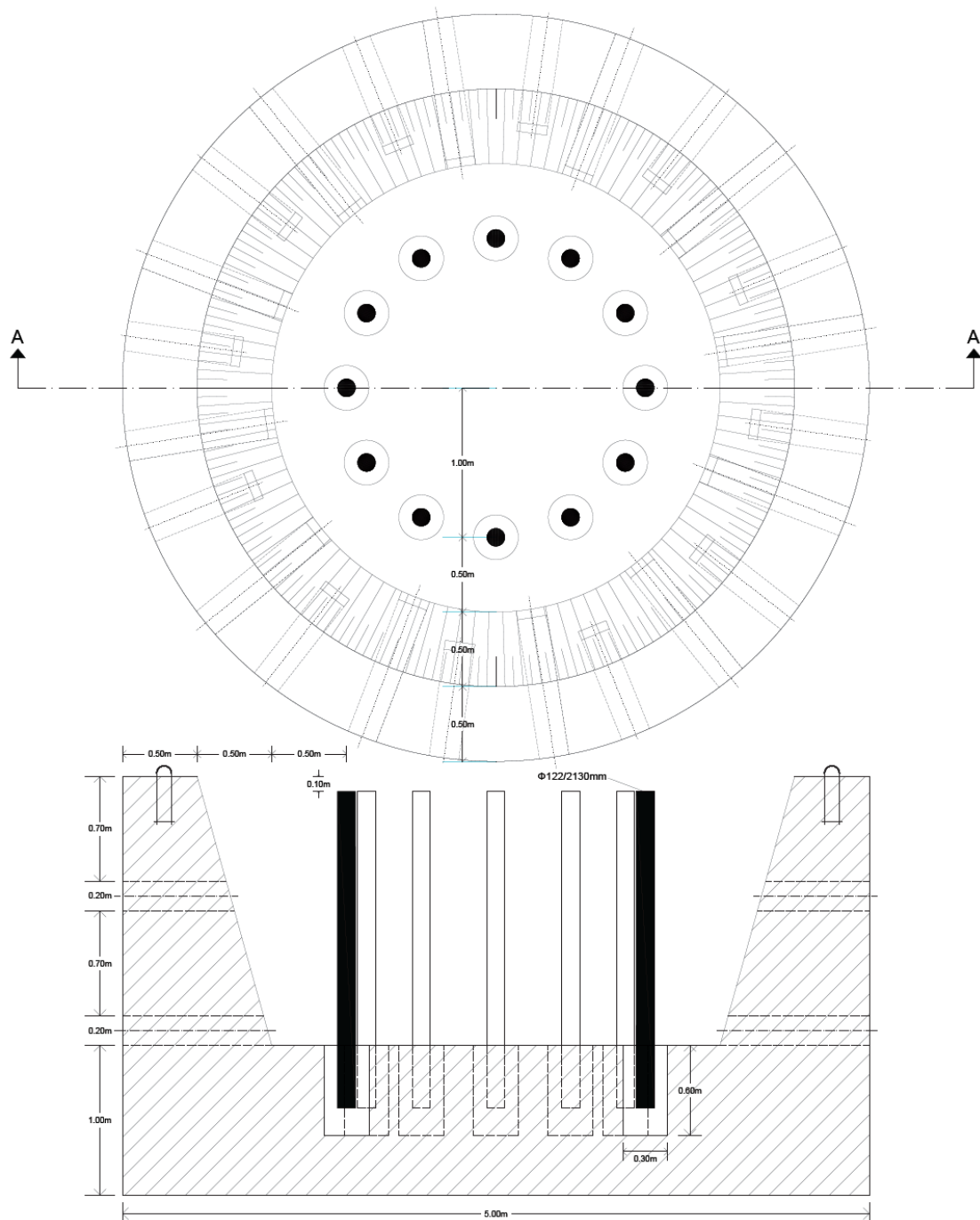
**Σχήμα 1.10:** Διερεύνηση τοποθεσίας εγκατάστασης ηλεκτροδίου λειτουργίας για σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος στην περιοχή Αττικής με κέντρο το Κ.Υ.Τ. Κουμουνδούρου – επιλογή Σταχτορρόης Αττικής.



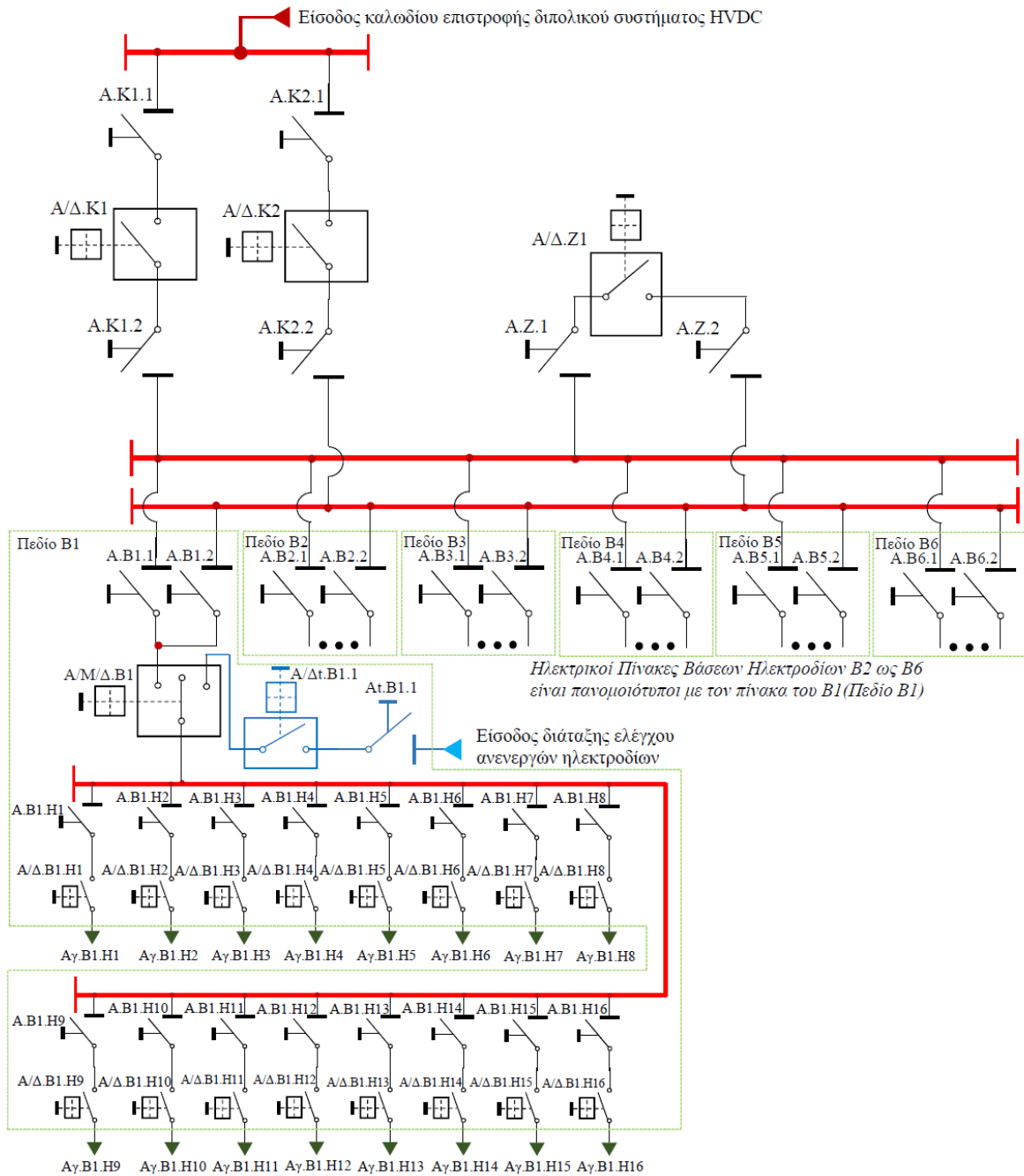
**Σχήμα 1.11:** Οπτική εικόνα της Σταχτορρόης.

Ο αυτόνομος σταθμός μπορεί να απαρτίζεται από φωτοβολταϊκά πλαίσια, ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες, τα πάντα διαμοιρασμένα στα δύο για λόγους αξιοπιστίας. Ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να τοποθετηθούν λόγω καταφυγίου γλάρων. Ο λόγος ύπαρξης του οικίσκου ελέγχου είναι ο απομακρυσμένος

χειρισμός, παρακολούθηση, έλεγχος κατάστασης και διαχείριση των ηλεκτροδίων γείωσης ποντισμένων στο νερό πλησίον της ακτής του ενδεικτικού σχήματος 1.12 μέσω του ηλεκτρολογικού πίνακα του σχήματος 1.13, όπως έχει προκύψει από τη μελέτη [E22].



**Σχήμα 1.12:** Τυπικό σχέδιο υποβρύχιας βάσης ηλεκτροδίων ποντισμένων σε θαλάσσιο νερό πλησίον της ακτής [E22].



**Σχήμα 1.13:** Ενδεικτικό μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτρολογικού πίνακα σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης Σταχτορρόης, όπου D: αποζεύκτης, CB: αυτόματος διακόπτης, ST: μεταγωγικός διακόπτης, Ca: καλώδιο [E22].

## 1.6. Βήματα Ερευνητικής Εργασίας

Στα πλαίσια αυτής της ερευνητικής εργασίας τίθεται τα εξής ερωτήματα:

- Ποια είναι η αναγκαία δομή του απομονωμένου οικίσκου ελέγχου με τις αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας;
- Ποια είναι η εκτίμηση της ζήτησης φορτίου από πλευράς καταναλώσεων σ' αυτόν τον οικίσκο ελέγχου, για τον οποίο δεν υπάρχει κάποια ειδικότερη πρόβλεψη από τους σχετικούς κανονισμούς;

- Είναι αναγκαία η δημιουργία αυτόνομου σταθμού παραγωγής ή είναι προτιμότερη η διασύνδεση με την Αίγινα;
- Ποια είναι η βέλτιστη δομή ενός αυτόνομου κλασικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελογεννήτριες;
- Ποια είναι η βέλτιστη δομή ενός αυτόνομου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με Α.Π.Ε. (εδώ με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές);
- Είναι προτιμότερος ο σχηματισμός ενός υβριδικού αυτόνομου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά πλαίσια, συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες;

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρατηρούνται ότι:

- Δεν λαμβάνονται υπόψη στους αλγορίθμους βελτιστοποίησης σχεδίασης κρίσιμες παράμετροι, όπως περιορισμοί λειτουργίας ντιζελογεννητριών, συσσωρευτών, η πραγματική διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, κτλ., τα οποία πρέπει να διερευνηθούν συγχρόνως.
- Μπορούν να εφαρμοστούν και άλλες μέθοδοι βελτιστοποίησης, όπως δυναμικός προγραμματισμός.
- Δεν υπάρχει σύγκριση με την περίπτωση της διασύνδεσης με το δίκτυο διανομής, όπου σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αγνοείται ως στοιχείο.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις αγνοούνται τα τυποποιημένα εμπορικά / τεχνικά μεγέθη των συσσωρευτών, των γεννητριών, κτλ. με τα αντίστοιχα τυπικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη τους. Αντίθετα στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν γενικά επιθυμητά στοιχεία που δεν κατασκευάζονται / δεν μπορούν να υπάρξουν στην πράξη.

Στα παραπάνω ερωτήματα θα προσπαθήσουμε να δώσουμε απαντήσεις στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αρχές Σχεδίασης & Διαμόρφωση Οικίσκου Ελέγχου Σταθμού Γείωσης Ηλεκτροδίων Διασύνδεσης Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος Αττικής-Κρήτης στη νησίδα Σταχτορρόη

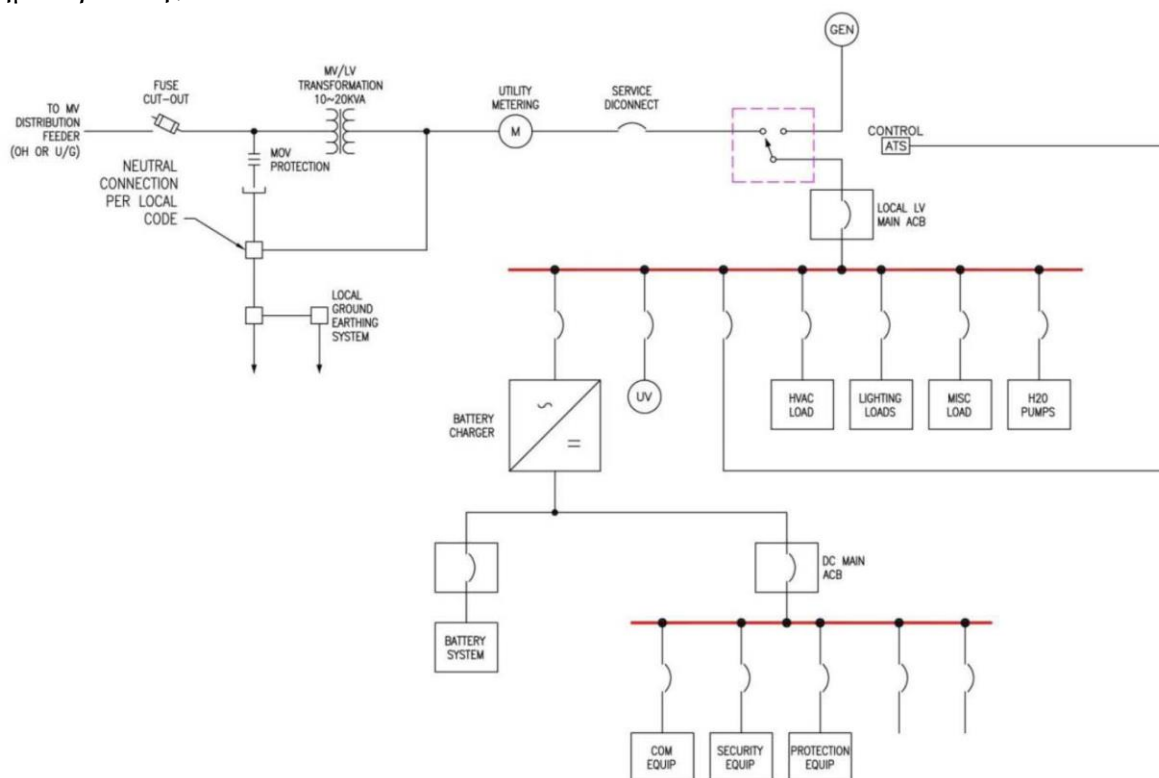
---

### 2.1. Εισαγωγή

Όπως αναφέρεται στις γενικές οδηγίες της CIGRE για τη σύνδεση του κύριου σταθμού υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος με το σταθμό ηλεκτροδίων γίνεται ιδιαίτερη ανάλυση για τα βοηθητικά συστήματα του σταθμού ηλεκτροδίων [Ξ9, §7]. Ειδικότερα αναφέρονται στα εξής στοιχεία:

♦ *Ηλεκτρική τροφοδοσία σταθμού ηλεκτροδίων* [Ξ9, §7.2]: Η παροχή εναλλασσόμενης τάσης στο σταθμό ηλεκτροδίων ενδέχεται να απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού, των βοηθητικών φορτίων που χρειάζονται για τη λειτουργία και την τακτική συντήρηση, της παροχής συνεχούς τάσης για το σύστημα παρακολούθησης των ηλεκτροδίων γείωσης και της γραμμής μεταφοράς συνεχούς ρεύματος, του εξοπλισμού εσωτερικού χώρου, όπως αφυγραντήρων, θερμαντήρων κα. Αν στην περιοχή υπάρχει δίκτυο χαμηλής ή μέσης τάσης, τότε θα χρησιμοποιηθεί για την παροχή ισχύος. Ωστόσο ο σταθμός ηλεκτροδίων συνήθως επιλέγεται να βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές ή περιοχές με σημαντικές υποδομές μεταφοράς και διανομής, προκειμένου να περιοριστούν οι δυνητικές επιδράσεις στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και οι διαβρώσεις από τα διαφυγόντα συνεχή ρεύματα των ηλεκτροδίων. Η διαθεσιμότητα της τροφοδοσίας πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδίασης της εγκατάστασης, ενώ στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί φωτοβολταϊκές διατάξεις με εφεδρικές ντιζελογεννήτριες. Ακόμη όμως και στην περίπτωση τροφοδοσίας των βοηθητικών λειτουργιών από το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης της περιοχής, χρειάζεται η τοποθέτηση μίας εφεδρικής ντιζελογεννήτριας στην περίπτωση που η περιοχή είναι απομακρυσμένη, και ενός συσσωρευτή για τα συστήματα παρακολούθησης και του τοποθετημένου εξοπλισμού του σταθμού ηλεκτροδίων, στην περίπτωση που δεν μπορούν να λειτουργήσουν για εκτεταμένες χρονικές περιόδους όταν έχει τεθεί εκτός λειτουργίας το δίκτυο διανομής για μεγάλο χρονικό διάστημα (το χειρότερο δυνατό σενάριο). Η ίδια απαίτηση ενισχύεται στην περίπτωση ύπαρξης συστημάτων παρακολούθησης του περιβάλλοντος χώρου, π.χ. με κάμερα, για λόγους ασφαλείας. Το είδος τροφοδοσίας της εγκατάστασης εξαρτάται από το φορτίο της και από την υπάρχουσα διαμόρφωση του δικτύου διανομής. Σε περίπτωση μικρού φορτίου επαρκεί το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης, ενώ σε περίπτωση μεγάλου φορτίου ή απομακρυσμένης περιοχής απαιτείται η χρήση μέσης τάσης. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται ένα τυπικό μονογραμμικό διάγραμμα της εγκατάστασης στην περίπτωση τροφοδοσίας κτιρίου με εφεδρική ντιζελογεννήτρια. Η παροχή συνεχούς τάσης απαιτείται κυρίως για τα συστήματα καταγραφής και επικοινωνιών, όπου είναι αναγκαία η ύπαρξη συσσωρευτών, κατάλληλων να λειτουργήσουν σε ακραίες καιρικές συνθήκες με την

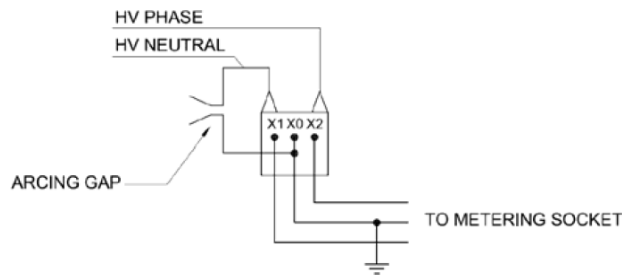
ελάχιστη δυνατή συντήρηση, ειδικά αν προορίζονται για θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C και για συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης. Η γείωση και η ισοδυναμική επιφάνεια του βοηθητικού συστήματος παροχής ισχύος θα πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφευχθούν τόσο ο σχηματισμός τοπικών βρόχων για τα διαφυγόντα συνεχή ρεύματα του σταθμού ηλεκτροδίων, όσο και η ροή συνεχούς ρεύματος από το σταθμό ηλεκτροδίων σε απομακρυσμένες τοποθεσίες μέσω του ουδέτερου αγωγού του δικτύου διανομής που είναι πολλαπλώς γειωμένος. Ο πολλαπλώς γειωμένος ουδέτερος αγωγός μπορεί να απομονωθεί από την εγκατάσταση με τη χρήση κατάλληλου σπινθηριστή διακένου για την περίπτωση βλάβης ακροδέκτη μετασχηματιστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2 για μονοφασικό μετασχηματιστή. Μέσα στην εγκατάσταση πρέπει να υπάρχει ένα μοναδικό σημείο γείωσης της εγκατάστασης στην αντίστοιχη είσοδο, ενώ πρέπει να αποφευχθεί η χρήση μεταλλικών δομών απομακρυσμένων από αυτό το σημείο γείωσης.



**Σχήμα 2.1:** Τυπικό μονογραμμικό διάγραμμα τροφοδοσίας παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος σταθμού ηλεκτροδίων στην περίπτωση τροφοδοσίας κτιρίου / εγκατάστασης με εφεδρική ντιζελογεννήτρια [Ξ9, Fig. 7.1].

♦ *Σύστημα παρακολούθησης σταθμού ηλεκτροδίων* [Ξ9, §7.3]: Σχετίζεται κατά κύριο λόγο με την παρακολούθηση τόσο των ηλεκτροδίων, ώστε να διαπιστώνεται μακροπρόθεσμα η διάβρωσή της ή άλλα αργά μεταβαλλόμενα φαινόμενα, που δεν απαιτούν αυτόματη λήψη μέτρων, όσο και των διακοπών της γραμμής σύνδεσης του σταθμού ηλεκτροδίων με το κεντρικό σταθμό μετατροπής.



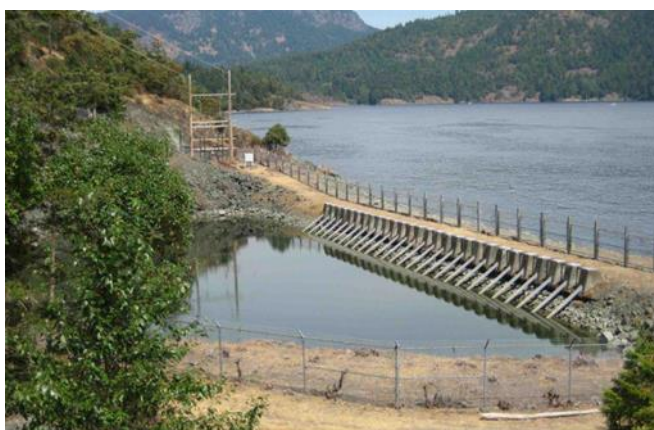


**Σχήμα 2.2:** Απομόνωση δικτύου διανομής με πολλαπλώς γειωμένο ουδέτερο από εγκατάσταση τροφοδοσίας παροχής εναλλασσόμενης τάσης στο σταθμό ηλεκτροδίων μέσω σπινθηριστή διακένου [Ξ9, Fig. 7.2].

Τα μεγέθη που καταγράφονται είναι η ένταση του ρεύματος των πλαισίων ηλεκτροδίων ή των ηλεκτροδίων, η θερμοκρασία και η υγρασία στην περίπτωση ηλεκτροδίων ξηράς ή η θερμοκρασία και η αλατότητα στην περίπτωση ηλεκτροδίων στη θάλασσα, κα.. Τα συστήματα παρακολούθησης παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος πολυπλοκότητας ανάλογα με τις ανάγκες που επιβάλλονται από τη λειτουργία της διασύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, ενώ ο βαθμός παρακολούθησης κυμαίνεται από τη μη παρακολούθηση ως την αναλυτική λήψη επιμέρους δεδομένων και άμεση μεταφορά τους μέσω κινητής ή σταθερής γραμμής επικοινωνίας σε δίκτυο επικοινωνιών σε πραγματικό χρόνο μέσω ξεχωριστής σύνδεσης με οπτική ίνα (τύπου OPGW - optical ground wire ή ADSS - all-dielectric self-supporting). Ωστόσο υπάρχουν πολλές δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων πολύ χαμηλής ισχύος που μπορούν να εφαρμοστούν στη συγκεκριμένη περίπτωση. Ιστορικά η προσέγγιση ήταν η κατασκευή μίας στιβαρής σχεδίασης που θα παρείχε τη δυνατότητα περιοδικής χειροκίνητης καταγραφής δεδομένων από το προσωπικό συντήρησης και της καταγραφής τυχουσών συνθηκών υπέρτασης του ζυγού γείωσης των ακροδεκτών υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, χωρίς την απευθείας μέτρηση στη θέση του σταθμού ηλεκτροδίων. Υπάρχουν περιπτώσεις κατασκευής χωρίς κανένα σύστημα καταγραφής, όπως στον ποταμό Nelson στον Καναδά για τα διπολικά συστήματα 1 και 2 και στη σύνδεση της νήσου Vancouver πάλι στον Καναδά, έχοντας όμως τακτική οπτική επιθεώρηση των ηλεκτροδίων για φθορά από το προσωπικό συντήρησης, όπως στο σχήμα 2.3(α). Σε περιπτώσεις όμως σύνθετης σχεδίασης ηλεκτροδίων, όπως στη σύνδεση Carlini στη Ναμίμπια με βαθιά κατακόρυφα ηλεκτρόδια, η παρακολούθηση αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, ώστε να βοηθήσει τους λειτουργούς του συστήματος σε ζητήματα φθοράς και στη λήψη διορθωτικών ενεργειών και συντηρήσεων για την αξιόπιστη λειτουργία της σύνδεσης, περιλαμβάνοντας τη μέτρηση της θερμοκρασίας εδάφους, των συνεχών ρευμάτων μέσω των καλωδίων διανομής στα πλαίσια των ηλεκτροδίων, των συνεχών ρευμάτων μέσω των γραμμών σύνδεσης του σταθμού ηλεκτροδίου - σταθμού μετατροπής και της κατάστασης του συστήματος παροχής ισχύος στα βοηθητικά συστήματα. Η ανάγκη καταγραφής / παρακολούθησης είναι μεγαλύτερη για τα ηλεκτρόδια μη συνεχούς λειτουργίας στο μέγιστο ρεύμα και για περιπτώσεις με σημαντική διακύμανση θερμοκρασίας κατά μήκος των ηλεκτροδίων. Σε κάθε περίπτωση το σύστημα παρακολούθησης τοποθετείται στην περιοχή των ηλεκτροδίων για τις περιπτώσεις ηλεκτροδίων στη ξηρά, επί της ακτής ή ποντισμένων πλησίον της ακτής. Αντίθετα για

ηλεκτρόδια που είναι βυθισμένα βαθιά στη θάλασσα, τοποθετείται στο σύστημα υποβρύχιας τροφοδοσίας καλωδίων ηλεκτροδίων που βρίσκεται στη ξηρά, το οποίο όμως δε θα δίνει πραγματικά την αναγκαία πληροφορία για την κατάσταση του σταθμού ηλεκτροδίου βαθιά στη θάλασσα.

♦ *Κτίριο ελέγχου, σχετικός εξοπλισμός και περίφραξη* [Ξ9, §7.4]: Η προστασία της ζωής έμβιων όντων και κυρίως των ανθρώπων επιβάλλει την ασφάλιση της περιμέτρου του σταθμού ηλεκτροδίων και τον έλεγχο εισόδου εντός αυτής, την επιτήρηση της αντίστοιχης περιοχής και την ανίχνευση ανεπιθύμητων διεισδύσεων. Ιστορικά ορισμένοι σταθμοί ηλεκτροδίων κατασκευάστηκαν χωρίς συστήματα επιτήρησης, με τον εξοπλισμό τοποθετημένο σε αντίστοιχο ύψος τοποθέτησης εξοπλισμού διανομής επί στύλων, ενώ ο χειρισμός τους γίνεται χειροκίνητα με την κατάλληλη επίβλεψη από το λειτουργό του συστήματος υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3(β). Σε περίπτωση απαίτησης συστημάτων καταγραφής και λειτουργίας με χρήση βοηθητικών παροχών ισχύος χρειάζεται η διαμόρφωση κτιρίου, όπως του σχήματος 2.4(α) ή άλλης προστατευτικής δομής του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, όταν δεν καλύπτονται οι ανάγκες προστασίας από καιρικές συνθήκες ή τις συνθήκες συντήρησης και ασφάλειας που επιθυμεί ο λειτουργός του συστήματος. Ένα κτίριο ενδεχομένως απαιτεί περισσότερη βοηθητική ισχύ για την εξασφάλιση φωτισμού, κλιματισμού - θέρμανσης - αερισμού και λοιπών λειτουργιών. Ωστόσο ο λειτουργός του συστήματος και η αναγκαία συντήρηση καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαμόρφωση του κτιρίου, την προσβασιμότητα στην εγκατάσταση, τα όρια μόνωσης κατά τις φάσεις απομόνωσης και συντήρησης του σταθμού ηλεκτροδίων σε συνεργασία με τα πρότυπα ασφαλείας. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν διαμορφωθεί υπόγειες θολωτές κατασκευές, όπως του σχήματος 2.4(β), με μεγάλη επιτυχία στις Η.Π.Α., που έχουν συστήματα καταγραφής / επικοινωνιών / ελέγχου ψύξης - θέρμανσης -αερισμού σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, έντονα υγρές, χρησιμοποιώντας όμως εξοπλισμό που είναι για εξωτερική χρήση / χρήση στην ύπαιθρο.



(α)



(β)

**Σχήμα 2.3:** (α) Διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων ποντισμένων πλησίον της ακτής σε λίμνη, χωρίς σύστημα αυτόματης παρακολούθησης, αλλά με τακτική οπτική παρακολούθηση από ομάδα συντήρησης [Ξ9, Fig. 7.3], (β) διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων χωρίς φράκτη με διακοπτικό εξοπλισμό επί στύλων διανομής [Ξ9, Fig. 7.4].



(α)



(β)

**Σχήμα 2.4:** (α) Διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων ξηράς στο Itaipu της Βραζιλίας με διακοπτικό υλικό εντός κτιρίου που συνοδεύεται από περιμετρικό φράκτη [Ξ9, Fig. 7.5], (β) θολωτή υπόγεια κατασκευή κατάλληλη για διαμόρφωση σταθμού ηλεκτροδίων [Ξ9, Fig. 7.6].

Συνεπώς οι οδηγίες περιγράφουν γενικά πως θα μπορούσε να διαμορφωθεί η θέση, χωρίς ιδιαίτερες λεπτομέρειες, πέρα της ύπαρξης συστήματος καταγραφής, παρακολούθησης και ανάλογα με τις ανάγκες διατάξεων ψύξης - θέρμανσης- αερισμού - αφύγρανσης. Στο συγκεκριμένο έργο της διασύνδεσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος Αττικής-Κρήτης λόγω της σπάνιας χρήσης των σταθμών ηλεκτροδίων γείωσης στις ονομαστικές τους συνθήκες (συνήθως θα είναι κάτω του 1% του ονομαστικού ρεύματος λόγω διπολικής λειτουργίας) απαιτείται σύμφωνα με τα ανωτέρω διαρκής παρακολούθηση της κατάστασής τους. Πρόσθετα είναι απομακρυσμένα, βυθισμένα πλησίον της ακτής, με δύσκολη πρόσβαση και στις δύο τοποθεσίες, ώστε να υπάρχει καθημερινή οπτική παρακολούθηση. Γι' αυτό απαιτούνται τα συστήματα παρακολούθησης, επιτήρησης και λειτουργίας να είναι αυτοματοποιημένα με κατάλληλη επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου ενέργειας και τους σταθμούς μετατροπής εναλλασσόμενης / συνεχούς τάσης. Λόγω της μεγάλης ισχύος της εγκατάστασης 1000 MVA / 500 kV που οδήγησε στη σχεδίαση τουλάχιστον έξι πλαισίων ηλεκτροδίων απαιτεί μία σειρά από διακοπτικό υλικό, όπως καταγράφηκε σε §4.2 και λόγω της γειννιάσής του με τη θάλασσα, χρειάζεται η προστασία του εντός κτιριακής εγκατάστασης και η κατάλληλη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου.

## 2.2. Διαμόρφωση οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης σε νησίδα Σταχτορρόης Αττικής

Από πλευράς Α.Δ.Μ.Η.Ε λόγω της κρισιμότητας του σταθμού ηλεκτροδίων για τη λειτουργία του συστήματος υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος αποφασίστηκε η διαρκής παρακολούθηση και επιτήρηση της κατάστασης των ηλεκτροδίων από απόσταση. Λόγω άμεσης γειννιάσής με το θαλάσσιο περιβάλλον η εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού διακοπτικού υλικού της θα βρίσκεται εντός κατάλληλα διαμορφωμένου

οικίσκου. Λόγω της μη ύπαρξης δικτύου μέσης / χαμηλής τάσης στη νησίδα της Σταχτορρόης και της απόστασης άνω των 7,8 km από το νησί της Αίγινας (που είναι το πιο κοντινό) αποδεικνύεται η αναγκαιότητα εγκατάστασης αυτόνομου δικτύου. Λόγω της κρισιμότητας του σταθμού ηλεκτροδίων για αυξημένη αξιοπιστία κρίνεται αναγκαίο όσα συστήματα εμπλέκονται με την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών να είναι σε διπλάσιο αριθμό, ώστε σε περίπτωση βλάβης, π.χ. του ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους να καλυφθούν οι ανάγκες από το δεύτερο. Για τον περιορισμό των ενεργειακών αναγκών σε πετρέλαιο από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη αποφασίστηκε η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη του συνόλου των αναγκών (όσο είναι δυνατό αυτό), ενώ η ίδια κατασκευή θα ικανοποιεί τα όρια κατηγορίας A ή A+ σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων [E9-E10] (αν και ως κτίριο βιομηχανικής χρήσης δεν περιλαμβάνεται), προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν πάσης φύσης ψυκτικές – θερμικές ανάγκες κτλ, παρά το γεγονός της ειδικής μορφής κτιρίου. Αυτό θα απαιτήσει την ύπαρξη συσσωρευτών, τόσο για την εξομάλυνση ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου – παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε., όσο και για λόγους εφεδρείας / αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε κρίσιμα φορτία. Λόγω της μη οδικής πρόσβασης πυροσβεστικής υπηρεσίας πέρα των τυπικών κανονιστικών διατάξεων πρέπει να εξασφαλιστεί η αυτόνομη επάρκεια πυροσβεστικών διατάξεων για την κατάσβεση πυρκαγιάς σε οικίσκο και περίξ αυτού [E11]. Πρόσθετα θα υπάρχει ένας χώρος ελέγχου και διαμονής του προσωπικού, εφόσον κριθεί αναγκαίο να διαμείνει, π.χ. λόγω βλάβης, λόγω της μη γειτνίασης με κατοικημένη περιοχή, μαζί με ένα στοιχειώδη χώρο υγιεινής. Με βάση τα ανωτέρω και τις βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής [E12] οι αναγκαίοι χώροι του οικίσκου είναι:

♦ *Ηλεκτροστάσιο ελέγχου ηλεκτροδίων γείωσης:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθούν οι πίνακες εισόδου καλωδίου επιστροφής συστήματος HVDC (εκτίμηση 3 ερμάρια με μέγιστες διαστάσεις μήκος · πλάτος · ύψος=1,50m · 1,00 m · 2,20 m), οι πίνακες εξόδου καλωδίων βάσεων ηλεκτροδίων (εκτίμηση 6 ερμάρια με μέγιστες διαστάσεις 1,50m · 1,00 m · 2,00 m). Επίσης ενδέχεται να περιέχει σύστημα αυτόματου ελέγχου επικοινωνιών και αντίστοιχο μικρό UPS. Απαιτούμενο καθαρό εμβαδόν με διάδρομο πλάτους 1,5 m τουλάχιστον  $7 \cdot 3,5 = 24,5 \text{ m}^2$  (με αλλαγή βάθους κτηρίου σε επιμήκη τοποθέτηση των πινάκων) ή τουλάχιστον  $5,0 \cdot 6,5 = 32,5 \text{ m}^2$  (με περιμετρική τοποθέτηση των πινάκων). Η κεντρική πόρτα χρειάζεται να έχει άνοιγμα προς τα έξω συνολικού καθαρού πλάτους 1,40 m, δίφυλλη, ύψους άνω των 2,20 m. Κάθε ερμάριο χρειάζεται να είναι στεγανό με έμμεση ψύξη, αν απαιτείται, και με πυρόσβεση με σταθερό συγκρότημα αδρανούς αερίου (π.χ. FM200). Συνολικό πλήθος: 1.

♦ *Ηλεκτροστάσιο γεννήτριας:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθεί ντιζελογεννήτρια μαζί με την ενσωματωμένη δεξαμενή της, καθώς και ο αντίστοιχος πίνακας αυτοματισμού / παραλληλισμού γεννήτριας, καθώς και ο αντίστοιχος πίνακας ηλεκτροστασίου σύνδεσης γεννήτριας – φωτοβολταϊκών πανέλων με μετατροπέα – φορτιστή συσσωρευτή. Δεν προτείνεται η εξωτερική του τοποθέτηση λόγω περιοχής Natura για πτηνά (μικρότερη όχληση) και του θαλάσσιου περιβάλλοντος (μικρότερη φθορά σε ντιζελογεννήτρια, ακόμη και αν επιλεγθεί ναυτικών προδιαγραφών). Η ντιζελογεννήτρια ισχύος από 12,5 kVA ως 30 kVA μαζί  $\text{m}^2$  ηχομονωτικό περίβλημα έχει μέγιστες διαστάσεις 1,90m · 0,90 m · 1,50 m. Οπότε μαζί με τους αναγκαίους χώρους

παράπλευρης προσβασιμότητας και χώρου ηλεκτρικών πεδίων απαιτείται καθαρό εμβαδόν τουλάχιστον  $3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ m}^2$ . Η κεντρική πόρτα χρειάζεται να έχει άνοιγμα προς τα έξω συνολικού καθαρού πλάτους 1,20 m, δίφυλλη, ύψους άνω των 2,00 m. Τα πεδία πινάκων δύνανται να είναι στεγανά και με πυρόσβεση με σταθερό συγκρότημα αδρανούς αερίου. Επίσης όλος ο χώρος ντιζελογεννήτριας χρειάζεται να δύναται να κατακλυστεί με διοξείδιο του άνθρακα ή άλλο κατασβεστικό υλικό (π.χ. FM200). Ο χώρος απαιτεί την ύπαρξη εξαερισμού προσαγωγής αέρα καύσης και ψύξης και απαγωγής εξαερισμού αέρα ψύξης και εξαγωγής καυσερίων. Σε περίπτωση πυρκαγιάς χρειάζεται να υπάρχουν αντίστοιχα fire dumpers. Συνολικό πλήθος: 2 χώροι (δύο γεννήτριες).

♦ *Χώρος δεξαμενής πετρελαίου:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθεί δεξαμενή πετρελαίου χωρητικότητας 2000 lt διαστάσεων 1,00m x 1,00m x 2,00m από μεταλλικό χαλυβδόελασμα 5 mm. Περιμετρικά κενά έμπροσθεν 0,70 m, οπίσθια πλευρά 0,25 m, πλευρικά 0,40 m, έδραση 0,10 m και άνω ύψος 1,00 m (λόγω ανθρωποθυρίδας 0,50 m · 0,50 m). Προκύπτει ενδεικτικός αναγκαίος χώρος τουλάχιστον  $2,0 \cdot 1,80 = 3,60 \text{ m}^2$  με καθαρό ύψος άνω των 3,10 m. Χρειάζεται σωλήνα εξαερισμού 1½" εκτός του χώρου, σωλήνα πλήρωσης 1 1/4", στόμιο εκκένωσης 1 1/4", δείκτη στάθμης πετρελαίου και μικρή αντλία πετρελαίου τροφοδότησης αντλιών και πυροσβεστικού συγκροτήματος. Η κεντρική πόρτα χρειάζεται να έχει άνοιγμα προς τα έξω συνολικού καθαρού πλάτους 0,90 m, μονόφυλλη, ύψους 2,00 m τουλάχιστον. Επίσης όλος ο χώρος χρειάζεται να δύναται να κατακλυστεί με αδρανές κατασβεστικό υλικό (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα, FM200) ή ξηρά σκόνη. Επίσης ο χώρος απαιτεί την ύπαρξη στοιχειώδους συστήματος ανανέωσης αέρα. Σε περίπτωση πυρκαγιάς χρειάζεται να υπάρχουν αντίστοιχα fire dumpers. Δεν προτείνεται η εξωτερική της τοποθέτηση λόγω θαλάσσιου περιβάλλοντος. Συνολικό πλήθος: 2 χώροι (κάθε δεξαμενή θα γειτνιάζει με αντίστοιχο χώρο γεννήτριας, ενώ θα υπάρχει διάταξη μεταξύ των σωλήνων πλήρωσης για μεταφορά πετρελαίου μεταξύ δεξαμενών για λόγους συντήρησης που υπό κανονικές συνθήκες θα είναι κενό).

♦ *Χώρος συσσωρευτή:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθεί συσσωρευτής VRLA ή μολύβδου θειικού οξέος 110 V dc με ενδεικτική χωρητικότητα 2000 Ah με αντίστοιχο πίνακα απομόνωσης ή / και ζεύξη με άλλο χώρο συσσωρευτή και UPS κρίσιμων φορτίων. Μπορεί να είναι εναλλακτικός χώρος τοποθέτησης φορτιστή συσσωρευτή και μετατροπέα φωτοβολταϊκού πανέλων μαζί με γενικό πίνακα (λόγω ύπαρξης κλιματισμού). Με ενδεικτικές διαστάσεις κάθε τεμαχίου 0,55 m · 0,28 m · 0,25 m για 12 V – 200 Ah και με συνδεσμολογία 10 σε σειρά και 10 παράλληλα, προκύπτει ενδεικτικός αναγκαίος χώρος με χρήση κατάλληλου κλιμακωτού rack τουλάχιστον  $2,0 \cdot 3,0 = 6,0 \text{ m}^2$ . Η κεντρική πόρτα χρειάζεται να έχει άνοιγμα προς τα έξω συνολικού καθαρού πλάτους 0,90 m, μονόφυλλη, ύψους 2,00 m τουλάχιστον. Τα πεδία πινάκων δύνανται να είναι στεγανά και με πυρόσβεση με σταθερό συγκρότημα αδρανούς αερίου. Επίσης όλος ο χώρος συσσωρευτή χρειάζεται να δύναται να κατακλυστεί με αδρανές κατασβεστικό υλικό (π.χ. FM200). Επίσης ο χώρος απαιτεί την ύπαρξη στοιχειώδους συστήματος ανανέωσης αέρα. Σε περίπτωση πυρκαγιάς χρειάζεται να υπάρχουν αντίστοιχα fire dumpers. Χρειάζεται να φέρει κλιματισμό για την επίτευξη θερμοκρασίας μεταξύ ορίων 10-35°C. Συνολικό πλήθος: 2 χώροι (δύο συσσωρευτές, ο κάθε συσσωρευτής θα γειτνιάζει με αντίστοιχο χώρο γεννήτριας).

♦ *Χώρος ελέγχου-διαμονής:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθεί το σύστημα ελέγχου της όλης εγκατάστασης υπό μορφή μεγάλου γραφείου, προσωρινός χώρος ενδιαίτησης μαζί με ένα χώρο λουτρού WC, που θα περιλαμβάνει νιπτήρα, WC και ντουζιέρα (λόγω συσσωρευτών, λαδιών). Τα ακάθαρτα θα καταλήγουν σε στεγανό βόθρο. Ενδεικτικός αναγκαίος χώρος είναι τουλάχιστον  $3,0 \cdot 4,0 = 12,0 \text{ m}^2$  εκ των οποίων  $1,5 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ m}^2$  το λουτρό (ενδεικτικό σχήμα 13 του [E12, σελ. 223]). Χρειάζεται να τοποθετηθεί κλιματιστικό που θα λειτουργεί μόνο σε περίπτωση διαμονής (εκτός αν απαιτείται διαφορετικά από το τηλεπικοινωνιακό υλικό) και αφυγραντήρας. Ενδεχομένως περιέχει συμπληρωματική διάταξη συγκροτήματος αυτόματης κατάσβεσης αδρανούς αερίου μαζί με τις αναγκαίες φιάλες υλικού και αυτοματισμού (εδώ για τους χώρους γεννήτριας και συσσωρευτή νο.2) Η κεντρική πόρτα μπορεί να έχει άνοιγμα προς τα μέσα συνολικού καθαρού πλάτους 0,90 m, μονόφυλλη, ύψους 2,00 m. Συνολικό πλήθος: 1 χώρος.

♦ *Χώρος αποθήκης:* Ο ενδεικτικός αναγκαίος χώρος θα είναι ενδεικτικά  $2,0 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ m}^2$ . Η κεντρική πόρτα μπορεί να έχει άνοιγμα προς τα μέσα συνολικού καθαρού πλάτους 1,20 m, δίφυλλη, ύψους 2,20 m. Διαθέτει βαρούλκο των 300 kg για τη μεταφορά ηλεκτροδίων χωρίς ή με βάση και τις θήκες για την τοποθέτηση 12 ηλεκτροδίων με βάσεις και 60 ηλεκτροδίων χωρίς βάσεις, καθώς και μήτρες (καλούπι) διαμόρφωσης βάσης ηλεκτροδίων. Συνολικό πλήθος: 1 χώρος.

♦ *Χώρος πιεστικού & πυροσβεστικού συγκροτήματος:* Σ' αυτό το χώρο θα τοποθετηθούν (α) ένα δίδυμο ηλεκτροκίνητο πιεστικό συγκρότημα μαζί με τον πίνακα ελέγχου για την εξασφάλιση νερού καθαριότητας τόσο των φωτοβολταϊκών, όσο και του στοιχειώδους λουτρού / WC, νερού ψύξης γεννητριών και καθαρισμού περιμετρικού χώρου, ενδεικτικής ισχύος  $2 \cdot 1 \text{ kW}$ , παροχής  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , μανομετρικού ύψους 6 bar, αναρρόφησης 6 m, δοχείου διαστολής 100 λίτρων, με αντίστοιχο πίνακα αυτοματισμού και τροφοδοσίας διαστάσεων  $1,00 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \text{ m}$ , (β) ένα πυροσβεστικό συγκρότημα με δύο κύριους ντιζελοκινητήρες ενδεικτικής ισχύος 21 hp έκαστη, μία ηλεκτρική αντλία jockey 1 hp (εδώ μπορεί να υπάρξει σύνδεση με δίδυμο πιεστικό συγκρότημα), δεξαμενή διαστολής 100 λίτρων, ονομαστικής παροχής  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  και μανομετρικού ύψους 6 bar, με αναρρόφηση 6 m, διαστάσεων  $1,70 \cdot 1,40 \cdot 1,30 \text{ m}$ , μαζί με πίνακες ελέγχου, εκκίνησης, συσσωρευτές, μανόμετρα κτλ. καλύπτοντας απαίτηση μόνιμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου κατηγορίας II, μαζί με δύο πυροσβεστικές φωλιές μία πλησίον εξωτερικά πυροσβεστικού συγκροτήματος, και μία αντιδιαμετρικά κτιρίου, που δύναται να συμπληρωθεί με κατάλληλο συμπιεστή αέρα προς ανάπτυξη συστήματος IFEX (κατάλληλο και για πυρκαγιά υπό τάση), (γ) συγκρότημα αυτόματης κατάσβεσης αδρανούς αερίου μαζί με αναγκαίες φιάλες υλικού και αυτοματισμού κτλ. (π.χ. FM200) ή / και διοξειδίου άνθρακα ή / και χημικής σκόνης κτλ.  $2,00 \cdot 0,50 \cdot 2,00 \text{ m}$ . Σε περίπτωση που δεν επαρκεί συμπληρωματική διάταξη θα τοποθετηθεί σε κατάλληλη θέση σε χώρο ελέγχου – διαμονής προς κάλυψη αναγκών συσσωρευτή 2-γεννήτριας 2 κτλ.. Ενδεικτικός αναγκαίος χώρος είναι τουλάχιστον  $3,0 \cdot 3,0 = 9,0 \text{ m}^2$ . Η κεντρική πόρτα χρειάζεται να έχει άνοιγμα προς τα έξω συνολικού καθαρού πλάτους 1,60 m, δίφυλλη, ύψους 2,00 m τουλάχιστον. Συνολικό πλήθος: 1 χώρος (προς πλευρά δεξαμενών ύδατος).

Επισημαίνεται ότι από πλευράς πυροπροστασίας η δομική κατασκευή πρέπει να ξεπερνά τα τυποποιημένα όρια, π.χ. ως μονώροφο κτίριο βιομηχανικής χρήσης Z1 θα αρκούσε δείκτης πυραντίστασης 60 λεπτών χωρίς σύστημα αυτόματης κατάσβεσης [E11]. Λόγω όμως της κρισιμότητας της εγκατάστασης και της ανυπαρξίας πυροσβεστικής υπηρεσίας στο νησί και λαμβάνοντας υπόψη ότι η προσέγγιση σκάφους από το λιμάνι του Πειραιά θα απαιτήσει πρακτικά 1,5 με 2 ώρες από την έναρξη της πυρκαγιάς, ο αναγκαίος δείκτης πυραντίστασης θυρών, τοίχων και οροφών τίθεται στα 120 λεπτά, ενώ κάθε χώρος δεξαμενής, ηλεκτροστασίου γεννήτριας, συσσωρευτών και ηλεκτροστασίου ελέγχου ηλεκτροδίων αποτελεί ξεχωριστό πυροδιαμερίσμα το καθένα. Εκ των πραγμάτων οι λοιποί χώροι, χώρος αποθήκευσης ηλεκτροδίων – αντλιών και χώρος διαμονής-ελέγχου είναι δύο ανεξάρτητα πυροδιαμερίσματα. Εδώ τα ίδια τα τοιχώματα με τα επιχρίσματά τους εξασφαλίζουν το αντίστοιχο επιθυμητό επίπεδο πυροπροστασίας (π.χ. επιχρισμένος μπατικός φέροντας τοίχος με διάτρητους πλίνθους πάχους τουλάχιστον 19 cm έχει δείκτη πυραντίστασης 240 min), οπότε η πρόσθετη επιβάρυνση εντοπίζεται στις πυροπροστατευόμενες θύρες. Πρόσθετα θα υπάρχει σύστημα ενεργητικής πυροπροστασίας, που θα περιλαμβάνει τόσο την ανίχνευση, την ειδοποίηση των αντίστοιχων κέντρων ελέγχου, όσο και την ενεργητική κατάσβεση με κατάλληλο μέσο, δίνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για το ηλεκτρολογικό υλικό υπό τάση (χρήση FM 200 κτλ.). Επίσης χρειάζεται να τοποθετηθούν οι αναγκαίοι πυροφραγμοί για τα δίκτυα που επικοινωνούν μεταξύ διαφορετικών πυροδιαμερισμάτων, ενώ τα καλώδια κτλ. να είναι από άκαυστα υλικά. Οδούσεις αγωγών, π.χ. πετρελαίου, πόσιμου νερού κτλ. καλό είναι να γίνονται περιμετρικά του κτιρίου σε κατάλληλα φρεάτια και όχι διαμέσου διαφορετικών πυροδιαμερισμάτων.

Επιπρόσθετα το κτίριο χρειάζεται να είναι προσανατολισμένο στον άξονα Νότο – Βορρά, παραλληλισμένο προς τη στενή του πλευρά, με τελική κλίση στέγης περί 3° για την απορροή των υδάτων [E12, σελ. 77]. Η βάση της στέγης είναι οριζόντια τοποθετημένη, από άοπλο σκυρόδεμα ή από σκυρόδεμα οπλισμένο με κατάλληλα υαλονήματα (ενδεικτικού τύπου GLASSPREE της ELEBOR [E34]), ενδεικτικού πάχους πλάκας 15 cm. Πάνω από την πλάκα στέγης τοποθετείται ενδεικτικά με σειρά από κάτω προς τα πάνω φράγμα υδρατμών, θερμομόνωση, προστασία θερμομόνωσης, ελαφρό μπετόν μεταβλητής διατομής για διαμόρφωση ρύσεων, τσιμεντοκονία εξομάλυνσης, στεγάνωση, προστασία στεγάνωσης, κονίαμα πρόσφυσης και πλάκες δαπέδου με σφράγισμα / προστασία αρμού [E12, σελ. 78-79], [E13, §4.7.1] ή άλλος τρόπος που θα επιτρέπει την ασφαλή τοποθέτηση, επισκεψιμότητα και συντήρηση των φωτοβολταϊκών πανέλων μαζί με το σύστημα καθαρισμού τους, χωρίς να μπορεί να υποστεί ζημιά το σύστημα θερμομόνωσης - στεγάνωσης.

Αντίστοιχα η όλη κατασκευή απαρτίζεται από φέρουσα τοιχοποιία ή από οπλισμένο σκυρόδεμα με υαλονήματα, τα οποία είναι για μακροχρόνια χρήση υπό μορφή τυποποιημένων πλεγμάτων, συνδετήρων, ευθύγραμμων οπλισμών κτλ., κατάλληλα για διαβρωτικά περιβάλλοντα, ηλεκτρικά και μαγνητικά ουδέτερα. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται η διαμόρφωση μίας αντισεισμικής κατασκευής υψηλής στάθμης, όπου κατά τον ελληνικό κανονισμό ΕΑΚ-2000 [E14] ο σεισμικός συντελεστής περιοχής είναι 0,24 (Ζώνη III) και ο συντελεστής σπουδαιότητας είναι 1,30 για κατηγορία Σ4 (κτίρια που τόσο κατά τη διάρκεια, όσο και μετά το σεισμό είναι ζωτικής σημασίας).

Ιδιαίτερη μέριμνα χρειάζονται τα πάσης φύσης υδραυλικά δίκτυα, ώστε να μπορούν να αναλάβουν / εκτελέσουν αποστολή τους υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, ικανά να αντέξουν θερμοκρασιακές μεταβολές περιβάλλοντος από -5 ως 45°C τουλάχιστον, σεισμικές φορτίσεις διατηρώντας τη λειτουργικότητά τους και μετά τη σεισμική δράση, με χρήση κατάλληλων συστολικών –διαστολικών, αντικραδασμικών κτλ. Προσοχή πρέπει να δοθεί σε ζητήματα διάβρωσης, π.χ. η χρήση κατάλληλων πλαστικών σωλήνων για ύδρευση – αποχέτευση περιορίζει τυχόντα προβλήματα ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

Πρόβλημα υπάρχει με τα πυροσβεστικά δίκτυα και με τους σωλήνες προσαγωγής νερού από τις κεντρικές δεξαμενές, που η συνήθης τεχνολογία για τα ελληνικά δεδομένα είναι (γαλβανισμένοι) χαλυβδοσωλήνες λόγω της μεγάλης διατομής ή χαλκοσωλήνες (σπανιότερα). Εδώ είτε χρειάζεται να ληφθούν πρόσθετα μέτρα μόνωσής του στα σημεία επαφής με τα σημεία τοποθέτησής τους / στήριξής τους, όπου από πειραματικά ή βιβλιογραφικά στοιχεία θα πρέπει να αποδειχθούν ότι δε διαβρώνονται ηλεκτροχημικά στο ειδικό περιβάλλον του οικίσκου της Σταχτορρόης, είτε χρειάζεται να γίνει η χρήση ειδικών πλαστικών σωλήνων από χλωριωμένο πολυβινυλχλωρίδιο CPVC (Chlorinated polyvinyl chloride) σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM F442 κατά τις απαιτήσεις κανονισμών πυροσβεστικών διατάξεων, όπως NFPA 13 [E35]. Αντίστοιχο πρόβλημα επιλογής υλικού σωλήνα υπάρχει και στην επιλογή σωλήνα πλυσίματος φωτοβολταϊκών πανέλων, όπου χρειάζεται και η αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία, καθιστώντας απαγορευτική τη χρήση σχεδόν του συνόλου των πλαστικών σωλήνων, πλην εκείνων που έχουν ειδικά διαμορφωθεί για εξωτερική χρήση υπό ηλιακή ακτινοβολία, π.χ. σωλήνες τύπου FASER UV PN20 SDR 7,4 με μαύρη πλαστική επένδυση της Aquatherm [E36]. Ομοίως και για τους σωλήνες αποχέτευσης ομβρίων, που τοποθετούνται στην εξωτερική περίμετρο, στις τρεις πλευρές με δύο κατακόρυφες στήλες απορροής, που έχουν ως στόχο να απομακρύνουν όχι μόνο τα νερά της βροχής, αλλά και της πλύσης των φωτοβολταϊκών πανέλων. Επιπλέον μηχανολογικός εξοπλισμός που χρειάζεται να τοποθετηθεί είναι εξαερισμός (σε όλους τους χώρους, φυσικός ή και τεχνητός για τις περιπτώσεις που δεν καλύπτει ο φυσικός, με ιδιαίτερη προσοχή στον τελευταίο για τους χώρους των γεννητριών και του πιεστικού συγκροτήματος πυρόσβεσης λόγω των μηχανών εσωτερικής καύσης), καπναγωγοί-καπνοδόχοι των μηχανών εσωτερικής καύσης (για τις γεννήτριες και το πιεστικό πυροσβεστικό συγκρότημα), κλιματιστικές μονάδες ψύξης-θέρμανσης για τους χώρους συσσωρευτών, ηλεκτροστασίου ηλεκτροδίων και ελέγχου-διαμονής, ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία (π.χ. μεταξύ 10 και 30°C) για την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συσκευών, αφυγραντήρες σε όλους τους χώρους για την εξασφάλιση του επιθυμητού επιπέδου υγρασίας (λόγω της εγγύτητας με τη θάλασσα οι κλειστοί χώροι παρουσιάζουν μεγάλη σχετική υγρασία). Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί τόσο για τις συσκευές και τα εξαρτήματά τους, όσο και για τις σωληνώσεις τους, ως προς την προστασία έναντι της ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελα θα είναι για εφαρμογές σε πλοία και όχι ξηράς [E37] και δε θα προσαρμοστούν επί πλαισίων για την εκμετάλλευση της βέλτιστης κλίσης, καθώς χρειάζεται από τη μία πλευρά τακτικό πλύσιμο για την απομάκρυνση αλάτων και ακαθαρσιών από τα πτηνά του νησιού, από την άλλη η διαμόρφωση πλαισίων κτλ. θα



δημιουργούσε κατάλληλες συνθήκες δημιουργίας φωλιών για τα πτηνά του νησιού και θα δημιουργούνταν ζητήματα κατά την απομάκρυνσή τους.

Επιπλέον επί της στέγης σε υψηλότερο σημείο προτείνεται η τοποθέτηση οπτική σήμανση εμποδίου αεροπλοΐας κατά ICAO τύπου Obstruction light L810 λόγω κοντινού πεδίου άσκησης Πολεμικού Ναυτικού κόκκινου σταθερού φωτός λαμπτήρα LED για ελάχιστη δυνατή κατανάλωση κάτω των 10 W (ενδεικτικά 3 W για [E38] ή 9,2 VA για [E39]) με ένδειξη συναγερμού σε περίπτωση απώλειας φωτισμού.

Πρόσθετα χρειάζεται να τοποθετηθούν θερμομόνωση επί του τοίχου και της οροφής, π.χ. από διογκώμενο πολυστυρένιο, αυτοσβεννύμενο σε περίπτωση πυρκαγιάς με προστασία έναντι της ανιούσας υγρασίας ενδεικτικού τύπου EPS200 της Knauf [E40] ή EPS100-150 Neopor της BASF [E41], ενδεικτικού πάχους 6 cm για εξωτερικό τοίχο, 2 cm για εξωτερικό τοίχο και για δάπεδο, 10 cm για οροφή, με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0,035 W/(m·K) ή μικρότερο. Το ίδιο ισχύει τυπικά και για κουφώματα. Επίσης λόγω της εγγύτητας με τη θάλασσα χρειάζεται να τοποθετηθεί κατάλληλη υγραμόνωση, πέρα από τις περιοχές της θεμελίωσης και της οροφής, στο σύνολο του περιμετρικού τοίχου, λαμβάνοντας, εφόσον απαιτείται, όμως κατάλληλα μέτρα εξαερισμού των τοιχωμάτων - οροφής μέσω κατάλληλων σημείων εξαερισμού, προστατευμένων από τη διείσδυση νερού κτλ.. Αν υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης συμπυκνώματος υδρατμών κατά την τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης, θα τοποθετηθεί διάφραγμα υδρατμών.

Ειδικά ως προς τη θεμελίωση πρέπει να τοποθετηθεί σε ανώτερη στάθμη από την ανώτερη στάθμη της θάλασσας, καθώς από πλευράς Α.Δ.Μ.Η.Ε. ο οικίσκος θα τοποθετηθεί πάνω στην επιχωμάτωση με κατάλληλα υλικό λιθόστρωσης εντός κολπίσκου νοτιοανατολικά στη νήσο Σταχτορρόη, με συντεταγμένες γεωγραφικό πλάτος 37° 46'900"-37° 46'925" N (Βορράς), γεωγραφικό μήκος 23°21'700"-23°21'725"E (Ανατολή). Η διακύμανση της μέσης στάθμης της θάλασσας είναι ±0,50 m. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αντίστοιχη ανερχόμενη υγρασία χρειάζεται σε ύψος 0,5 m πάνω από την άνω στάθμη της θάλασσας να υπάρξει μία διάστρωση από σκυρόδεμα πάχους 0,10 m τουλάχιστον σε όλη την επιφάνεια της βάσης του οικίσκου και περιμετρικά αυτού σε μία ζώνη τουλάχιστον 1,0 m σχηματίζοντας ένα είδος στεγανολεκάνης. Στην εσωτερική επιφάνεια αυτής ακολουθείτσιμεντοκονία εξομάλυνσης και ακολούθως επάλειψη ασφάλτου και διάστρωση στεγανωτικού υλικού και στη συνέχεια η τοποθέτηση προστατευτικού σκυροδέματος ή η προσεκτική επιμελημένη σκυροδέτηση της κύριας θεμελίωσης [E13, §2.6.2 & 2.8.3]. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθεί η άντληση υδάτων [E13, §2.8.3]. Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να δοθεί στα σημεία εισόδου οδύσεων αγωγών ηλεκτροδίων, σωλήνων ύδρευσης κτλ., ώστε να εξασφαλιστεί η υδατοστεγάνωση της διάταξης.

Το θεωρητικά αναγκαίο εμβαδόν χωρίς τοίχους ανέρχεται σε 80-88 m<sup>2</sup> χωρίς τοίχους κτλ. Αν ληφθούν τοίχοι φέρουσας τοιχοποιίας 30 cm, τότε οι ανωτέρω χώροι μπορούν να τοποθετηθούν αρχιτεκτονικά σε 13,3 m · 7,60m=101,08 m<sup>2</sup> ή ελαφρώς μεγαλύτερο. Η αντίστοιχη διάταξη υπό μορφή κάτοψης και ενδεικτικών τομέων παρουσιάζονται στα σχήματα 2.5 ως 2.7.

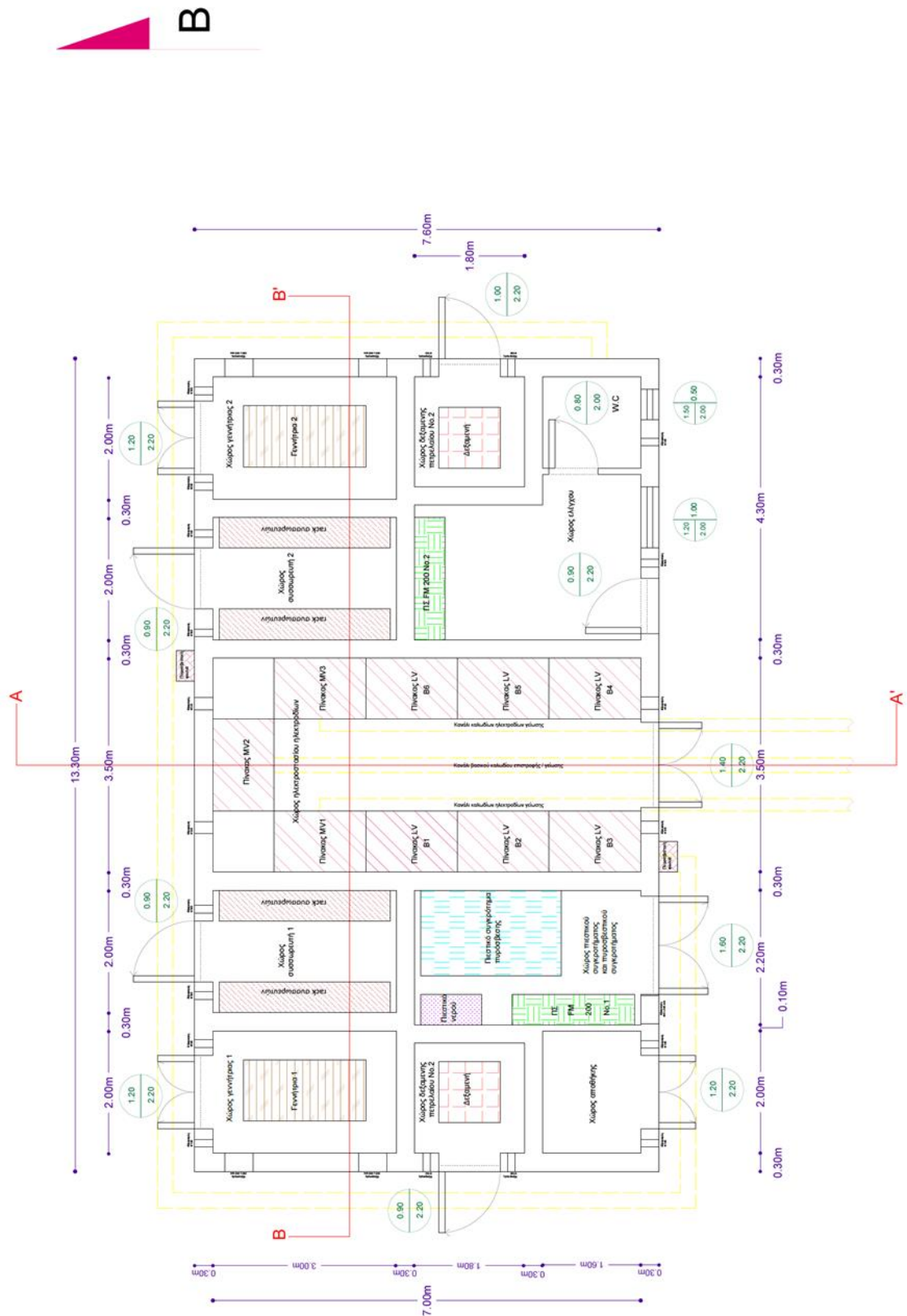
Επίσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8, πέριξ του οικίσκου θα υπάρχουν:

- Ένας βόθρος στεγανός, χωρητικότητας  $2 \text{ m}^3$  για τη στοιχειώδη εξυπηρέτηση του W.C. και τυχόν λυμάτων βιομηχανικής χρήσης από λοιπούς χώρους.
- Τρεις υπόγειες δεξαμενές πόσιμου γλυκού ύδατος  $40 \text{ m}^3$  η καθεμία με εσωτερικές ενδεικτικές διαστάσεις μήκος· πλάτος· ύψος =  $15,4 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m}$  με πλήρωση ως  $1,10 \text{ m}$ , με πάχος τοιχωμάτων-πυθμένα  $0,30 \text{ m}$  έκαστο και οροφής  $0,20 \text{ m}$ , δηλαδή με εξωτερικές διαστάσεις  $16,0 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m}$ . Ο προορισμός των δεξαμενών αυτών είναι να καλύψουν τις ανάγκες για πλύσιμο των φωτοβολταϊκών πανέλων και για πυρόσβεση / περιμετρική ψύξη χώρων υπό συνθήκες πυρκαγιάς. Η καθεμία δεξαμενή καλύπτει ανάγκες ύδατος  $380 \text{ lt/min}$  (τυποποιημένη παροχή σωλήνα πυρόσβεσης  $1\frac{3}{4}''$ ) για  $105 \text{ min}$ . Η μία δεξαμενή διατηρείται μόνο για χρήση πυρόσβεσης. Το περιορισμένο ύψος τους οφείλεται στην εγγύτητα των πυθμένων των δεξαμενών με τη στάθμη της θάλασσας και την προσπάθεια κατασκευής αντίστοιχης στεγανολεκάνης.
- Όδευση εισαγωγής κεντρικού αγωγού επιστροφής HVDC.
- Όδευση εξόδου αγωγών  $6 \cdot 16 = 96$  ηλεκτροδίων γείωσης (12 ανά πλαίσιο και 4 τουλάχιστον εφεδρικών ανά πλαίσιο).
- Όδευση – γείωση αγωγού γείωσης συσκευής ελέγχου ηλεκτροδίων κτλ..
- Οδεύσεις αγωγών ύδρευσης – αποχέτευσης.
- Κατάλληλο σκάμμα με ασφαλική διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου, με ιδιαίτερη έμφαση στη βάση του οικίσκου, με σκοπό όχι μόνο την υγραμόνωση της θεμελίωσης του μονο-όροφου οικίσκου, αλλά και τον περιορισμό διέλευσης διαφυγόντων ρευμάτων από το σταθμό ηλεκτροδίων και την εξασφάλιση της μη ανάπτυξης βηματικής τάσης επί του περιβάλλοντος χώρου (η σχετική διαστασιολόγηση είναι εκτός της παρούσας μελέτης). Η διαμόρφωση αυτή εκτείνεται και στην επιφάνεια πέριξ του οικίσκου, στις δεξαμενές μέχρι και τον κρηπιδότοιχο.

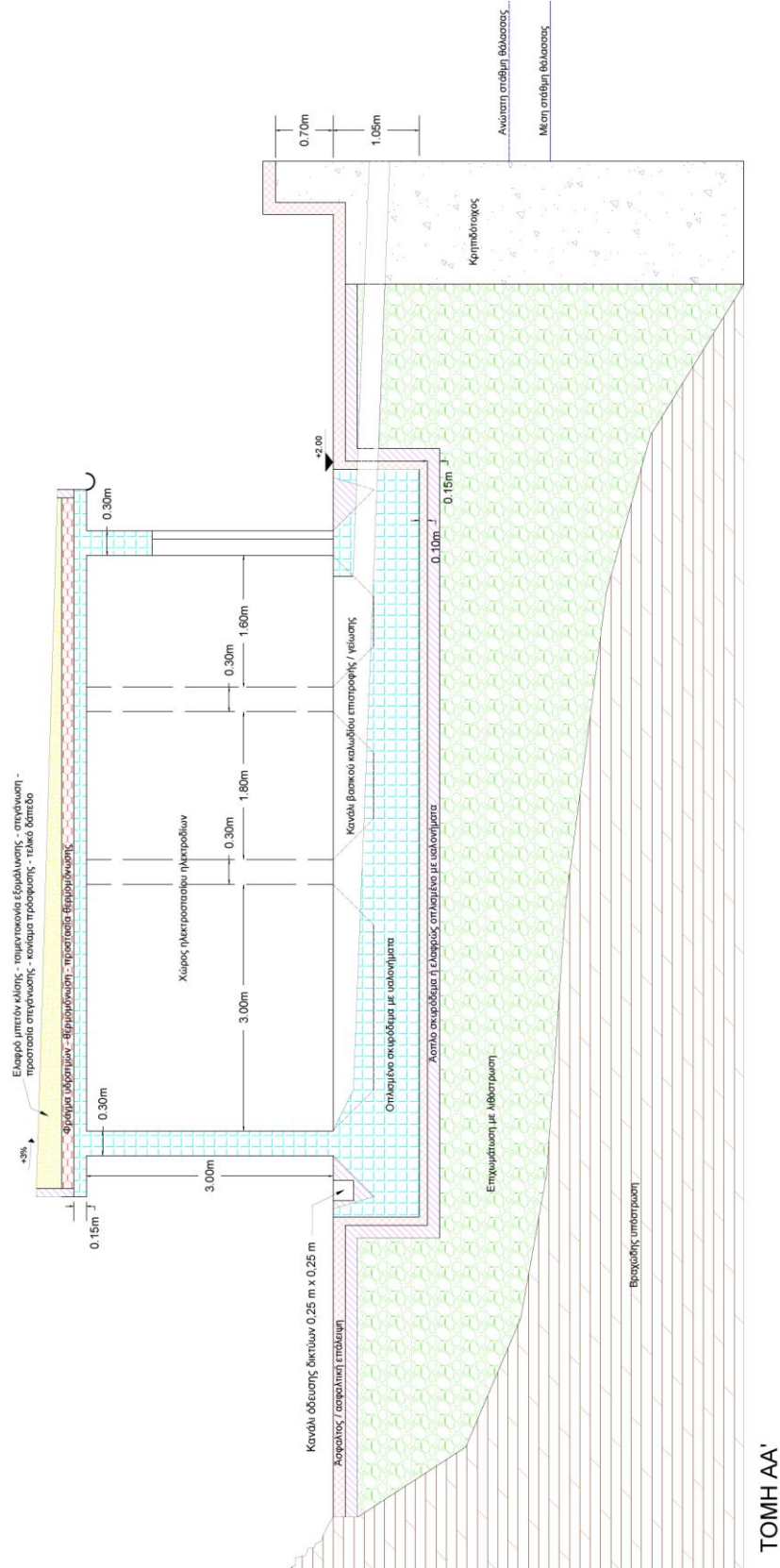
Επισημαίνεται ότι ο αναγκαίος οπλισμός για τις δεξαμενές και τις οδεύσεις εισαγωγής αγωγών, εξόδου αγωγών, καθώς και για τη διαμόρφωση του κρηπιδότοιχου - κυματοθραύστη κτλ., θα είναι από υαλονήματα (ενδεικτικού τύπου GLASSPREE της ELEBOR [E34]), εφόσον απαιτηθεί. Ακόμη το δάπεδο του οικίσκου πρέπει να βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να φτάσει το κύμα της θάλασσας, οπότε είτε ο οικίσκος πρέπει να τοποθετηθεί σε υψόμετρο μεγαλύτερο των  $2,70 \text{ m}$ , είτε έμπροσθεν αυτού να υπάρξει αντίστοιχος κυματοθραύστης συνολικού ύψους από τη στάθμη της θάλασσας  $2,70 \text{ m}$ .

Επίσης πέρα της εδαφομηχανικής μελέτης που θα γίνει στην περιοχή τοποθέτησης ύφαλων βάσεων και στον κολπίσκο της Σταχτορρόης που προορίζεται για την τοποθέτηση του οικίσκου και του μικρού λιμενικού έργου χρειάζεται στο βόρειο-δυτικό τμήμα να ελεγχθούν τα αντίστοιχα πρανή και να γίνουν σχετικά έργα αντιστήριξης, αν είναι αναγκαία.

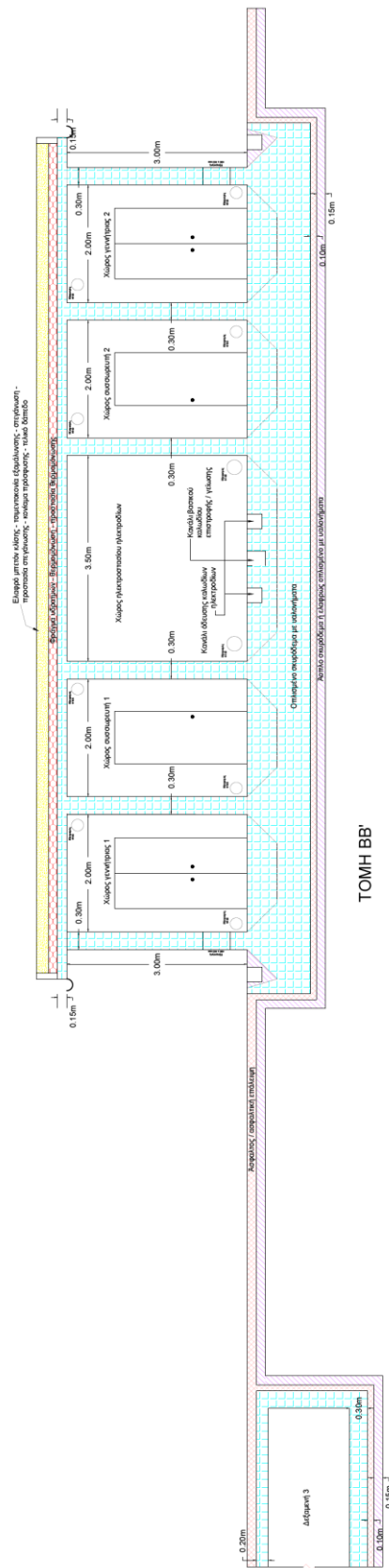
Πρόσθετα το ανώτερο επίπεδο του κρηπιδότοιχου και η στάθμη αναφοράς δαπέδου οικίσκου τοποθετείται τουλάχιστον στα  $2,00 \text{ m}$  πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και  $1,50 \text{ m}$  πάνω από την ανώτερη επιφάνεια της θάλασσας [E15, σελ. 178], προκειμένου να περιοριστούν τόσο τα φαινόμενα της ανιούσας υγρασίας σε οικίσκο, αλλά να είναι δυνατή η κατασκευή των δεξαμενών ύδατος.



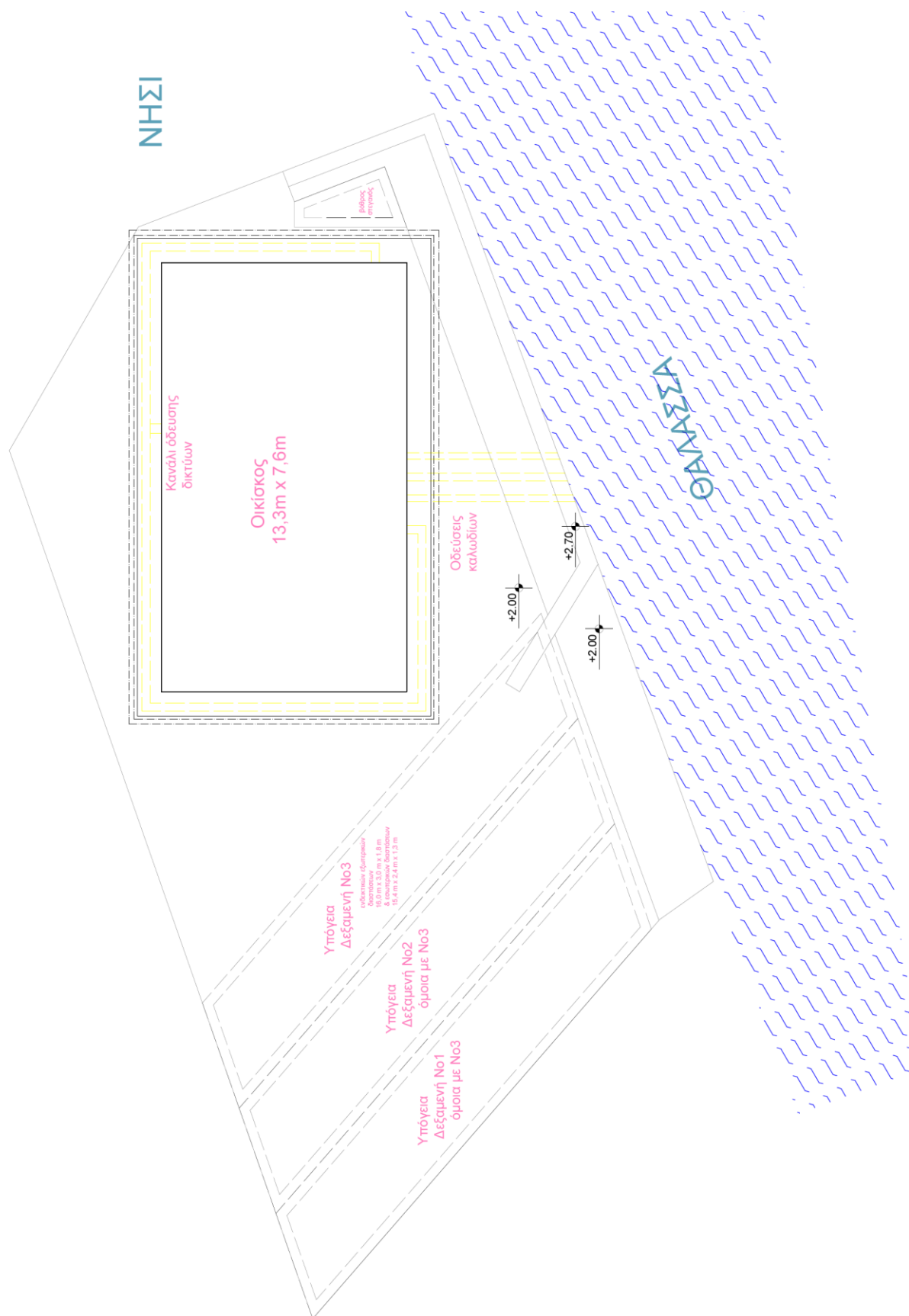
Σχήμα 2.5: Κάτοψη προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορόδη Αττικής.



**Σχήμα 2.6:** Τομή A/A' προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.



**Σχήμα 2.7:** Τομή Β/Β' προτεινόμενου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.



**Σχήμα 2.8:** Προτεινόμενη διαμόρφωση περιμετρικού χώρου οικίσκου παράκτιου σταθμού ηλεκτροδίων στη Σταχτορρόη Αττικής.

Επιπλέον με βάση τις οδηγίες που πρέπει να ζητηθούν από την Υπηρεσία Φάρων και την Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού ενδέχεται να τοποθετηθεί φαροδείκτης για την επισήμανση των ύφαλων βάσεων στη θάλασσα, πέρα από την αναγκαία επισήμανσή τους στους αντίστοιχους ναυτικούς χάρτες.

### 2.3. Προτεινόμενη διαδικασία σχεδίασης για οικίσκο ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης

Τα προτεινόμενα βήματα κατά τη σχεδίαση του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης είναι τα εξής:

- ◆ Προκαταρκτική αρχιτεκτονική σχεδίαση του οικίσκου ελέγχου βασισμένο στην εμπειρία των μηχανικών για όμοια κτίρια λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική νομοθεσία για το σκυρόδεμα, την προστασία έναντι σεισμών, την ενεργειακή αποδοτικότητα και κανονισμούς για τις ηλεκτρικές και μηχανολογικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες αυτού του οικίσκου, π.χ. λόγω της εγγύτητάς του με τα ηλεκτρόδια γείωσης ενδέχεται να βρίσκεται υπό την επίδραση διαφυγόντων ρευμάτων που ηλεκτροχημικά θα διαβρώνουν τον οπλισμό του οπλισμένου σκυροδέματος ή το μεταλλικό σκελετό του οικίσκου, οπότε χρειάζεται να διερευνηθεί η χρήση άλλων υλικών.

- ◆ Διερεύνηση τροφοδοσίας οικίσκου ελέγχου από δίκτυο διανομής ή από αυτόνομο σύστημα.

- ◆ Σε περίπτωση χρήσης αυτόνομου συστήματος πραγματοποίηση βέλτιστης επιλογής πηγών ενέργειας και μεγέθους τους, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, δηλαδή χρήση ντιζελογεννητριών, φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανεμογεννητριών, κτλ. με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, κυψέλες καυσίμου, μικρό-συστήματα αδιαβατικής συμπίεσης αέρα, μικρο-αντλητικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

- ◆ Εξέταση αν οι επιλεγμένες πηγές ενέργειας και οι συμπληρωματικές εγκαταστάσεις τους ικανοποιούνται από την προκαταρκτική αρχιτεκτονική σχεδίαση του οικίσκου ελέγχου.

- ◆ Συνολική εξέταση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου λαμβάνοντας υπόψη το επιτόκιο επένδυσης, τη διάρκεια ζωής των επιμέρους συνιστωσών, τα κόστη κατασκευής και συντήρησης.

- ◆ Επιλογή της βέλτιστης αρχιτεκτονικής σχεδίασης.

Η ανωτέρω διαδικασία προτείνεται να συμπληρώσει τις υπάρχουσες οδηγίες του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE) [Ε8] και της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνίας (IEC) [Ε9] για την τροφοδοσία των αντίστοιχων σταθμών πέρα από δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

# Αρχές Σχεδίασης Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Νησίδα Σταχτορρόης Αττικής

---

### 3.1. Εισαγωγή

Για την κάλυψη των ενεργειακών ηλεκτρικών αναγκών προτάθηκε η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πανέλων σε συνδυασμό με συσσωρευτή ηλεκτρικής ενέργειας και συμπληρωματικής ντιζελογεννήτριας. Λαμβάνοντας υπόψη βιβλιογραφικά σχετικές διαθέσιμες αυτόνομων δικτύων υπάρχουν δύο βασικά είδη [E16-E17]:

♦ Η άμεση τροφοδότηση εκ μέρους του φωτοβολταϊκού σταθμού των συσσωρευτών και από τους συσσωρευτές η τροφοδότηση των φορτίων εναλλασσόμενου ρεύματος. Θεωρείται κατάλληλο για αυτόνομα συστήματα μικρής ισχύος (ως 3 kWp), αλλά και με μικρή εγκατεστημένη ισχύ και τυποποιημένα επίπεδα τάσης συσσωρευτών και ρυθμιστών τάσης κτλ. 12 V, 24 V, 36 V και 48 V. Ενδεικτικές διατάξεις από τη βιβλιογραφία παρουσιάζονται στα σχήματα 3.1. και 3.2.

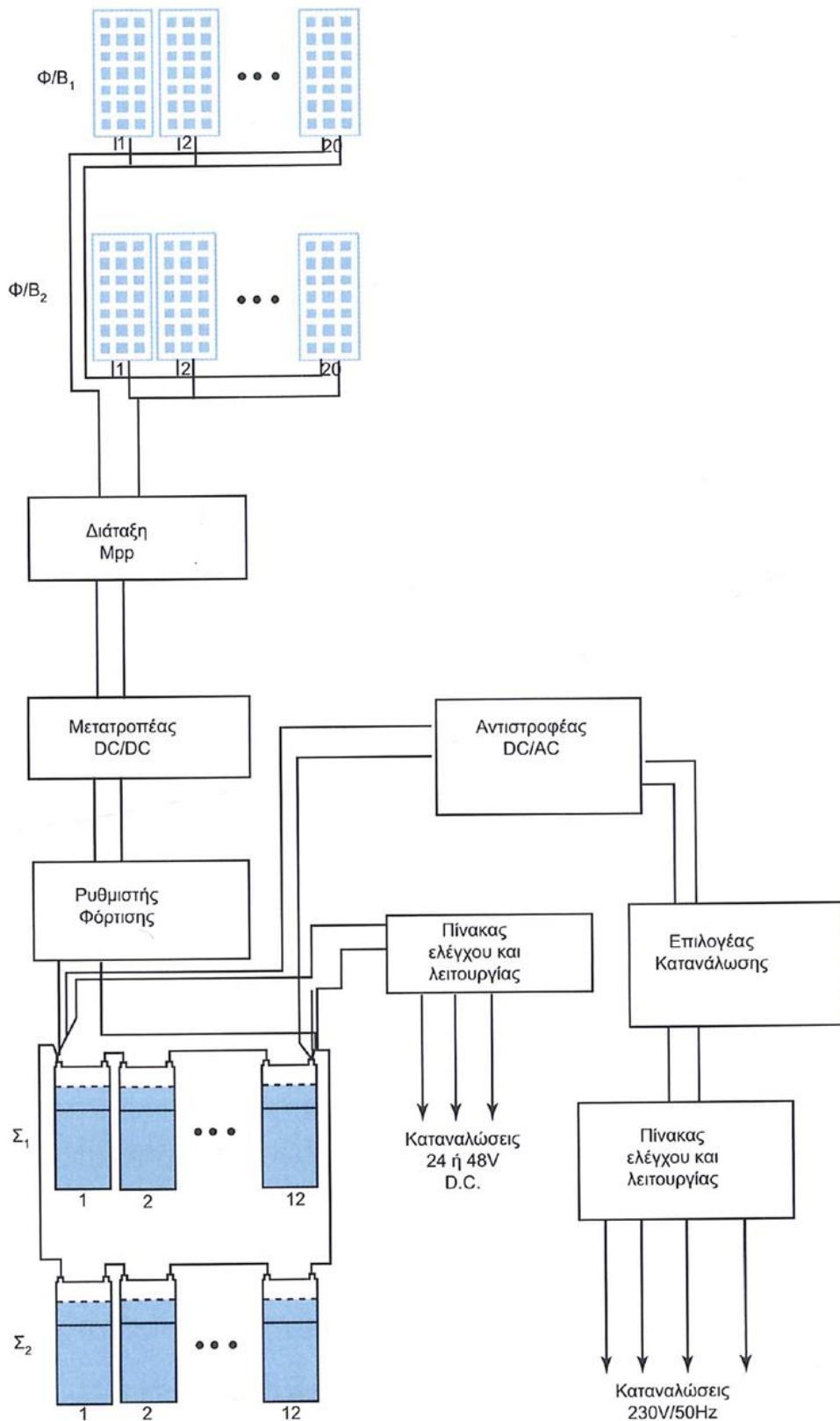
♦ Η άμεση τροφοδότηση εκ μέρους του φωτοβολταϊκού σταθμού του δικτύου εναλλασσόμενου ρεύματος πάνω στο οποίο βρίσκεται διασυνδεδεμένο το σύστημα των συσσωρευτών. Θεωρείται κατάλληλο για αυτόνομα συστήματα μεσαίας ισχύος (3 ως 15 kWp) και μεγάλης ισχύος (άνω των 15 kWp). Εδώ το πλεονέκτημα είναι ότι τα δίκτυα συνεχούς τάσης συσσωρευτών και φωτοβολταϊκών πανέλων είναι ανεξάρτητα, δηλαδή δεν υπάρχουν μεταξύ τους αλληλο-περιορισμοί, αντίθετα όλα συνδέονται με το δίκτυο εναλλασσόμενης χαμηλής τάσης 230/400 V – 50 Hz που υπάρχει πληθώρα τυποποιημένου υλικού. Το μειονέκτημα είναι η πολυπλοκότερη δομή και ο ελαφρώς χειρότερος συντελεστής ενεργειακής απόδοσης, καθώς για τη φόρτιση των συσσωρευτών από πλευράς φωτοβολταϊκού σταθμού μεσολαβεί το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος και η χρήση δύο μετατροπέων (dc φωτοβολταϊκού σταθμού σε ac και ac σε dc συσσωρευτή μαζί με φορτιστή), σε αντίθεση με τον έναν μετατροπέα-ρυθμιστή (dc φωτοβολταϊκού σταθμού σε dc συσσωρευτή). Ενδεικτικές διατάξεις από τη βιβλιογραφία παρουσιάζονται στα σχήματα 3.3 και 3.4.

Για την παρούσα περίπτωση χρειάζονται να ληφθούν υπόψη τα εξής δεδομένα:

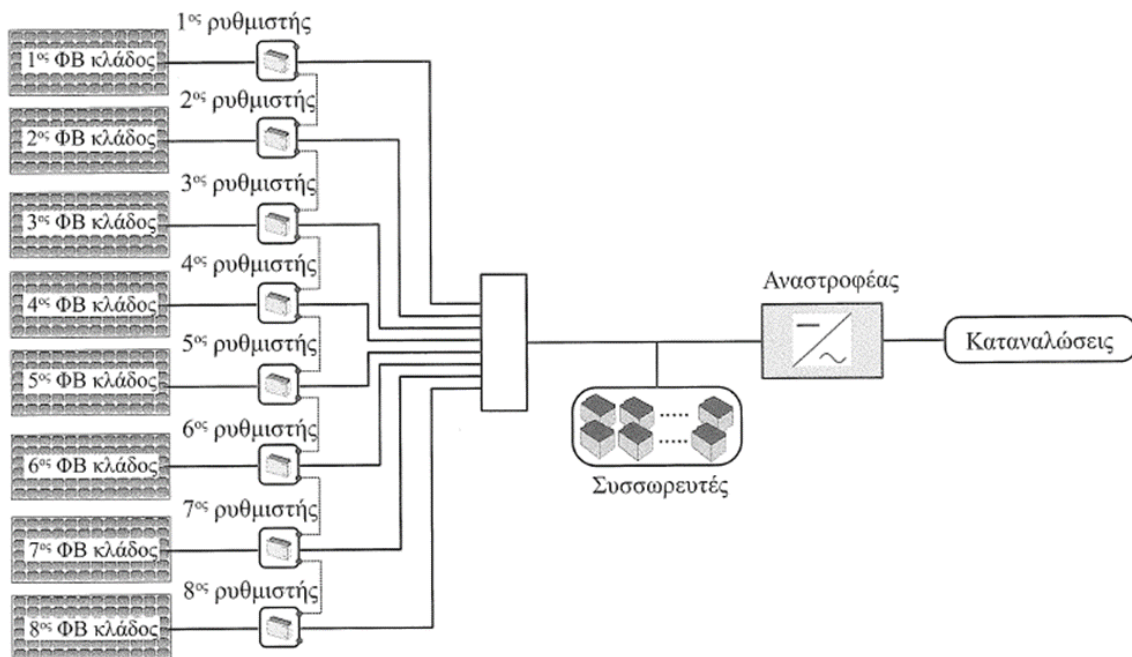
- Ο συσσωρευτής θα είναι τύπου VLRA (θειϊκού οξέος - μολύβδου κλειστού τύπου) στα 110 V dc για λόγους τυποποίησης στοιχείων Α.Δ.Μ.Η.Ε. (επιθυμία του τελευταίου). Σε αυτήν την τάση δεν υπάρχει άμεσα διαθέσιμος ρυθμιστής τάσεως / φορτιστής που να συνδέει το συσσωρευτή και το φωτοβολταϊκό σταθμό άμεσα (σε αντίθεση με τα 12 V, 24 V, 48 V και πιο σπάνια των 60 V) στην ελληνική αγορά.
- Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πανέλων πραγματοποιείται πολύ κοντά στην ακτογραμμή, οπότε αναγκαστικά το υλικό κατασκευής είναι από ειδικό πολυμέρες με χαρακτηριστικά την αντοχή σε αρμύρα, καιρικές συνθήκες, την ευκαμψία του και την ελαφρότητά του. Η διαθέσιμη μικτή επιφάνεια είναι της τάξης των 100 m<sup>2</sup> επί της στέγης οικίσκου, οπότε δύνανται να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πάνελα ισχύος



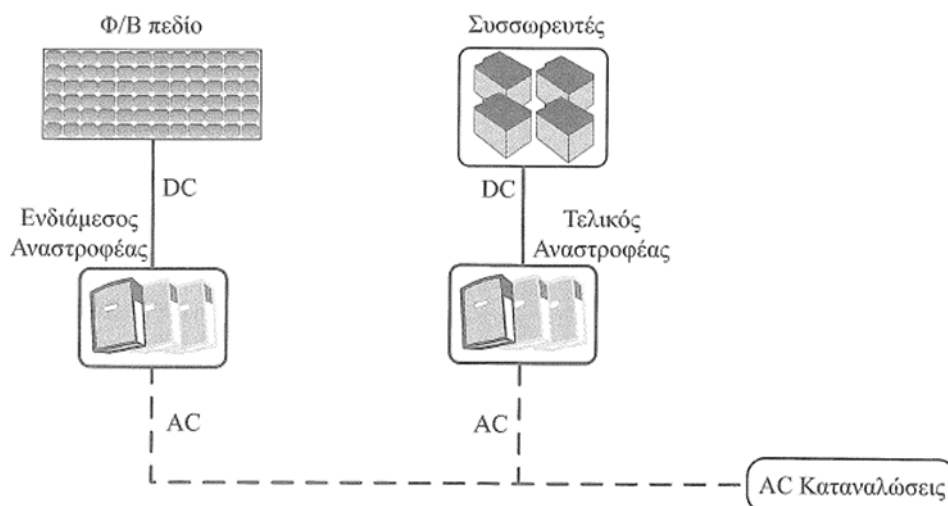
άνω των 10 kWp. Εξαιτίας τούτου η διαθέσιμη ονομαστική ισχύς είναι μεγαλύτερη των 3 kWp, οπότε βιβλιογραφικά η καταλληλότερη μορφή είναι των σχημάτων 3.3 και 3.4.



**Σχήμα 3.1:** Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος ως 3 kWp [E17, σχήμα 4.1 σελίδας 131].

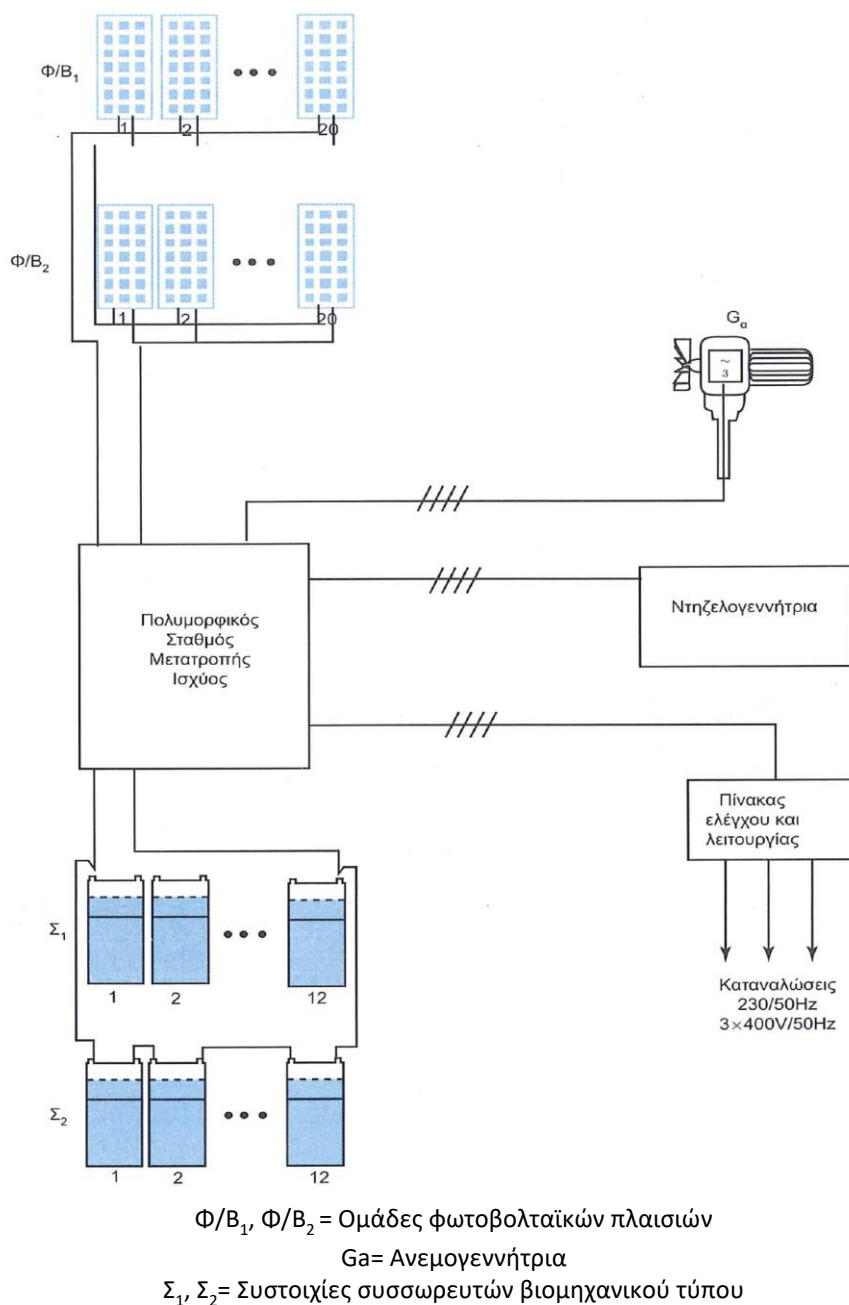


**Σχήμα 3.2:** Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος ως 3 kWp [E16, σχήμα 7 σελίδας 427].



**Σχήμα 3.3:** Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος > 3 kWp [E16, σχήμα 14 σελίδας 448].

- Η χρήση άλλης μορφής ανανεώσιμης μορφής ενέργειας, π.χ. ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ακτής, δεν προτείνεται λόγω του προστατευόμενου χαρακτήρα της (καταφύγιο για είδος γλάρου). Ειδικά οι ανεμογεννήτριες εγκυμονούν κινδύνους για τα πτηνά, ενώ τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα έχουν απαιτήσεις για τακτικούς καθαρισμούς λόγω της ύπαρξης σημαντικού πλήθους πτηνών και κατάληψης μέρους του χώρου που διαβιούν.
- Η τοποθέτηση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους χρειάζεται για την ύπαρξη εφεδρείας και την κάλυψη ισχύος στην περίπτωση ύπαρξης μεγάλων φορτίων (ρεύματα εκκίνησης κινητήρων κτλ.).



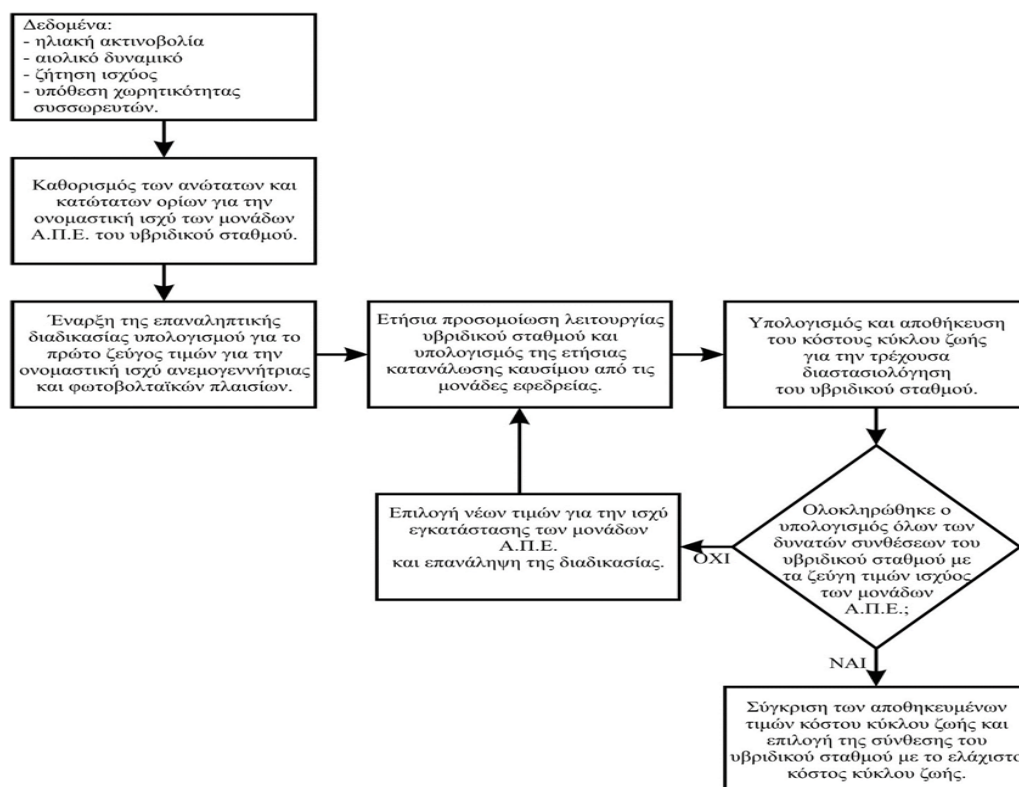
**Σχήμα 3.4:** Δομή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος > 3 kWp [E17, σχήμα 4.5 σελίδας 137].

Τα αναγκαία βήματα για τον προσδιορισμό του αντίστοιχου αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος [E16, σελ.467] είναι:

1. Καταγραφή και εκτίμηση των ημερήσιων ενεργειακών αναγκών και της ημερήσιας αιχμής
2. Επιλογή βέλτιστης γωνίας κλίσης των πλαισίων με βάση την επιλογή της χρονικής περιόδου λειτουργίας (εποχική, ετήσια) για τη σχεδίαση του  $\Phi/B$ .
3. Υπολογισμός της διαθέσιμης ημερήσιας ηλιακής ενέργειας (kWh/ημέρα) για την επιλεγόμενη γωνία εγκατάστασης των πλαισίων.
4. Υπολογισμός της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος των συσσωρευτών.

5. Υπολογισμός του πλήθους και της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας μεταξύ των συσσωρευτών.
6. Υπολογισμός των πλαισίων του φωτοβολταϊκού πεδίου.
7. Επιλογή υπολοίπων υποσυστημάτων της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Εναλλακτικά σε [E16, σελ.439] αλλάζει η διαδοχή των τεσσάρων βημάτων, δηλαδή γίνεται πρώτα ο υπολογισμός του φωτοβολταϊκού πεδίου (βήμα 4<sup>ο</sup> αντί 6<sup>ο</sup>), ακολούθως της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος συσσωρευτών (βήμα 5<sup>ο</sup> αντί 4<sup>ο</sup>) και έπειτα τα άλλα δύο βήματα. Βέβαια στην παρούσα περίπτωση υπάρχει περιορισμός διαθέσιμου χώρου για χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων επί της στέγης και η αρχική σκέψη ήταν η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω ντιζελογεννητριών ή με υποβρύχια διασύνδεση με την Αίγινα και ακολούθως εφόσον οικονομικά συμφέρει η χρήση ντιζελογεννητριών να εξεταστεί ενεργειακά η βιωσιμότητα ανάπτυξης φωτοβολταϊκού σταθμού έναντι της ακριβής χρήσης ντιζελογεννητριών, οι οποίες όμως θα συνεχίσουν να υπάρχουν για λόγους κρισιμότητας και αξιοπιστίας της εγκατάστασης. Οπότε η αντίστοιχη μέθοδος επιλογής των κατάλληλων μεγεθών είναι του σχήματος 3.5.



**Σχήμα 3.5:** Αλγόριθμος επαναληπτικής υπολογιστικής διαδικασίας βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης υβριδικού σταθμού με κριτήριο το κόστος κύκλου ζωής [E6, σχήμα 3.26/ σελ. 187].

Οπότε στην παρούσα περίπτωση το κρίσιμο στοιχείο είναι ο προσδιορισμός τόσο του φορτίου αιχμής, όσο και μεσοσταθμικά της ενέργειας που καταναλίσκεται από τον οικίσκο στις διάφορες λειτουργίες του.

### 3.2. Καταγραφή και εκτίμηση ενεργειακών αναγκών οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων

Στον οικίσκο υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες λειτουργίας:

- (α) ομαλή λειτουργία, που λειτουργεί αυτόματα ο σταθμός, με ή χωρίς τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγών ζευγών,
- (β) λειτουργία συντήρησης, που υπάρχει προσωπικό και λειτουργούν βοηθητικές παροχές (ρευματοδότες, χώρος διαμονής, βαρούλκο αποθήκης κτλ.),
- (γ) λειτουργία έκτακτης ανάγκης, π.χ. υπό συνθήκες πυρκαγιάς που λειτουργεί το πυροσβεστικό συγκρότημα κα.

Αντίστοιχα στον οικίσκο διακρίνονται τρεις διαφορετικές χρονικές περίοδοι από πλευράς φορτίων κλιματισμού (θέρμανση-ψύξη), όπου υπάρχει η καλοκαιρινή περίοδος με ζητήματα ψύξης χώρων συσσωρευτών, ηλεκτροστασίου σταθμού ηλεκτροδίων και χώρου διαμονής, η χειμερινή περίοδος με ζητήματα θέρμανσης αντίστοιχων χώρων, και η φθινοπωρινή-ανοιξιάτικη περίοδος ή η περίοδος μη ανάγκης λειτουργίας κλιματισμού.

Με βάση το [E18] σε επίπεδο στοιχειώδους προμελέτης λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι 0,49 W/(m<sup>2</sup>·K) για εξωτερικούς τοίχους, 1,13 W/(m<sup>2</sup>·K) για εσωτερικούς τοίχους, 0,89 W/(m<sup>2</sup>·K) για δάπεδο, 0,32 W/(m<sup>2</sup>·K) για οροφή, 2,80 W/(m<sup>2</sup>·K) για εξωτερικό κούφωμα χωρίς ή με υαλοπίνακα (κατόπιν σχετικών υπολογισμών με βάση το [E19] και λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις [E9-E10], [E40-E41]), προσδιορίζονται τα στοιχεία του πίνακα 3.2.1 για τους χώρους που θερμαίνονται στους 10°C ή ψύχονται στους 30°C θεωρώντας ότι η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι 0°C, το καλοκαίρι 40°C, και οι μη κλιματιζόμενοι χώροι έχουν αντίστοιχες θερμοκρασίες 5°C και 35°C. Ειδικά για το χώρο διαμονής οι αντίστοιχες θερμοκρασίες ρυθμίζονται στους 18°C και 25,5°C. Συνοπτικά οι σχέσεις θερμικών απωλειών είναι οι εξής:

$$Q = \sum_i A_i \cdot K_i \cdot \Delta\theta_i \cdot Z_i \quad (3.1)$$

Όπου  $A_i$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του  $i$ -οστού στοιχείου,  $K_i$  ο συντελεστής θερμοπερατότητας,  $\Delta\theta_i$  η διαφορά θερμοκρασίας χώρου που θερμαίνεται και γειτονικού χώρου,  $Z_i$  ένας διορθωτικός συντελεστής λόγω προσανατολισμού, ωρών λειτουργίας, μεγάλου ύψους κτλ. Οι θερμικές απώλειες των κουφωμάτων σε πρώτη φάση αγνοούνται, διότι λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες λόγω εξαερισμού που είναι πολύ μεγαλύτερες:

$$Q_a [W] = 0,31 \cdot V [m^3 / h] \cdot 1,163 \cdot \Delta\theta [^\circ C] \quad (3.2)$$

Όπου  $V$  είναι ο όγκος αέρα που ανανεώνεται στο χώρο.

Από πλευράς ψύξης χρησιμοποιείται η σχέση (3.1), όπου όμως η θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου κατά ASRHAE επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως γεωγραφικό πλάτος, μήνα, ώρα, προσανατολισμό και χρώμα επιφάνειας και τυπικά υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta\theta = \{(\Delta\theta_1 + \alpha) \cdot \beta + (25,5 - \theta_x) + (\theta_o - 29,4)\} \cdot \gamma \quad \text{για οροφή} \quad (3.3)$$

$$\Delta\theta = (\Delta\theta_1 + \alpha) \cdot \beta + (25,5 - \theta_x) + (\theta_o - 29,4) \quad \text{για εξ. χώρους} \quad (3.4)$$

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + (25,5 - \theta_x) + (\theta_o - 29,4) \quad \text{για τζάμια} \quad (3.5)$$

Όπου  $\theta_x$  είναι η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου,  $\theta_o$  η θερμοκρασία εξωτερικού χώρου (τυπικά η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία την 21 Ιουλίου),  $\Delta\theta$  η αντίστοιχη διαφορά θερμοκρασίας,  $\alpha$  ή  $LM$  συντελεστής που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τον προσανατολισμό,  $\beta$  συντελεστής που εξαρτάται από την επιφάνεια,  $\gamma$  συντελεστής που αφορά τη ροή αέρα μέσω της οροφής. Το αισθητό φορτίο λόγω διείσδυσης ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται από το εμβαδόν της επιφάνειας του τζαμιού  $A$ , το συντελεστή  $\delta$  λόγω ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα, το συντελεστή  $\varepsilon$  λόγω σκίασης του τζαμιού, το συντελεστή  $z$  λόγω ψυκτικού φορτίου μέσω της σχέσης:

$$Q_a = A \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot z \quad (3.6)$$

Οι παράμετροι  $\alpha$  ως  $z$  δίνονται από αντίστοιχους πίνακες [E18]. Το άθροισμα αισθητού και λανθάνοντος φορτίου λόγω ηλεκτρικών συσκευών γίνεται αποδεκτά σε επίπεδο προμελέτης ότι δίνεται μέσω της ισχύος της συσκευής  $P_\sigma$  από τη σχέση:

$$Q_a + Q_l = 1,15 \cdot 1,163 \cdot P_\sigma [W] \quad (3.7)$$

Το άθροισμα αισθητού και λανθάνοντος φορτίου ατόμων στο χώρο δίνεται μέσω κατάλληλων πινάκων ανάλογα με τον τρόπο εργασίας τους. Το αισθητό θερμικό φορτίο λόγω αερισμού δίνεται από τη σχέση (3.2), ενώ το λανθάνον θερμικό φορτίο λόγω αερισμού δεν λαμβάνεται υπόψη, διότι το ποσοστό υγρασίας ρυθμίζεται από τους αφυγραντήρες (λόγω θαλάσσιου περιβάλλοντος θεωρείται ότι δε θα χρειαστεί προσθήκη νερού).

Στον πίνακα 3.1 καταγράφονται οι θερμικές και οι ψυκτικές ανάγκες των χώρων των συσσωρευτών, του ηλεκτροστασίου και του χώρου διαμονής (όταν γίνεται συντήρηση), όπου ως ημέρα σχεδιασμού ψυκτικού συστήματος θεωρείται η 21η Ιουλίου με θερμοκρασία εσωτερικού χώρου συσσωρευτών και ηλεκτροστασίου ηλεκτροδίων  $\theta_x=30^\circ\text{C}$ , διαμονής  $\theta_x=25,5^\circ\text{C}$ , εξωτερικού χώρου  $\theta_o=40^\circ\text{C}$  (θεωρείται υπό τις χειρότερες συνθήκες και όχι η μέση θερμοκρασία), ενώ για την ημέρα σχεδιασμού συστήματος θέρμανσης θεωρείται ότι η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου συσσωρευτών και ηλεκτροστασίου ηλεκτροδίων είναι  $\theta_x=10^\circ\text{C}$ , διαμονής  $\theta_x=18^\circ\text{C}$ , και εξωτερικού χώρου  $\theta_o=0^\circ\text{C}$ . Από τους αντίστοιχους υπολογισμούς όλοι οι χώροι καλύπτονται άνετα ο καθένας τους από μία μικρή επιτοίχια κλιματιστική μονάδα τυπικής ψυκτικής ισχύος 9000 Btu/h, τύπου inverter, όπου δίνονται 3,40 kW ψυκτικά με κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος 1240 W, 3,27 kW θερμικά με κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος 1200 W [E42]. Ανάλογα με τις αντίστοιχες θερμικές / ψυκτικές ανάγκες διαμορφώνεται ο αντίστοιχος συντελεστής φορτίου.

**Πίνακας 3.1:** Θερμικές και ψυκτικές ανάγκες οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων Σταχτορόρης.

Χώρος	Δομικό στοιχείο	Περίοδος			Θέρμανση		Ψύξη						
		Προσανατολισμός	Εμβαδόν	K	$\Delta\theta$	$P_{\theta}$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta$	$P_{\psi}$	
	[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[°C]	[W]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[°C]	[W]	
Συσταρευτήρ no.1 / no.2	Θύρα	Βορράς	1,98	2,80	10	55,44	1,00	-	0,0	9,0	15,1	83,71	
	Εξωτερικός τοίχος	Βορράς	6,00-1,98	0,49	10	19,70	0,65	-	0,0	9,0	11,95	23,54	
	Οροφή	-	6,00	0,32	10	19,20	1,00	1,0	0,5	25	31,6	60,67	
	Εσωτερικός τοίχος μη θερμαινόμενος	-	9,00+6,60	1,13	5	88,14	-	-	-	-	5	88,14	
	Δάπεδο θερμαινόμενο	μη	-	6,00	0,89	0 ως -3	0,0	-	-	-	0 ως -5	0,0	
	Εξαερισμός		18*5< 110 m <sup>3</sup> /h			10	396,58	-	-	-	-	10	396,58
	Συσκευές	Ισχύς		13+0,6-22,5 +4 =30,5 W	-	-	-	Αισθητό & λαμβάνον φορτίο					40,79
	Σύνολο						579,0	Σύνολο					693,43
	Διόρθωση λόγω προσανατολισμού	λόγω +5% ως 0%		Λόγω δια-θέρμανσης	+7%	Τελικό	624	Λόγω δια-θέρμανσης	+7%			Τελικό	742
	Ηλεκτροστάσιο ηλεκτροδίων	Θύρα	Νότος	3,08	2,80	10	86,24	1,00	-	0,5	14	20,60	177,65
Εξωτερικός τοίχος		Νότος	10,5-3,08	0,49	10	36,36	0,65	-	0,5	14	15,53	56,46	
Εξωτερικός τοίχος		Βορράς	10,50	0,49	10	51,45	0,65	-	0,0	9,0	11,95	61,48	
Οροφή		-	24,5	0,32	10	78,4	1,00	1,0	0,5	25	31,6	247,74	
Εσωτερικός τοίχος μη θερμαινόμενος		-	12,00+12,00	1,13	5	135,6	-	-	-	-	5	135,6	
Δάπεδο θερμαινόμενο		μη	-	24,5	0,89	0 ως -3	0,0	-	-	-	0 ως -5	0,0	
Εξαερισμός			73,5*5< 388 m <sup>3</sup> /h			10	1399	-	-	-	-	10	1399
Συσκευές		Ισχύς		30+0,5-200+ 0,8-100+45 +4 =259 W	-	-	-	Αισθητό & λαμβάνον φορτίο					346,4
Σύνολο						1787	Σύνολο					2424	
Διόρθωση λόγω προσανατολισμού		λόγω +5% ως -5%		Λόγω δια-θέρμανσης	+7%		1909	Λόγω δια-θέρμανσης	+7%				2594
Χώρος διαμονής	Θύρα	Νότος	1,98	2,80	18	99,79	1,00	-	0,5	14	25,1	139,15	
	Παράθυρο	Νότος	0,25+0,80	2,80	18	52,92	-	-	-	4	14,6	42,92	
	Για φορτίο τζαμιών $\delta=129,68$ W/(m <sup>2</sup> h)					$\epsilon=0,64$		$z=0,29$					25,27
	Εξωτερικός τοίχος	Νότος	12,9-1,98- 0,25-0,80	0,49	18	87,05	0,65	-	0,5	14	20,03	102,27	
	Εξωτερικός τοίχος	Ανατολικός	4,80	0,49	18	42,33	0,65	-	0,0	16	21,0	49,39	
	Οροφή	-	11,5	0,32	18	66,24	1,00	1,0	0,5	25	36,1	132,85	
	Εσωτερικός τοίχος μη θερμαινόμενος	-	12,60	1,13	8	113,90	-	-	-	-	7,5	106,79	
	Δάπεδο θερμαινόμενο	μη	-	11,5	0,89	8	81,88	-	-	-	0	0,0	
	Εξαερισμός		34,5*5< 200 m <sup>3</sup> /h			18	1297,9	-	-	-	-	15	1081,6
	Συσκευές	Ισχύς		25+22,5+4+ 0,04-7000+ 0,1-1100+4- 16=505,5 W	-	-	-	Αισθητό & λαμβάνον φορτίο					676,1
Άτομα	Πλήθος		3	-	-	-	Αισθητό & λαμβάνον φορτίο					219*3	
Σύνολο						1842	Σύνολο					3013,3	
Διόρθωση λόγω προσανατολισμού	λόγω -5% ως 0%		Λόγω δια-θέρμανσης	+7%	Τελικό	1959	Λόγω δια-θέρμανσης	+7%			Τελικό	3224	

Ως προς την υγρασία λόγω της θέσης του σταθμού ηλεκτροδίων πλησίον της θάλασσας θεωρείται ότι διαρκώς απαιτείται η λειτουργία διατάξεων αφύγρανσης της τάξης μεγέθους 22,5 W/ 10 m<sup>2</sup> [E43]. Ως προς τον εξαερισμό θεωρείται ότι χρησιμοποιείται ένας στοιχειώδης τεχνητός εξαερισμός των 5 εναλλαγών αέρα στο χώρο για όλους τους χώρους [E44] με ενδεικτική τιμή 13 W για 110 m<sup>3</sup>/h για σωληνωτό εξαερισμού Φ100 και μόνο σε χώρους ύπαρξης μηχανών εσωτερικής καύσης θα χρησιμοποιηθεί τεχνητός

εξαερισμός για την προσαγωγή αέρα ψύξης και καύσης και την απαγωγή αέρα ψύξης κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους και μόνο (π.χ. για τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 20 kVA απαιτούνται ενδεικτικά 1980 m<sup>3</sup>/h που εξασφαλίζεται από δύο συστήματα εξαερισμού εισαγωγής και εξαγωγής των 110 W έκαστο με 2441 m<sup>3</sup>/h και οπή 460 mm x 460 mm σε τοίχο). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών μετά τη φάση λειτουργίας τους ο κεντρικός εξαερισμός λειτουργεί για άλλα 10 λεπτά τουλάχιστον, γι' αυτό τυπικά κατά τη φάση της εναλλάξ λειτουργίας τους αντί ο συντελεστής φορτίου να είναι 0,50 προσαυξάνεται σε 0,51.

Η κατανάλωση των PLC ελέγχου όλων των συσκευών διακοπών ηλεκτροστασίου ηλεκτροδίων με βάση σχετικά στοιχεία SIEMENS LOGO ανέρχεται στα 100 W το μέγιστο [Ε45], ομοίως του συστήματος ελέγχου παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος του σταθμού ηλεκτροδίων (φωτοβολταϊκών, γεννητριών, συσσωρευτών), καθώς και του υπολογιστικού, καταγραφικού & τηλεπικοινωνιακού συστήματος στα 100 W το μέγιστο [Ε46]. Οι αντίστοιχοι συντελεστές φορτίου είναι τυπικά 0,5, 0,5 και 0,8, καθώς η εσωτερική κάμερα ασφαλείας καταναλώνει 4 W [Ε47, σελ.55] και για εξωτερικό χώρο 20 W [Ε47, σελ. 56], κατάλληλες για νύχτα και μέρα, (συνολικά 10·4+20=60 W). Ο εσωτερικός φωτισμός θα λειτουργεί με LED και κατά τη φάση της συντήρησης μόνο με ισχύ 16 W (αντί 100 W λαμπτήρα πυράκτωσης) για 1500 lm [Ε48-Ε49]. Ως προς τον εξωτερικό φωτισμό θα λειτουργεί μόνο το φωτιστικό σώμα εμποδίου αεροπλοΐας διαρκώς, ενώ υπάρχουν άλλα περίπου 10 φωτιστικά σημεία σε περίπτωση συντήρησης. Σε περίπτωση ύπαρξης φαροδείκτη εντός θάλασσας θα είναι τελείως αυτόνομη συσκευή. Πρακτικά το σύνολο του φωτισμού λειτουργεί μόνο στη φάση συντήρησης ή έκτακτης ανάγκης. Άλλη ειδική συσκευή είναι ο κυκλοφορητής πετρελαίου που λειτουργεί μόνο κατά τη λειτουργία των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών ισχύος 9 W για 42 l/h και πίεση 20 bar [Ε50], το βαρούλκο 300 kg με ανυψωτική ικανότητα 4 m τουλάχιστον με ταχύτητα 20 m/min, που ενδέχεται να λειτουργήσει κατά τη φάση συντήρησης, ονομαστικής ισχύος 1900 W [Ε51], ο αεροσυμπιεστής μικρής παροχής με αεροφυλάκιο πίεσης 30 bar ισχύος 2 hp [Ε52, βλ. 2VAB000E3].

Στη συνέχεια στον πίνακα 3.2 καταγράφονται τα διάφορα φορτία ανά χώρο και κατάσταση λειτουργίας, όπου με βάση την εγκατεστημένη ισχύ ανά  $i$ -οστή κατανάλωση  $C_{εγκ-i}$  εμβαδού  $A_i$ , το πλήθος καταναλώσεων  $N_i$ , την αντίστοιχη εγκατεστημένη συνολική ισχύ  $P_{εγκ-i}$ , το συντελεστή ζήτησης  $\zeta_i$ , το συντελεστή ταυτοχρονισμού ανά κατηγορία  $\sigma_i$ , το συντελεστής ετεροχρονισμού επί του ταυτοχρονισμού αιχμής  $\tau_i$ , το συντελεστή μέσου φορτίου  $m_i$ , υπολογίζονται για την περίοδο μελέτης  $T$  (εδώ 24 ώρες), η αιχμή φορτίου  $P_{A-i}$ , η συνεισφορά της κατηγορίας αυτής στην αιχμή φορτίου του συστήματος, η ζήτηση ενέργειας της κατηγορίας καταναλώσεων  $E_i$ , η συνολική ημερήσια αιχμή του συστήματος  $P_A$  και η ημερήσια συνολική ζήτηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας  $E$ :

$$P_{εγκ-i} = N_i \cdot C_{εγκ-i} \quad (3.8)$$

$$P_{A-i} = P_{εγκ-i} \cdot \zeta_i \cdot \sigma_i \quad (3.9)$$



$$P'_{A-i} = \frac{P_{A-i}}{r_i} \quad (3.10)$$

$$E_i = m_i \cdot P_{A-i} \cdot T \quad (3.11)$$

$$P_A = \sum_{i=1}^N P'_{A-i} \quad (3.12)$$

$$E = \sum_{i=1}^N E_i \quad (3.13)$$

Λόγω έλλειψης πειραματικών στοιχείων ο συντελεστής ετεροχρονισμού επί του ταυτοχρονισμού αιχμής  $r_i$  θεωρείται 1,0 όσον αφορά τον υπολογισμό της συνολικής αιχμής, οπότε η αιχμή φορτίου  $P_{A-i}$  ταυτίζεται με τη συνεισφορά της κατηγορίας αυτής στην αιχμή φορτίου του συστήματος. Από αυτό εξαιρούνται οι 11 ομάδες ρευματοδοτών, οι οποίες θα λειτουργούν πρακτικά το μέγιστο οι 2 (μία ομάδα εργαζομένων συντήρησης σε επισκευή και μία άλλη ομάδα σε χώρο διαμονής), δηλαδή σαν να είναι ο αντίστοιχος συντελεστής ετεροχρονισμού επί του ταυτοχρονισμού αιχμής ίσος με 5,5.

**Πίνακας 3.2:** Καταγραφή και εκτίμηση ενεργειακών αναγκών οικίσκου σταθμού ηλεκτροδίων Σταχτορρόης, όπου με εκθέτη «1» αναφέρεται ο εξαερισμός του χώρου, «2» ο εξαερισμός λόγω μηχανής εσωτερικής καύσης, με εκθέτη «Θ» αναφέρεται σε συσκευή που λειτουργεί κατά τη θερινή περίοδο, δηλαδή ως ψύξη, με εκθέτη «Χ» αναφέρεται σε συσκευή που λειτουργεί κατά τη χειμερινή περίοδο, δηλαδή ως θέρμανση.

Χώρος / A	Περιγραφή φορτίου	$C_{\theta k-i}$	$N_i$	$P_{\theta k-i}$	$\zeta_i$	Ομαλή λειτουργία χωρίς τη χρήση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών				Ομαλή λειτουργία με τη χρήση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών				Λειτουργία υπό συνθήκες συντήρησης με τη χρήση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών			
						$\sigma_i$	$m_i$	$P_{A-i}$	$E_i$	$\sigma_i$	$m_i$	$P_{A-i}$	$E_i$	$\sigma_i$	$m_i$	$P_{A-i}$	$E_i$
[m <sup>2</sup> ]	[-]	[W]	[-]	[W]	[-]	[-]	[-]	[W]	[Wh]	[-]	[-]	[W]	[Wh]	[-]	[-]	[W]	[Wh]
Γεννήτρια vo.1 ή vo.2 /6,00	Φωτισμός	16	2	32	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	32	384
	Εξαερισμός <sup>1</sup>	13	1	13	1,0	1,0	1,0	13	312	1,0	0,49	13	153	1,0	0,49	13	153
	Εξαερισμός <sup>2</sup>	110	2	220	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,51	220	2693	1,0	0,51	220	2693
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,01	1050	252
	Αφύγρανση	22,5	1	22,5	1,0	1,0	0,6	22,5	324	1,0	0,5	22,5	270	1,0	0,5	22,5	270
Δεξαμενή vo.1 ή vo.2 /3,24	Φωτισμός	16	1	16	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,05	16	19,2
	Εξαερισμός	13	1	13	1,0	1,0	0,4	13	124,8	1,0	0,4	13	124,8	1,0	0,4	13	124,8
	Κίνηση	9	1	9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,06	9,0	12,96	1,0	0,06	9,0	12,96
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,005	1050	126
	Αφύγρανση	22,5	1	22,5	1,0	1,0	0,33	22,5	178,2	1,0	0,33	22,5	178,2	1,0	0,33	22,5	178,2
Αποθήκη/ 3,20	Φωτισμός	16	1	16	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,05	16	19,2
	Εξαερισμός	13	1	13	1,0	1,0	0,4	13	124,8	1,0	0,4	13	124,8	1,0	0,4	13	124,8
	Κίνηση	1900	1	1900	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,005	1900	228
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,005	1050	126
	Αφύγρανση	22,5	1	22,5	1,0	1,0	0,32	22,5	172,8	1,0	0,32	22,5	172,8	1,0	0,32	22,5	172,8
Συσαρμητής vo.1 ή vo.2 /6,00	Φωτισμός	16	2	32	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	32	384
	Εξαερισμός	13	1	13	1,0	1,0	1,0	13	312	1,0	1,0	13	312	1,0	1,0	13	312
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,005	1050	126
	Αφύγρανση	22,5	1	22,5	1,0	1,0	0,6	22,5	324	1,0	0,6	22,5	324	1,0	0,6	22,5	324
	Κλιματισμός <sup>Θ</sup>	1240	1	1240	1,0	1,0	0,22	1240	6547	1,0	0,22	1240	6547	1,0	0,22	1240	6547
	Κλιματισμός <sup>Χ</sup>	1200	1	1200	1,0	1,0	0,20	1200	5760	1,0	0,20	1200	5760	1,0	0,20	1200	5760
Εξωτερικός χώρος	Φωτισμός αεροπλοΐας	10	10	10	1,0	1,0	1,0	10	240	1,0	1,0	10	240	1,0	1,0	10	240
	Φωτισμός	13	10	130	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	130	1560
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,005	1050	126

**Πίνακας 3.2 (συνέχεια):**

Πυρόσβεση – Πιεστικό / 8,14	Φωτισμός	16	4	64	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,05	64	76,8	
	Εξαερισμός <sup>1</sup>	13	1	13	1,0	1,0	1,0	13	312	1,0	1,0	13	312	1,0	0,99	13	309
	Εξαερισμός <sup>2</sup>	245	2	220	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,01	490	117,6
	Πιεστικό νερού	1000	2	2000	0,5	1,0	0,01	1000	240	1,0	0,01	1000	240	1,0	0,02	1000	480
	Jockey πυροσβεστικού	1000	1	1000	1,0	1,0	0,001	1000	24	1,0	0,001	1000	24	1,0	0,001	1000	24
	Αεροσυμπιεστής	2000	1	2000	1,0	1,0	0,001	2000	48	1,0	0,001	2000	48	1,0	0,001	2000	48
	FM200 νο.1	100	1	100	1,0	1,0	0,10	100	240	1,0	0,10	100	240	1,0	0,10	100	240
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,005	1050	126
Ηλεκτροστάσιο ηλεκτροδίων/ 24,5	Φωτισμός	16	8	128	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	128	921,6	
	Εξαερισμός	30	1	30	1,0	1,0	1,0	30	720	1,0	1,0	30	720	1,0	1,0	30	720
	Σύστημα PLC	100	2	100	1,0	1,0	0,5	200	2400	1,0	0,5	100	2400	1,0	0,5	100	2400
	Σύστημα ελέγχου	100	1	100	1,0	1,0	0,8	100	1920	1,0	0,5	100	1920	1,0	0,5	100	1920
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1050	2520
	Αφύγρυνση	22,5	2	45	1,0	1,0	1,0	45	1080	1,0	1,0	45	1080	1,0	1,0	45	1080
	Κλιματισμός <sup>ο</sup>	1240	1	1240	1,0	1,0	0,76	1240	22618	1,0	0,76	1240	22618	1,0	0,76	1240	22618
	Κλιματισμός <sup>χ</sup>	1200	1	1200	1,0	1,0	0,58	1200	16704	1,0	0,58	1200	16704	1,0	0,58	1200	16704
Χώρος διαμονής / 11,5	Φωτισμός	16	4	64	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	64	460,8	
	Εξαερισμός	25	1	25	1,0	1,0	1,0	25	600	1,0	1,0	25	600	1,0	1,0	25	600
	FM200 νο.2	50	1	50	1,0	1,0	0,10	50	120	1,0	0,10	50	120	1,0	0,10	50	120
	Κουζίνα μικρή	3000	1	3000	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,04	3000	2880
	Θερμοσίφωνας	4000	1	4000	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,04	4000	3840
	Ρευματοδότες	3500	1	3500	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1050	2520
	Αφύγρυνση	22,5	1	22,5	1,0	1,0	1,0	22,5	540	1,0	1,0	22,5	540	1,0	1,0	22,5	540
	Κλιματισμός <sup>ο</sup>	1240	1	1240	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,95	1240	28272
Κλιματισμός <sup>χ</sup>	1200	1	1200	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,60	1200	17280	
		Ενδιάμεση					4844	11932			5302	16917			17290	34490	
Περίοδος		Θερινή – μέγιστη			Σύνολο		8564	47644	Σύνολο		9022	52629	Σύνολο		22250	98474	
		Χειμερινή – μέγιστη					8444	40156			8902	45141			22090	79994	

Διακρίνονται τρεις καταστάσεις:

(α) ομαλή λειτουργία χωρίς τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, όπου η ζήτηση αιχμής ανέρχεται σε 4,8 kW χωρίς κλιματισμό και σε 8,5 kW με κλιματισμό και οι αντίστοιχες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες σε 11,93 kWh χωρίς κλιματισμό (άνοιξη – φθινόπωρο), 47,64 kWh με κλιματισμό ψύξης (καλοκαίρι), 40,16 kWh με κλιματισμό θέρμανσης (χειμώνα). Για έναν τυπικό συντελεστή μετατροπής / απόδοσης διάταξης φωτοβολταϊκών συστημάτων – συσσωρευτών ίσο με 80% τα αντίστοιχα ενεργειακά μεγέθη ανέρχονται σε 14,92, 59,56 και 50,20 kWh αντίστοιχα. Μέσα σε αυτόν το συντελεστή απόδοσης συμπεριλαμβάνεται και η διατήρηση των μικρών συσσωρευτών εκκίνησης ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, εκκίνησης πυροσβεστικού συγκροτήματος και συστήματος UPS για κρίσιμα φορτία ηλεκτροστασίου σταθμού ηλεκτροδίων.

(β) ομαλή λειτουργία με τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, όπου η ζήτηση αιχμής ανέρχεται σε 5,3 kW χωρίς κλιματισμό και σε 9,0 kW με κλιματισμό και οι αντίστοιχες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες σε 16,92 kWh χωρίς κλιματισμό (άνοιξη – φθινόπωρο), 52,63 kWh με κλιματισμό ψύξης (καλοκαίρι), 45,14 kWh με κλιματισμό θέρμανσης (χειμώνα). Η περίσσεια ισχύος του ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους δίνεται για τη βαθιά φόρτιση συσσωρευτών, όταν πέσει το επίπεδο φόρτισης τους κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, π.χ. της τάξης του 50%.

(γ) λειτουργία κατά τη φάση συντήρησης με τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, όπου η ζήτηση αιχμής ανέρχεται σε 17,3 kW χωρίς κλιματισμό και σε 22 kW με κλιματισμό και οι αντίστοιχες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες σε 34,49 kWh χωρίς

κλιματισμό (άνοιξη – φθινόπωρο), 98,47 kWh με κλιματισμό ψύξης (καλοκαίρι), 80,0 kWh με κλιματισμό θέρμανσης (χειμώνα).

Κατά τη φάση λειτουργίας έκτακτης ανάγκης, π.χ. πυρκαγιά, τα αντίστοιχα τμήματα αυτονομούνται, π.χ. (1) το πυροσβεστικό συγκρότημα λειτουργεί με πετρέλαιο, (2) εφόσον υπάρχει υγιής γεννήτρια, εκκινεί για κάλυψη οποιοδήποτε άλλων αναγκών, π.χ. αεροσυμπιεστή κτλ., ενώ φορτία οικιακού τύπου, π.χ. κλιματισμός, εξαερισμοί όλων των χώρων (πλην γεννήτριας και πυροσβεστικού συγκροτήματος σε λειτουργία), κτλ. τίθεται εκτός λειτουργίας. Η ζητούμενη ισχύς περιορίζεται σε κάποια kW και ο χρόνος ως τις 3 ώρες δεν αποτελεί ζήτημα ενεργειακής μελέτης κατά τη διάρκεια της τεχνικής ζωής του έργου.

Οπότε ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος των 20 kVA με δυνατότητα υπερφόρτισης κατά 10% καλύπτει τη ζητούμενη ισχύ των καταστάσεων (β) και (γ), ενώ αντίστοιχα μία τριφασική παροχή Νο.2 χαμηλής τάσης των 25 kVA θα κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες του οικίσκου, αν ήταν διαθέσιμο το αντίστοιχο δίκτυο.

## Σχεδίαση του Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 4.1. Εισαγωγή

Η τροφοδοσία του οικίσκου ελέγχου της Σταχτορρόης μπορεί να γίνει:

- Με σύνδεση με υποβρύχιο τριφασικό καλώδιο μέσης τάσης 20 kV από την Αίγινα, με χρήση μετασχηματιστή υποβιβασμού 20 kV/ 400 V και τους αντίστοιχους ηλεκτρολογικούς πίνακες, μαζί με μία εφεδρική ντιζελογεννήτρια και έναν ηλεκτροχημικό συσσωρευτή κατάλληλης χωρητικότητας ως δεύτερη εφεδρεία.
- Ένα κλασικό αυτόνομο σύστημα με χρήση ντιζελογεννητριών.
- Ένα αυτόνομο σύστημα με χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων και συσσωρευτών.
- Ένα υβριδικό αυτόνομο σύστημα με χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων και συσσωρευτών, ντιζελογεννητριών. Η χρήση ανεμογεννητριών δεν είναι επιτρεπτή λόγω καταφυγίου γλάρων.

Η κάθε τεχνική λύση αξιολογείται οικονομικά για όλο τον κύκλο ζωής της μέσω του ισοδύναμου ετήσιου κόστους της  $TC_{annual}$ .

$$A_{cap-j} = C_{cap-j} \cdot \frac{(1+i_r)^{T_j} \cdot i_r}{(1+i_r)^{T_j} - 1} \quad (4.1)$$

$$TC_{annual} = \sum_j (A_{cap-j} + C_{fix-j} (P_A) + c_{op1-j} \cdot E_j + c_{op2-j} \cdot t_{op-j}) \quad (4.2)$$

Όπου  $C_{cap-i}$  είναι το αρχικό κόστος κεφαλαίου της  $j^{th}$  συσκευής με το ισοδύναμο κόστος ανάκτησης κεφαλαίου στο τέλος της οικονομικής ζωής της,  $T_j$  η προσδόκιμη χρονική διάρκεια ζωής,  $A_{cap-i}$  το ισοδύναμο ετήσιο σταθερό κόστος κεφαλαίου,  $i_r$  το αποπληθωρισμένο επιτόκιο,  $C_{fix-j}$  το ετήσιο σταθερό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής για συντήρηση, μισθούς εργαζομένων, κτλ. το οποίο μπορεί να εξαρτάται από τη μέγιστη ισχύ  $P_A$ ,  $c_{op1-j}$  το λειτουργικό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής που είναι ανάλογη της ετήσιας ενέργειας  $E_j$  και εξαρτάται από το κόστος καυσίμου και λιπαντικών,  $c_{op2-j}$  το λειτουργικό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής που είναι ανάλογο των ετήσιων ωρών λειτουργίας  $t_{op-j}$  και εξαρτάται από τη συντήρηση.

### 4.2 Σύνδεση Σταχτορρόης με Αίγινα μέσω υποβρύχιου καλωδίου

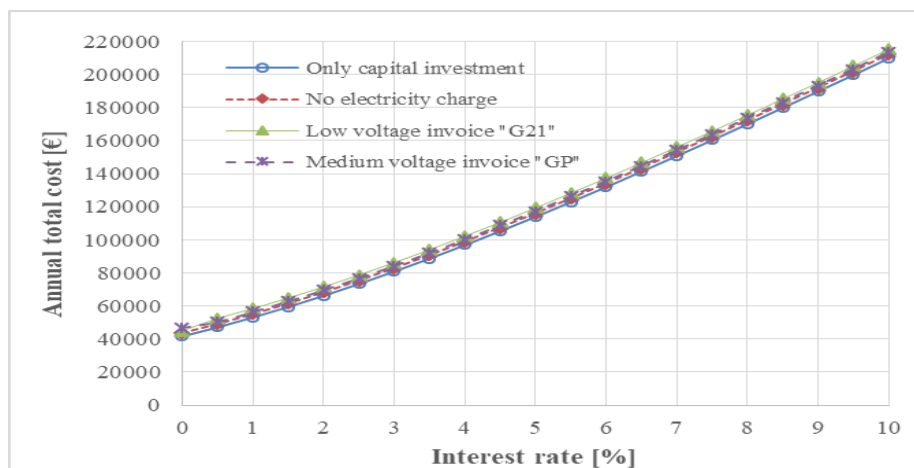
Για την υποβρύχια διασύνδεση το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται μεταξύ των 200.000 ως 350.000 €/km με ενδεικτική τιμή τα 250.000 €/km καλωδίου μέσης τάσης από αραμίδιο για θωράκιση προς προστασία από ηλεκτροχημική διάβρωση, 15.000 €/διασταύρωση ανά καλώδιο υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (δύο θέσεις με χρήση concrete matrix blocks και uradacts), 30.000 €/ μετασχηματιστής μαζί με τα πεδία μέσης / χαμηλής τάσης, ενώ η διάταξη συμπληρώνεται από ένα αντίστοιχο εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος των 20 kVA, οπότε το κόστος εγκατάστασης για 8 km καλωδίου ανέρχεται περίπου σε 2.080.000 € (2.073.500 € τυπικά + 6.500 € λοιπές

εργασίες, π.χ. εξαερισμοί, πυροπροστασία κτλ.). Η τυπική διάρκεια ζωής για την υποβρύχια διασύνδεση είναι τα 50 έτη (εκτός του εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους που του επί του παρόντος αγνοείται η επίπτωση αυτή, καθώς είναι της τάξης του 0,5% του συνολικού κόστους). Το μηνιαίο κόστος συντήρησης ανέρχεται ενδεικτικά σε 178 € / μήνα για τη γεννήτρια των 20 kW [Ξ55] (βλ. σχήμα 4.3) και σε 25 € / μήνα για το μετασχηματιστή ελαίου (ενδεικτικό ετήσιο κόστος 300€). Επί του παρόντος αγνοείται το κόστος λειτουργίας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για λόγους συντήρησής του. Αντίστοιχα το κόστος καταναλισκόμενης ισχύος και ενέργειας ανέρχεται σε 8,61 €/kW/μήνα και 0,09186 €/kWh για τιμολόγιο μέσης τάσης γενικής χρήσης (μεσοσταθμισμένο κόστος ενέργειας), όπου όμως πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες μετασχηματιστή 30 kVA (απώλειες πυρήνα 100 W, απώλειες σιδήρου 585 W [Ξ57, σελ. 13]) ή εναλλακτικά 0,60 €/μήνα πάγιο, 2 €/kW/ έτος και 0,19745 €/kWh για τιμολόγιο χαμηλής τάσης Γ21 (ενδεικτικές τιμές Δ.Ε.Η. Σεπτεμβρίου 2019).

Στην περίπτωση εφαρμογής του τιμολογίου μέσης τάσης γενικής χρήσης η καταμετρημένη ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 7.076 kWh κατά τον κώδικα του παραρτήματος Π.1.1, οπότε υπολογίζεται το ετήσιο κόστος ενέργειας σε 650 €, το ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης και ζήτησης ισχύος σε 4.709 €, ενώ το κόστος απόσβεσης επένδυσης  $A_{cap}$  υπολογίζεται για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) για σταθερή περίοδο απόσβεσης 50 ετών για αρχικό κόστος κεφαλαίου  $C_{cap}$  μέσω της σχέσης (4.2). Το ισοδύναμο κόστος κυμαίνεται από 46.959 € για 0% επιτόκιο ως 213.180 € για 10%, εκ των οποίων το μεγαλύτερο μέρος οφείλεται στην κεφαλαιακή απόσβεση (41.600 € για 0% επιτόκιο ως 209.787 € για 10%). Αν η ίδια διαδικασία επαναληφθεί για την περίπτωση τιμολογίου χαμηλής τάσης Γ21 με τον κώδικα του παραρτήματος Π.1.1, η καταμετρημένη ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 6.108 kWh, οπότε υπολογίζεται το ετήσιο κόστος ενέργειας σε 1.206 €, το ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης, παγίου και ζήτησης ισχύος σε 2.187 €, ενώ το ισοδύναμο κόστος κατά τη σχέση (4.3) κυμαίνεται από 44.993 € για 0% επιτόκιο ως 215.146 € για 10%. Σε περίπτωση μη τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος στον οικίσκο, τότε το ισοδύναμο κόστος κατά τη σχέση (4.3) κυμαίνεται από 43.376 € για 0% επιτόκιο ως 211.923 € για 10%. Η σύνοψη των ανωτέρω αποτελεσμάτων καταγράφονται σε σχήμα 4.1, από τα οποία φαίνεται ότι σε περίπτωση κοστολόγησης καταναλισκόμενης ενέργειας και ισχύος συμφέρει το διαχειριστή της διασύνδεσης η χρήση τιμολογίου χαμηλής τάσης θεωρώντας ότι τα κόστη εγκατάστασης του μετασχηματιστή και των παρελκόμενων του θα τα πληρώσει ως τέλη διασύνδεσης στην περίπτωση τιμολογίου χαμηλής τάσης.

### 4.3 Αυτόνομος Σταθμός με Ντιζελογεννήτριες

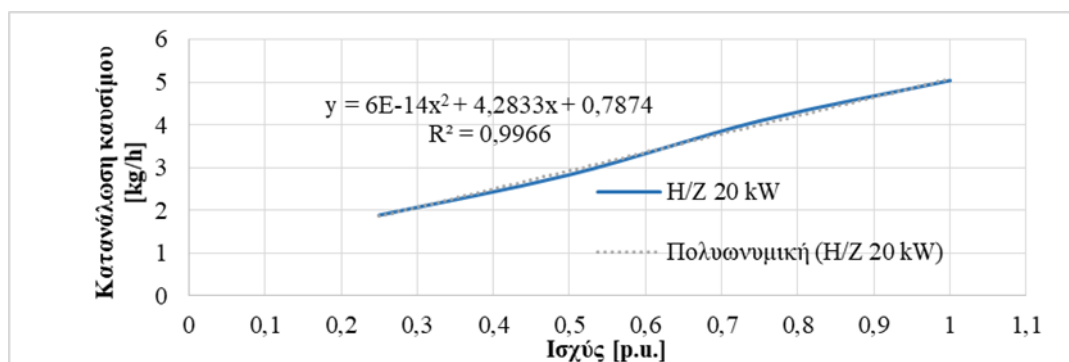
Στην περίπτωση χρήσης ντιζελογεννητριών οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν με τη χρήση ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους μόνιμης λειτουργίας των 20 kVA με μία ακόμη εφεδρική γεννήτρια αντίστοιχης ισχύος, με δυνατότητα παραλληλισμού και των δύο γεννητριών για ομαλή εναλλαγή μεταξύ των δύο ή την κάλυψη μίας μεγάλης αιχμής.



**Σχήμα 4.1:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υποβρύχιο καλώδιο από Αίγινα και με ύπαρξη εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ως προς επιτόκιο για τις περιπτώσεις: (α) κοστολόγηση αρχικού κεφαλαίου (only capital investement), (β) κοστολόγηση αρχικού κεφαλαίου και συντήρησης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και μετασχηματιστή, (γ) πλήρη κοστολόγηση με χρήση τιμολογίου χαμηλής τάσης Γ21, (δ) πλήρης κοστολόγηση με χρήση τιμολογίου μέσης τάσης ΓΤ.

Οι ενεργειακές ανάγκες είναι οι αντίστοιχες της ομαλής λειτουργίας με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος και λειτουργίας συντήρησης του πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του [Ε53] για μία ντιζελογεννήτρια των 20 kW με σημεία φόρτισης στα 25%, 50%, 75% και 100% υπολογίζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, η κατανάλωση πετρελαίου fuel σε συνάρτηση με τη φόρτιση της  $P_g$  σε kW:

$$fuel \left[ \frac{kg}{h} \right] = 6 \cdot 10^{-14} \cdot \left( \frac{P_g [kW]}{20} \right)^2 + 4,2833 \cdot \frac{P_g [kW]}{20} + 0,7874 \quad (4.3)$$



**Σχήμα 4.2:** Εκτίμηση καμπύλης ισχύος- κατανάλωσης για ηλεκτρογεννήτρια 20 kW [αριθμητικά στοιχεία από Ε53].

Η σχεδόν γραμμική συμπεριφορά της κατανάλωσης καυσίμου επιβεβαιώνεται για τις ντιζελομηχανές σταθερών στροφών βιβλιογραφικά από το [Ε20, σχήμα 202 & σελ. 288]. Ωστόσο ένα πρόβλημα σ' αυτήν την περίπτωση είναι το κάτω όριο λειτουργίας της γεννήτριας λόγω του εξαιρετικά μικρού μέσου συντελεστή φόρτισης της γεννήτριας που

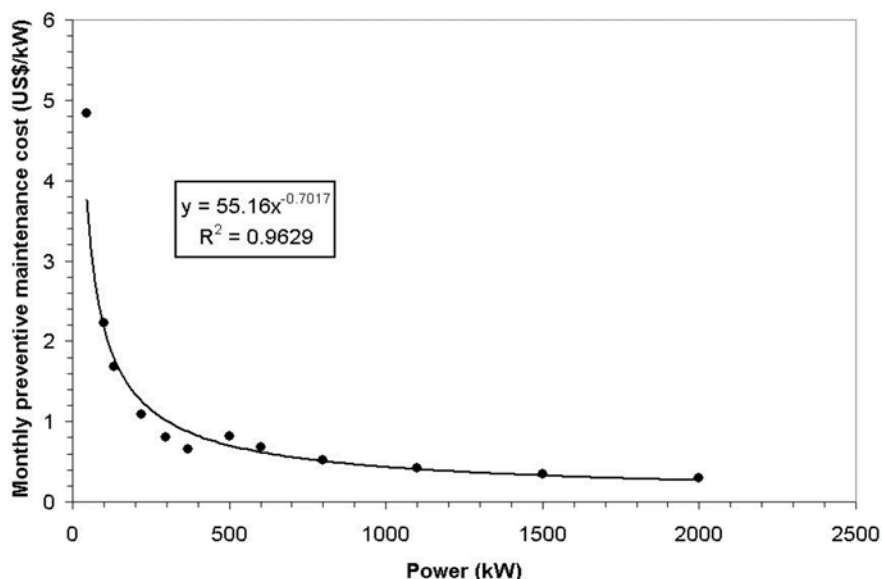
φτάνει στο 3,86% και 8,41% της εγκατεστημένης ισχύος της γεννήτριας, αν ληφθεί υπόψη ότι το ρελαντί της ντιζελογεννήτριας είναι περίπου στο 15% της ονομαστικής της ισχύος. Προκειμένου να συμπεριληφθεί αυτό στην τεχνικο-οικονομική μελέτη θεωρείται ότι, όταν η ντιζελογεννήτρια πέφτει κάτω από το τεχνικό της ελάχιστο, καταναλώνει την αντίστοιχη ποσότητα του τεχνικού ελαχίστου. Σύμφωνα με το σχετικό κώδικα στο παράρτημα Π.1.2 χρησιμοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα τρίωρων θερμοκρασιών από την Ε.Μ.Υ. για την περιοχή της Αθήνας για το χρονικό διάστημα 1986-2000 και προσδιορίζοντας το θερμικό – ψυκτικό φορτίο του κλιματισμού μέσω κατάλληλων γραμμικών παρεμβολών μεταξύ των θερμοκρασιών σχεδιασμού του κλιματισμού προσδιορίζονται με βάση τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα υπολογίζεται η μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατά την ομαλή λειτουργία με τη χρήση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών ίση με 18,551 kWh και κατά τη λειτουργία συντήρησης ίση με 40,836 kWh. Σε ετήσια βάση (365 ημέρες) υπάρχουν 353 ημέρες κανονικής λειτουργίας και 12 ημέρες για συντήρηση, οπότε η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 7033,2 kWh και η αντίστοιχη ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε 12.526 kg (έναντι 8.404 kg χωρίς περιορισμό). Αν χρησιμοποιηθούν τέσσερις ντιζελογεννήτριες των 12 kW (η πιο κοντινή τυποποιημένη τιμή στα 10 kW), τότε η αντίστοιχη κατανάλωση περιορίζεται σε 7.521 kg/h (με περιορισμό) με χρήση της ακόλουθης καμπύλης:

$$fuel \left[ \frac{kg}{h} \right] = 2,16 \cdot 10^{-14} \cdot \left( \frac{P_g [kW]}{12} \right)^2 + 2,56998 \cdot \frac{P_g [kW]}{12} + 0,47244 \quad (4.4)$$

Η διαφορά έγκειται τόσο στη μείωση κατά 40% της μόνιμης κατανάλωσης και ειδικά του σταθερού όρου της σχέσης (4.4), όσο και στον περιορισμό λειτουργίας του κάτω ορίου ισχύος κατά απόλυτη τιμή, καθώς στα 20 kW είναι τα 3 kW και στα 12 kW τα 1,8 kW.

Το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται ενδεικτικά σε 12.000 €/γεννήτρια 20 kW (με ηχομόνωση κτλ.), 1.000 €/πίνακας παραλληλισμού κ παρελκόμενα υλικά, 500 €/δεξαμενή 2000 l (6 m<sup>2</sup> γαλβανιζέ λαμαρίνα 5mm, σωλήνες πλήρωσης, εξαερισμού, και εργασία), οπότε το κόστος εγκατάστασης για δύο γεννήτριες των 20 kW ανέρχεται περίπου σε 35.000 € (27.000 € τυπικά + 8.000 € λοιπές εργασίες για τα Η/Ζ, π.χ. εξαερισμοί, πυροπροστασία κτλ.). Αντίστοιχα σε περίπτωση χρήσης μικρότερης γεννήτριας 12 kW με τυπικό κόστος 8.000 €/τεμάχιο, το κόστος εγκατάστασης για τέσσερις γεννήτριες των 12 kW ανέρχεται περίπου σε 44.000 € (35.000 € τυπικά + 9.000 € λοιπές εργασίες για τα Η/Ζ, π.χ. εξαερισμοί, πυροπροστασία κτλ.). Η τυπική διάρκεια ζωής είναι τα 10 έτη. Κάθε έτος το κόστος συντήρησης της γεννήτριας θεωρείται σταθερό για κάθε ώρα λειτουργίας και ανέρχεται σε 0,45 €/h για τη γεννήτρια των 20 kW και 0,27 €/h για τη γεννήτρια των 12 kW [Ε54] με ενδεικτική τιμή 1,00€=1,12\$]. Αντίστοιχα τα μηνιαία κόστη και για μηδενικές ώρες λειτουργίας ανέρχονται ενδεικτικά σε 159 € / μήνα για τη γεννήτρια των 20 kW και 137 €/μήνα για τη γεννήτρια των 12 kW [Ε55] (βλ. σχήμα 4.1.2). Το κόστος καυσίμου ανέρχεται σε σημερινές τιμές 1,35 €/l, το οποίο προσαυξάνεται κατά 3,3% για το αντίστοιχο αναλογικό κόστος λιπαντικών κτλ. (κατανάλωση / απώλεια λαδιού ανέρχεται σε 0,2 με 0,8 g/kWh με τυπική τιμή 0,5, με

πυκνότητα λαδιού ηλεκτρομηχανών 0,891 kg/l και με ενδεικτική τιμή 10€/l, δηλαδή  $(0,5\text{g/kWh})/(1000\text{ g/kg})/(0,891\text{kg/l}) \cdot (10€/l) = 0,0056\text{ €/kWh} \approx 0,006€/\text{kWh}$  που αντιστοιχεί σε σημερινά δεδομένα περί 3,3%).

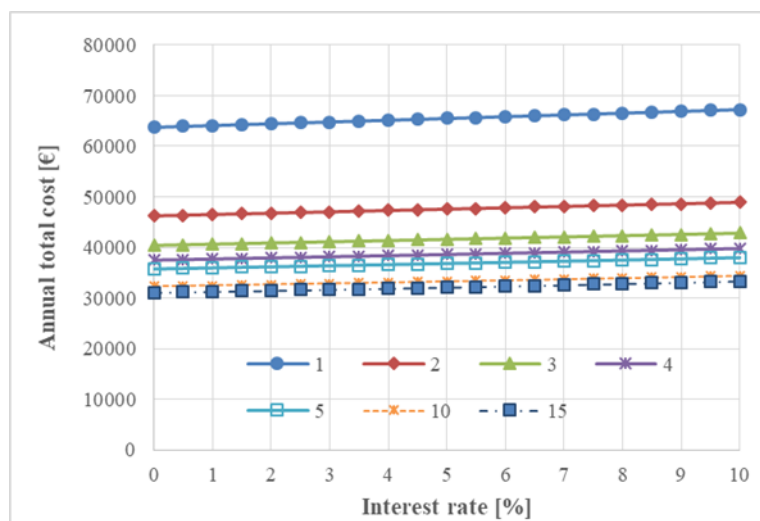


**Σχήμα 4.3:** Μηνιαία προληπτική συντήρηση ντιζελογεννητριών [Ξ55, Fig. 5], όπου 1 \$ του 2005= 1,32\$ του 2019 [43].

Κατά την περίπτωση χρήσης δύο γεννητριών 20 kW για την ετήσια κατανάλωση ενέργειας 7033,2 kWh κατά τον κώδικα του παραρτήματος Π.1.2 υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε 15055 l, το ετήσιο κόστος καυσίμου και λιπαντικού σε 20.995€, το ετήσιο αναλογικό κόστος συντήρησης 3.942 €, το ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης 3.816 €, ενώ το κόστος απόσβεσης επένδυσης  $A_{cap}$  υπολογίζεται για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) και περιόδους απόσβεσης  $T$  (1, 2, 3, 4, 5, 10 και 15 έτη) για αρχικό κόστος κεφαλαίου  $C_{cap}$  μέσω της σχέσης (4.1).

Συνοπτικά τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 4.4, όπου φαίνεται καθαρά ότι με την αύξηση του επιτοκίου αυξάνεται το ισοδύναμο συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας με πολύ μικρό ρυθμό λόγω του μεγάλου κόστους λειτουργίας, αντίθετα η περίοδος απόσβεσης οδηγεί σε πιο σημαντικές μεταβολές, ειδικά για περιόδους ενός έτους ως τρία. Λαμβάνοντας ότι οι ντιζελογεννήτριες έχουν διάρκεια ζωής 15.000 με 50.000 ώρες και θεωρώντας ότι πρακτικά η κάθε γεννήτρια λειτουργεί μισό έτος, δηλαδή 4.380 ώρες, πρακτικά μπορεί να θεωρησει κανείς ότι θα λειτουργήσουν από 3,5 έτη ως 11 έτη, δηλαδή πρακτικά τουλάχιστον 5 έτη στο προστατευτικό περιβάλλον του οικίσκου, όπου το ισοδύναμο κόστος κυμαίνεται από 35.753 € για 0% επιτόκιο ως 37.986 € για 10%.



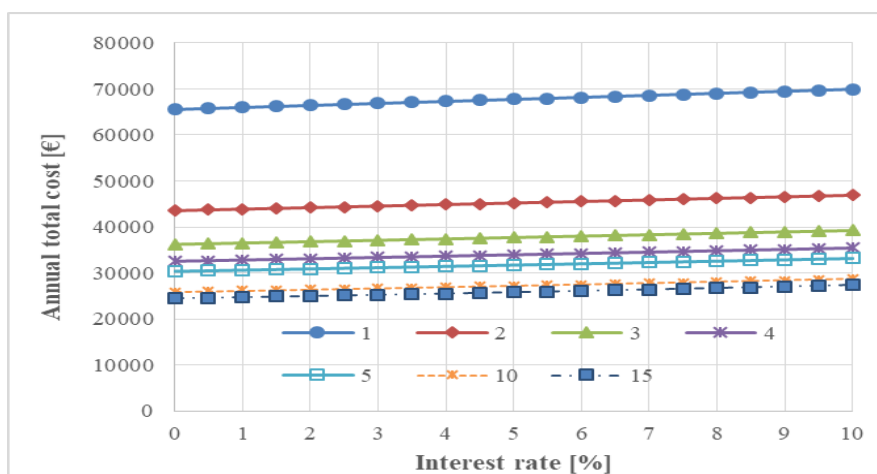


**Σχήμα 4.4:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με σύστημα 2 ντιζελογεννητριών 20 kW ως προς επιτόκιο και περιόδους απόσβεσης.

Κατά την περίπτωση χρήσης τεσσάρων γεννητριών 12 kW για την ετήσια κατανάλωση ενέργειας 7033,2 kWh κατά τον κώδικα του παραρτήματος Π.1.2 υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε 9.040 l, το ετήσιο κόστος καυσίμου και λιπαντικού σε 12.607€, το ετήσιο αναλογικό κόστος συντήρησης 2.365 €, το ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης 6.576 €, ενώ το κόστος απόσβεσης επένδυσης  $A_{cap}$  υπολογίζεται για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) και περιόδους απόσβεσης  $T$  (1, 2, 3, 4, 5, 10 και 15 έτη) για αρχικό κόστος κεφαλαίου  $C_{cap}$  μέσω της σχέσης (4.1). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5, όπου φαίνεται καθαρά ότι το αντίστοιχο κόστος είναι μικρότερο έναντι της χρήσης δύο μονάδων 20 kW, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση μεγαλύτερου χώρου. Σε αυτήν την περίπτωση κάθε γεννήτρια λειτουργεί το  $\frac{1}{4}$  του έτος, δηλαδή 2.190 ώρες, πρακτικά μπορεί να θεωρήσει κανείς ότι θα λειτουργήσουν από 7 έτη ως 23 έτη, δηλαδή πρακτικά τουλάχιστον 10 με 11 έτη, όπου το ισοδύναμο κόστος κυμαίνεται από 25.948 € για 0% επιτόκιο ως 28.709 € για 10%. Η τοποθέτηση των ντιζελογεννητριών θα μπορούσε με την κατάλληλη αλλαγή χώρων συσσωρευτών να γίνει ανά δύο σε κάθε ηλεκτροστάσιο εις βάρος του χώρου των συσσωρευτών.

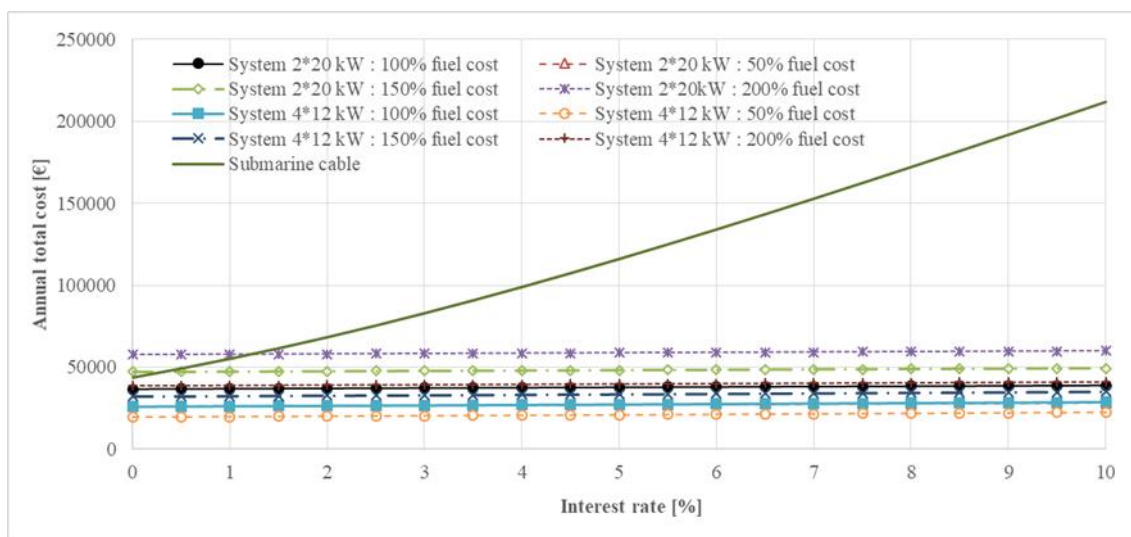
Αν η ίδια διαδικασία επαναλαμβανόταν για την περίπτωση χρήσης τριών γεννητριών 12 kW για την ίδια ετήσια κατανάλωση ενέργειας 7033,2 kWh κατά τον κώδικα του παραρτήματος Π.1.2, θα υπολογιζόταν η ίδια ετήσια κατανάλωση καυσίμου, το ίδιο ετήσιο κόστος καυσίμου και λιπαντικού, το ίδιο ετήσιο αναλογικό κόστος συντήρησης, αλλά διαφορετικό ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης ίσο με 4.932 €. Σε αυτήν την περίπτωση κάθε γεννήτρια λειτουργεί το  $\frac{1}{3}$  του έτους, δηλαδή 2.920 ώρες, δηλαδή πρακτικά τουλάχιστον 9 έτη, όπου το ισοδύναμο κόστος κυμαίνεται από 23.904 € για 0% επιτόκιο ως 26.155 € για 10%. Ωστόσο από πλευράς μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος δεν είναι ίδιο με την αρχική εγκατάσταση των δύο ντιζελογεννητριών 20 kW ή των τεσσάρων ντιζελογεννητριών 12 kW. Πρόσθετα για το ίδιο ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών υστερεί έναντι της τοποθέτησης των τεσσάρων

ντιζελογεννητριών 12 kW από πλευράς αξιοπιστίας τόσο ως προς το μη εξυπηρετούμενο φορτίο, όσο και ως προς τη μη εξυπηρετούμενη ενέργεια. Γι' αυτό δεν συγκρίνεται περαιτέρω.



**Σχήμα 4.5:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με σύστημα 4 ντιζελογεννητριών 12 kW ως προς επιτόκιο και περίοδο αποσβέσης.

Αν πρόσθετα διερευνηθεί ενδεχόμενη μεταβολή του κόστους καυσίμου από έκπτωση κατά 50% ως διπλασιασμό του κόστους του, τότε προκύπτουν τα ετήσια κόστη κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για τα συστήματα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2 των 20 kW με 5 έτη χρόνια απόσβεσης ή 4 των 12 kW με 10 έτη απόσβεσης και για την υποβρύχια διασύνδεση για τα διάφορα επιτόκια στο σχήμα 4.6. Οπότε φαίνεται καθαρά ότι και σε περίπτωση διπλασιασμού κόστους καυσίμου η δημιουργία αυτόνομου σταθμού ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 4\*12 kW για οποιοδήποτε επιτόκιο δανεισμού και 2\*20 kW για επιτόκιο από 1,3% περίπου και άνω πλεονεκτούν έναντι του υποβρύχιου καλωδίου. Σε κάθε περίπτωση όμως η υποβρύχια διασύνδεση είναι ακριβότερη ως λύση σε σχέση με τη χρήση αυτόνομου συστήματος ηλεκτροπαραγωγών ζευγών πετρελαίου δύο των 20 kW ή τεσσάρων των 12 kW για τα ίδια επιτόκια δανεισμού, όπου όσο μεγαλύτερο είναι το επιτόκιο, τόσο διευρύνεται. Για το επιτόκιο δανεισμού κεφαλαίων / επενδύσεων 3% του Α.Δ.Μ.Η.Ε. κατά το 2018 το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης της υποβρύχιας διασύνδεσης ανέρχεται σε 82.976 € (για την περίπτωση χωρίς κοστολόγηση ενέργειας και ισχύος που είναι η πιο ευνοϊκή οικονομικά λύση – μόνο με κόστος συντήρησης μετασχηματιστή – ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους), ενώ το αντίστοιχο κόστος για το σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών δύο των 20 kW ανέρχεται σε 37.411 € για 5 έτη απόσβεσης (αναμενόμενη διάρκεια ζωής ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με λειτουργία 4.380 ωρών ανά έτος), τεσσάρων των 12 kW ανέρχεται σε 26.706 € για 10 έτη απόσβεσης (αναμενόμενη διάρκεια ζωής ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με λειτουργία 2.190 ωρών ανά έτος). Οπότε από οικονομικής σκοπιάς πλεονεκτεί η χρήση αυτόνομου σταθμού ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.



**Σχήμα 4.6:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με αρχικό κόστος καυσίμου (100%), 50%, 150% και 200% του αρχικού κόστους, με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με αρχικό κόστος καυσίμου (100%), 50%, 150% και 200% του αρχικού κόστους, με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, για υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη.

Από πλευράς αξιοπιστίας η χρήση σταθμού τεσσάρων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 12 kW με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 2% (κατά το [Ε56] περιορίζεται σε 1.12%) σε σχέση με τη χρήση ενός υποβρυχίου καλώδιου με ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών 0,01% (1 h ανά έτος λόγω τροφοδοσίας του από δίκτυο μέσης τάσης νήσου Αίγινας) και ενός εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 1% δίνει σημαντικά μικρότερο ετήσιο χρόνο απώλειας ενέργειας (0,0011 kWh/ έτος έναντι 0,0061 kWh/ έτος), μικρότερο ετήσιο χρόνο απώλειας φορτίου (0,276 h/έτος έναντι 0,876 h/έτος για τυπικά μέγιστο φορτίο 22 kW), μικρότερο ετήσιο χρόνο πλήρους απώλειας φορτίου (0,0014 h/έτος έναντι 0,00876 h/έτος). Η χρήση συστήματος σταθμού δύο ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 20 kW οδηγεί σε πολύ δυσμενέστερα αποτελέσματα (αναμενόμενη απώλεια ενέργειας 2,813 kWh/ έτος, αναμενόμενος χρόνος απώλειας φορτίου 346,9 h/έτος για τυπικά μέγιστο φορτίο 22 kW, αναμενόμενος χρόνος πλήρους απώλειας φορτίου 3,5 h/έτος), που δικαιολογεί την προσθήκη συσσωρευτή διάρκειας 8 ωρών που τοποθετεί ο Α.Δ.Μ.Η.Ε. σε όλους τους υποσταθμούς.

Συνεπώς τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και από πλευράς αξιοπιστίας η διαμόρφωση ενός αυτόνομου σταθμού τεσσάρων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών πλεονεκτεί έναντι της υποβρυχίας διασύνδεσης λόγω της πολύ μικρής κατανάλωσης ενέργειας και ισχύος του οικίσκου.

#### 4.4. Αυτόνομος Σταθμός με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συσσωρευτές

##### 4.4.1. Γενικά στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας για φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα βασικά γεωγραφικά στοιχεία του εν λόγω κτιρίου είναι:

- ♦  $\theta_{\mu}$  είναι το γεωγραφικό μήκος της περιοχής, ίσο με  $-23,361770^{\circ}$  (μέσω google earth),
- ♦  $\varphi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, ίσο με  $37,815199^{\circ}$  (μέσω google earth),
- ♦  $\Delta T_{GMT}$  είναι η διαφορά μεταξύ της ώρας GMT (Greenwich Mean Time) και της τοπικής ώρας που συνιστά ακέραιο αριθμό ωρών, ίσο με  $-2$  ώρες για την Ελλάδα.

Οπότε ο μεσημβρινός αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας  $L_{ST}$  είναι ίσος με  $-30^{\circ}$  μέσω της σχέσης:

$$L_{ST} = 15^{\circ}/h \cdot \Delta T_{GMT} \quad (4.5)$$

Η συσχέτιση μεταξύ της ηλιακής ώρας  $T_{SOLAR}$  και της τοπικής χειμερινής ώρας  $T_{LOCAL}$  δίνεται από τη σχέση:

$$T_{SOLAR} = T_{LOCAL} + E + 4 \min / ^{\circ} \cdot (L_{ST} - \theta_{\mu}) \quad (4.6)$$

όπου  $E$  είναι η διόρθωση που εισάγεται από την εξίσωση του χρόνου για την ημέρα υπολογισμού  $DoY$ , όπου  $DoY = 1$  για την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου,  $DoY = 32$  για την 1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου,  $DoY = 81$  για την εαρινή ισημερία, κτλ. μέσω της γωνίας ημέρας  $B$  που δίνονται από τις σχέσεις:

$$E = 9,87 \cdot \sin(2 \cdot B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B) \quad (4.7)$$

$$B = (DoY - 81) \cdot \frac{360^{\circ}}{365} \quad (4.8)$$

Η ηλιακή απόκλιση  $\delta$ , δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και της νοητής ευθείας που ενώνει τα κέντρα της Γης και του Ήλιου δίνεται από τη σχέση:

$$\delta^{\circ} = 23,45^{\circ} \cdot \sin\left(\frac{360^{\circ}}{365} \cdot (DoY - 81)\right) \quad (4.9)$$

Όπου  $23,45^{\circ}$  ( $=23^{\circ}27'$ ) είναι η ηλιακή απόκλιση κατά τη θερινή ισημερία και  $-23,45^{\circ}$  κατά τη χειμερινή ισημερία.

Η ηλιακή ωριαία γωνία  $\omega$  είναι:

$$\omega = 15^{\circ}/h \cdot (T_{SOLAR} - 12 \text{ h}) \quad (4.10)$$

η οποία λαμβάνει μηδενική τιμή τη στιγμή της ηλιακής μεσημβρίας, αρνητική προ ηλιακής μεσημβρίας, θετική μετά την ηλιακή μεσημβρία.

Η θέση του ήλιου, γνωστή ως ηλιακό ύψος  $\beta$ , είναι η συμπληρωματική γωνία της ζενιθιακής γωνίας  $\theta_z$ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο (ζενίθ) και στη διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ δίνεται από τη σχέση:

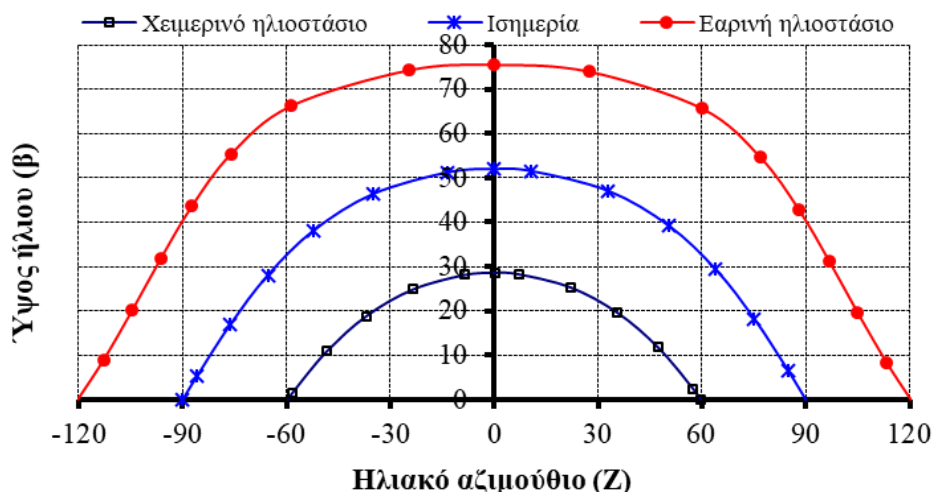
$$\sin \beta = \cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (4.11)$$

Η ηλιακή αζιμούθια γωνία  $Z$  (το ηλιακό αζιμούθιο ως προς το Νότο στη συγκεκριμένη περιοχή και ώρα) δίνεται από τη σχέση:

$$\cos Z = \frac{\sin \beta \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \quad \text{για } \omega \geq 0 \quad (4.12)$$

$$\cos Z = -\frac{\sin \beta \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \quad \text{για } \omega < 0 \quad (4.13)$$

Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η μεταβολή του ηλιακού ύψους  $\beta$  σε συνάρτηση της αζιμούθιας γωνίας  $Z$  ως προς το Νότο στην περιοχή μελέτης.



**Σχήμα 4.7:** Διάγραμμα ύψους ήλιου ( $\beta$ ) σε συνάρτηση με το ηλιακό αζιμούθιο για την περιοχή της Σταχτορρόης Αττικής.

Ακολουθεί ο πίνακας 4.1 με τιμές πραγματικής – ηλιακής ώρας χαρακτηριστικών ημερών για τις ώρες ηλιοφάνειας.

Για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του [E17], καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα πραγματικά αναλυτικά στοιχεία από την περιοχή εγκατάστασης κατά τη μεθοδολογία του [E16, σελ. 253-276].

Ειδικότερα τα βήματα προσδιορισμού της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι τα εξής:

- ◆ Ορίζονται η τυπική ημέρα κάθε μήνα για την οποία θα προσδιορισθεί αντιπροσωπευτικά η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το πλαίσιο, π.χ. 15η Ιανουαρίου για τον Ιανουάριο με  $DoY=15$  κτλ. Ουσιαστικά πρόκειται για τη 15η μέρα του κάθε μήνα, δηλαδή  $DoY=15, 46, 74, 105, 135, 166, 196, 227, 258, 288, 319, 349$ .
- ◆ Προσδιορίζεται η ηλιακή απόκλιση σύμφωνα με τη σχέση (4.9).
- ◆ Προσδιορίζεται η ολική ηλιακή ακτινοβολία  $H_m$  σε οριζόντιο επίπεδο πάνω στην επιφάνεια της γης σε  $kWh/m^2$  ανά μήνα για την Αθήνα (ως η πιο κοντινή πόλη σε περιοχή Σταχτορρόης) με βάση τον πίνακα 3-I του [E17].
- ◆ Προσδιορίζεται η ώρα της δύσης του ήλιου  $\omega_s$  για οριζόντιο συλλέκτη σύμφωνα με [E16, σελ. 264, σχ. (37)]:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \varphi) \quad (4.14)$$

**Πίνακας 4.1:** Συσχέτιση πραγματικής χειμερινής ώρας – ηλιακής ώρας για χαρακτηριστικές ημέρες (χειμερινό ηλιοστάσιο, εαρινή ισημερία, εαρινό ηλιοστάσιο, χειμερινή ισημερία).

Χειμερινό ηλιοστάσιο 21 <sup>η</sup> Δεκεμβρίου		Εαρινή ισημερία 21 <sup>η</sup> Μαρτίου		Εαρινό ηλιοστάσιο 21 <sup>η</sup> Ιουνίου		Χειμερινή ισημερία 21 <sup>η</sup> Σεπτεμβρίου	
Πραγματική (χειμερινή) ώρα	Ηλιακή ώρα	Πραγματική (χειμερινή) ώρα	Ηλιακή ώρα	Πραγματική (χειμερινή) ώρα	Ηλιακή ώρα	Πραγματική (χειμερινή) ώρα	Ηλιακή ώρα
-	-	-	-	5:10	4,69	-	-
-	-	6:34	6,00	6:00	5,52	6:24	6,00
7:53	7,32	7:00	6,44	7:00	6,52	7:00	6,61
8:00	7,44	8:00	7,44	8:00	7,52	8:00	7,61
9:00	8,44	9:00	8,44	9:00	8,52	9:00	8,61
10:00	9,44	10:00	9,44	10:00	9,52	10:00	9,61
11:00	10,44	11:00	10,44	11:00	10,52	11:00	10,61
12:00	11,44	12:00	11,44	12:00	11,52	12:00	11,61
12:34	12,00	12:34	12,00	12:29	12,00	12:24	12,00
13:00	12,44	13:00	12,44	13:00	12,52	13:00	12,61
14:00	13,44	14:00	13,44	14:00	13,52	14:00	13,61
15:00	14,44	15:00	14,44	15:00	14,52	15:00	14,61
16:00	15,44	16:00	15,44	16:00	15,52	16:00	15,61
17:00	16,44	17:00	16,44	17:00	16,52	17:00	16,61
17:15	16,69	18:00	17,44	18:00	17,52	18:00	17,61
-	-	18:34	18,00	19:00	18,52	18:24	18,00
-	-	-	-	19:47	19,31	-	-

♦ Προσδιορίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία  $H_{om}$  σε οριζόντιο πλαίσιο από την εκτός γήινης ατμόσφαιρας ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m<sup>2</sup> ανά μήνα σύμφωνα με τη σχέση [E17, σχ. (2.50)]:

$$H_{om} = \frac{M \cdot 24 \cdot I_o}{\pi} \cdot \left( 1 + 0,333 \cdot \cos \left( \frac{360^\circ}{365} \cdot DoY \right) \right) \cdot \left( \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi \cdot \omega_s}{180^\circ} \right) \quad (4.15)$$

Όπου  $M$  είναι ο αριθμός ημερών του μήνα,  $I_o$  είναι η ηλιακή σταθερά – η μέση πυκνότητα ισχύος της εκτός γήινης ατμόσφαιρας ηλιακής ακτινοβολίας ίσης με 1367 W/m<sup>2</sup> κατά το [E16, σελ. 233].

♦ Προσδιορίζεται ο δείκτης αιθριότητας  $K$  ως ο λόγος της μέσης μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο προς τη μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ίδιο επίπεδο στα όρια της ατμόσφαιρας [E17, σχ. (2.49)]:

$$K = \frac{H_m}{H_{om}} \quad (4.16)$$

♦ Προσδιορίζεται ο λόγος της διάχυτης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας  $H_{md}$  που δέχεται ένα οριζόντιο πλαίσιο προς την αντίστοιχη ολική ηλιακή ακτινοβολία  $H_m$  που δέχεται το ίδιο πλαίσιο μέσω του πολωνύμου του Δ. Λάλα [E17, σχ. (2.48)]:

$$\frac{H_{md}}{H_m} = 1,446 - 2,965 \cdot K + 1,727 \cdot K^2 \quad (4.17)$$

♦ Προσδιορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής  $R_B$  της άμεσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο ανά ημέρα προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ίδιο πλαίσιο σε οριζόντια θέση [E17, σχ. (2.48)]:

$$R_B = \frac{\cos(\varphi - a) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_s + \sin(\varphi - a) \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega'_s}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega_s} \quad (4.18)$$

Όπου  $\omega'_s$  είναι η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου για την τυπική ημέρα του μήνα, όταν το πλαίσιο είναι τοποθετημένο με κλίση  $\alpha$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο που δίνεται από τη σχέση:

$$\omega'_s = \min \left\{ \omega_s, \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan(\varphi - a)) \right\} \quad (4.19)$$

♦ Προσδιορίζεται ο συνολικός διορθωτικός συντελεστής  $R_M$  της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ίδιο πλαίσιο σε οριζόντια θέση συμπεριλαμβάνοντας την ανακλώμενη και τη διάχυτη ακτινοβολία [E17, σχ. (2.47)]:

$$R_M = \left( 1 - \frac{H_{md}}{H_m} \right) \cdot R_B + \frac{H_{md}}{H_m} \cdot \frac{1 + \cos a}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos a}{2} \quad (4.20)$$

Όπου  $\rho$  είναι ο συντελεστής ανάκλασης ηλιακής ακτινοβολίας με τυπική τιμή 0,2 για φυτικό χώμα (στην παρούσα περίπτωση λαμβάνεται αυτή η τιμή, διότι πολύ κοντά υπάρχει άσφαλτος, θάλασσα και σκουρόχρωμοι βράχοι με 0,05, αλλού ανοιχτόχρωμοι βράχοι με τιμή 0,60 κτλ.).

♦ Προσδιορίζεται η τελική μηνιαία ακτινοβολία που δέχεται το πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο ως εξής [E17, σχ. (2.51)]:

$$H_{m-panel} = R_M \cdot H_m \quad (4.21)$$

Στην περίπτωση της Σταχτορρόης τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 4.5, όπου καταγράφονται οι μηνιαίες και η ετήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m<sup>2</sup> ανάλογα με τη γωνία κλίσης με βήμα 1° από 0° ως 35° και 5° από 35° ως 90°. Από τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει για κλίση πλαισίου 0°, ενώ όσο απομακρύνεται κανείς από το εαρινό ηλιοστάσιο, τόσο η βέλτιστη τιμή συμβαίνει για μεγαλύτερη κλίση πλαισίου, φθάνοντας στους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο για κλίσεις πλησίον των 60°. Η μέγιστη ετήσια ακτινοβολία λαμβάνεται για γωνία 28°. Οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές σημειώνονται με “bold” γραμματοσειρά. Ωστόσο στην παρούσα περίπτωση η τελική κλίση της στέγης περιορίζεται στις 3° προς Νότο για λόγους απορροής υδάτων, βατότητας και μικρού βάρους – εύκολης διαμόρφωσης αντίστοιχης στέγης. Λόγω της αρμύρας της θάλασσας και των ιδιαίτερων συνθηκών ηλεκτροχημικής διάβρωσης πρόκειται να χρησιμοποιηθούν εύκαμπτα πλαίσια από πολυκρυσταλλικές κυψέλες συνδεδεμένες με ίνες χαλκού, εύκαμπτες, ενδεικτικού τύπου Sxp154L ή Sxp154Q της Solbian [E37] του σχήματος 4.8, προσαρμοσμένων πάνω στη στέγη, χωρίς πρόσθετα μεταλλικά πλαίσια







**Σχήμα 4.8:** Εικόνα εύκαμπτου πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πανέλου Sxp154L της Solbian, ονομαστικής ισχύος 154 W για 18,2 V και 8,5 A υπό συνθήκες STC (1,5 AM, 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C), τάσης ανοικτοκύκλωσης Voc 23,0 V, έντασης βραχυκύκλωσης Isc 9,1 A, -0,38%/°C για ισχύ, -0,27%/°C για Voc, +0,05%/°C για Isc, διαστάσεων 1523 x 683 x 2 mm, βάρους 2,40 kg, κατάλληλο για ναυπηγικές εφαρμογές / θαλάσσιο περιβάλλον [Ε37]. Το Sxp154Q έχει μόνο διαφορετικές διαστάσεις 1046 x 996 x 2 mm.

Στην περίπτωση που το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο δέχεται σκίαση με γωνία σκίασης  $\gamma_{σκ}$ , τότε μεταβάλλονται οι σχέσεις:

◆ Προσδιορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής  $R_B'$  της άμεσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο ανά ημέρα προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ίδιο πλαίσιο σε οριζόντια θέση λαμβάνοντας υπόψη όμως τη γωνία σκίασης  $\gamma_{σκ}$ :

$$R_B' = \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s'' + \sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega_s''}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega_s} \quad (4.22)$$

Όπου  $\omega_s''$  είναι η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου για την τυπική ημέρα του μήνα λαμβάνοντας υπόψη τη γωνία σκίασης  $\gamma_{σκ}$ , όταν το πλαίσιο είναι τοποθετημένο με κλίση  $\alpha$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο που δίνεται από τη σχέση [E16, σελ. 264, σχ. (35)]:

$$\omega_s'' = \min \left\{ \omega_s', \cos^{-1} \left( \frac{\cos \gamma_{σκ} - \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos \delta \cdot \cos(\varphi - \alpha)} \right) \right\} \quad (4.23)$$

◆ Προσδιορίζεται ο αντίστοιχος συνολικός διορθωτικός συντελεστής  $R_M'$  της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ίδιο πλαίσιο σε οριζόντια θέση συμπεριλαμβάνοντας την ανακλώμενη και τη διάχυτη ακτινοβολία, καθώς και τη γωνία σκίασης  $\gamma_{σκ}$  μέσω του συντελεστή  $R_B'$  [E17, σχ. (2.47)]:

$$R_M' = \left( 1 - \frac{H_{md}}{H_m} \right) \cdot R_B' + \frac{H_{md}}{H_m} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (4.24)$$

♦ Προσδιορίζεται η τελική μηνιαία ακτινοβολία που δέχεται το πλαίσιο με κλίση  $\alpha$  προσανατολισμένο ως προς το Νότο με γωνία σκίασης  $\gamma_{σκ}$  ως εξής [E17, σχ. (2.51)]:

$$H'_{m-panel} = R_M' \cdot H_m \quad (4.25)$$

Στον οικίσκο λόγω του κατάλληλου προσανατολισμού του πάνω σε άξονα βορρά – νότου και με κατάλληλη κλίση της στέγης (χαμηλότερο σημείο προς νότο) επιτυγχάνεται η μη σκίαση των φωτοβολταϊκών πανέλων. Χρειάζεται προσοχή μόνο σε περίπτωση τοποθέτησης οπτικής σήμανσης εμποδίου αεροναυτιλίας (η θέση θα είναι επί της βορεινής ακμής στέγης οικίσκου). Με βάση τη σχετική κάτοψη στέγης μήκους 14,30 m (=13,3+2·0,5 πρόβολος/ γείσο) και πλάτους 8,60 m (=7,6+2·0,5 πρόβολος / γείσο) δύνανται να τοποθετηθούν το μέγιστο ως εξής:

♦ Για τον ενδεικτικό τύπο Sxp154L της Solbian [E37]:

- [14300/1523]=9 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και [8600/683]=12 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν), συνολικά 108(=9·12) πλαίσια, συνολικής ισχύος 16632 W,
- [14300/683]=20 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και [8600/1523]=5 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν), συνολικά 100(=20·5) πλαίσια, συνολικής ισχύος 15400 W.

♦ Για τον ενδεικτικό τύπο Sxp154Q της Solbian [E37]:

- [14300/1046]=13 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και [8600/996]=8 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν), συνολικά 104(=13·8) πλαίσια, συνολικής ισχύος 16016 W,
- [14300/996]=14 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και [8600/1046]=8 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν), συνολικά 112(=14·8) πλαίσια, συνολικής ισχύος 17248 W.

Στην περίπτωση που απαιτηθεί άμεση προσβασιμότητα σε κάθε σειρά πλαισίων, τότε δημιουργούνται διάδρομοι παράλληλα στον άξονα της μεγάλης πλευράς με σχηματισμό αντίστοιχων διαδρόμων κάθετα στον άξονα της μικρής πλευράς ανάμεσα στα πλαίσια, καθώς οι ακριανές σειρές πλαισίων προσεγγίζονται από τη βορεινή και τη νότια πλευρά μέσω φορητής σκάλας. Ο κάθε διάδρομος πρέπει να έχει διάσταση περί των 40 cm, οπότε προκύπτουν τα εξής:

♦ Για τον ενδεικτικό τύπο Sxp154L της Solbian [E37]:

- Ο συνδυασμός 9 επί 12 περιορίζεται σε 9 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 10 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) με τέσσερις διαδρόμους πλάτους 44 cm έκαστος, συνολικά 90(=9·10) πλαίσια, συνολικής ισχύος 13860 W,
- Ο συνδυασμός 20 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 5 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) έχει δύο διαδρόμους πλάτους 54 cm έκαστος, οπότε δεν υπάρχει μείωση πλήθους πλαισίων και ισχύος.

♦ Για τον ενδεικτικό τύπο Sxp154Q της Solbian [E37]:

- Ο συνδυασμός 13 επί 8 περιορίζεται σε 13 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 7 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) με 3 διαδρόμους πλάτους 54 cm έκαστος, συνολικά 91(=13·7) πλαίσια, συνολικής ισχύος 14014 W,

- Ο συνδυασμός 14 επί 8 περιορίζεται σε 14 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 7 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) με 3 διαδρόμους πλάτους 43 cm έκαστος, συνολικά 98(=14·7) πλαίσια, συνολικής ισχύος 15092 W.

Οπότε γίνεται αποδεκτό ότι η μέγιστη ισχύς φωτοβολταϊκών πανέλων ανέρχεται σε 15,4 kW εξασφαλίζοντας και την αναγκαία προσβασιμότητα.

#### 4.4.2. Κλασική μεθοδολογία διαστασιολόγησης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού

Αν ο στόχος είναι να διαμορφωθεί ένα επί της ουσίας αυτόνομο σύστημα από φωτοβολταϊκά πανέλα με μηδαμινή λειτουργία των ντιζελοηλεκτρικών γεννητριών, σύμφωνα με τον πίνακα 2 της σελίδας 398 του [E16] ο ελάχιστος αριθμός ημερών αυτοδυναμίας  $n$  λόγω της κρίσιμης εγκατάστασης θα είναι 10 ημέρες. Η περίοδος λειτουργίας του συστήματος είναι ετήσια, ενώ η κλίση των πανέλων είναι ίση με 3° λόγω στέγης. Με βάση το μηνιαίο ηλιακό δυναμικό  $H'_{m-panel}$  του πίνακα 4.3 υπολογίζεται το αντίστοιχο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό  $H'_{day-panel}$  με βάση το πλήθος των ημερών του μήνα  $N_{mon}$  ως εξής:

$$H'_{day-panel} = \frac{H'_{m-panel}}{N_{mon}} \quad (4.26)$$

Ακολούθως προσδιορίζεται ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του συστήματος των φωτοβολταϊκών πανέλων ως εξής:

- ♦ Ο συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης λόγω σχετικής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ πανέλων και περιβάλλοντος μεταξύ των 25 και 35°C δίνεται τυπικά ως εξής:

$$\sigma_{\rho} = 1 - (T_{month} + 30 - 25) \cdot 0,0038 \quad (4.27)$$

Όπου η μέση θερμοκρασία του μήνα είναι  $T_{month}$ , η διαφορά θερμοκρασίας περιβάλλοντος – φωτοβολταϊκού πανέλου 30°C, η θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C, ο συντελεστής μείωσης ισχύος λόγω μεταβολής θερμοκρασίας 0,38%/°C.

- ♦ Ο συντελεστής ρύπανσης  $\sigma_{\rho}$  είναι ίσος με 0,90, καθώς από τη μία πλευρά καθορίζονται συχνά με τυπική τιμή 0,95, από την άλλη είναι πρακτικά σχεδόν οριζόντια τοποθετημένα με τυπική τιμή 0,80 κατά [E16, σελ. 404].

- ♦ Ο συντελεστής γήρανσης  $\sigma_{\gamma}$  είναι ίσος με 0,90 λόγω μείωσης φωτοβολταϊκής μετατροπής τυπικά κατά 1% ανά έτος για τυπική διάρκεια ζωής 10 ετών λόγω τοποθέτησης πλησίον θάλασσας.

- ♦ Ο συντελεστής απωλειών διόδου αντεπιστροφής  $\sigma_{\delta}$  είναι ίσος με 0,99 [E16, σελ. 405].

- ♦ Ο συντελεστής ανομοιογένειας  $\sigma_{\alpha}$  μεταξύ πανέλων λαμβάνεται τυπικά ίσος με 0,98 [E16, σελ. 405].

- ♦ Ο συντελεστής καλωδίων  $\sigma_{\kappa}$  λαμβάνεται ίσος με 0,98, διότι από τη μία πλευρά όλο το φωτοβολταϊκό σύστημα εκτείνεται σε μικρές αποστάσεις, οπότε από πτώσεις τάσης περιορίζονται οι απώλειες Joule κάτω από 1% εύκολα, από την άλλη πλευρά λόγω μακροχρόνιας λειτουργίας εγκατάστασης σε θαλάσσιο περιβάλλον αυξάνονται οι απώλειες λόγω ηλεκτροχημικής διάβρωσης σε στατικές επαφές συνδέσμων που σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να αυξήσει απώλειες κατά 2%, οπότε με επιμελημένη κατασκευή περιορίζεται σε 1% [E16, σελ. 405].

Ο συντελεστής συνολικών απωλειών των φωτοβολταϊκών πανέλων  $\sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi}$  σχετικής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ πανέλων και περιβάλλοντος μεταξύ των 25 και 35°C δίνεται τυπικά ως εξής:

$$\sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi} = \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa} \quad (4.28)$$

Οι απώλειες των ηλεκτρικών συστημάτων της φωτοβολταϊκής εγκατάσταση προσδιορίζονται ως εξής:

♦ Ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας  $\sigma_{MHE}$  είναι ίσος με 0,85 λόγω αναστροφέα τάσεως DC-AC [E16, σελ. 406].

♦ Ο συντελεστής προσαύξησης ημερήσιων αναγκών ενέργειας  $\sigma_{YM}$  είναι ίσος με 1,15, καθώς η προσαύξηση τυπικά κυμαίνεται από 15% ως 25% και λόγω καλής εκτίμησης μέσω του πίνακα 3.2 περιορίζεται στο 15%.

Η απαιτούμενη ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάσταση  $P_{a\_mon}$  που θα καλύπτει τις ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις:

$$P_{a\_mon} [W_p] = \sigma_{YM} \cdot \frac{E_{day} [kWh/d] \cdot P_{STC} [W/m^2]}{\sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi} \cdot \sigma_{MHE} \cdot H'_{day-panel} [kWh/(m^2 \cdot d)]} \cdot \frac{N_{mon}}{N_{mon} - n} \quad (4.29)$$

Όπου  $E_{day}$  είναι η απαιτούμενη συνολική ημερήσια ενέργεια, η πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας  $P_{STC}$  σε πρότυπες συνθήκες STC είναι ίση με 1000 W/m<sup>2</sup>.

Αν η ισχύς πλαισίου  $P_{panel}$  είναι ίση με 154 W για το Sxp154Q, τότε ο αναγκαίος αριθμός πλαισίων  $N_{panel}$  είναι ίσος με:

$$N_{panel} = \frac{P_{a\_mon}}{P_{panel}} \quad (4.30)$$

Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών C προσδιορίζεται ως εξής:

$$C [A \cdot h] = \frac{1}{k_{\theta}} \cdot \sigma_{YM-\Sigma} \cdot \frac{E_{day} [kWh/d] \cdot (n + \ell_D)}{\sigma_{\Gamma\Sigma-\Sigma} \cdot \sigma_{MHE-\Sigma} \cdot DOD \cdot V_B [V]} \quad (4.31)$$

όπου ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας  $\sigma_{MHE-\Sigma}$  μεταξύ συσσωρευτών – καταναλώσεων είναι ίσος με 0,91 λόγω αναστροφέα τάσεως DC-AC [E16, σελ. 417-418], ο συντελεστής προσαύξησης ημερήσιων αναγκών ενέργειας συσσωρευτών  $\sigma_{YM-\Sigma}$  είναι ίσος με 1,15 λόγω καλής εκτίμησης μέσω του πίνακα 3.2, ο συντελεστής γήρανσης συσσωρευτών  $\sigma_{\Gamma\Sigma-\Sigma}$  είναι ίσος με 0,80 λόγω της πιο γήρανσης των συσσωρευτών σε σχέση με τα πανέλα, το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης του συστήματος συσσωρευτών ίσο με 70% (ως 80%) για ημέρες αυτονομίας 7 με 10 και 50% (ως 60%) για ημέρες αυτονομίας 4 με 6 κατά τον πίνακα 16 σελίδας 417 του [E16], η τάση των συσσωρευτών  $V_B$  είναι ίση με 110 V κατόπιν επιθυμίας συμβατότητας συσσωρευτών από μεριάς Α.Δ.Μ.Η.Ε., ο συντελεστής  $\ell_D$  λαμβάνει την τιμή 0,8 ως το ποσοστό των φορτίων της κατανάλωσης που τροφοδοτούνται άμεσα από τους συσσωρευτές σε αντιδιαστολή με εκείνα που τροφοδοτούνται απευθείας από το φωτοβολταϊκό πεδίο (λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1, όπου εδώ θεωρείται ότι περίπου στο 20% του ημερήσιου χρόνου το

φωτοβολταϊκό πεδίο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των καταναλώσεων), ενώ ο συντελεστής θερμοκρασιακής αναπροσαρμογής  $k_{\theta}$  δίνεται μέσω της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας  $T_{year}$  από τη σχέση:

$$k_{\theta} = \begin{cases} 1, & T_{year} \geq 20^{\circ} C \\ 1 - \frac{20^{\circ} C - T_{year}}{160^{\circ} C}, & T_{year} < 20^{\circ} C \end{cases} \quad (4.32)$$

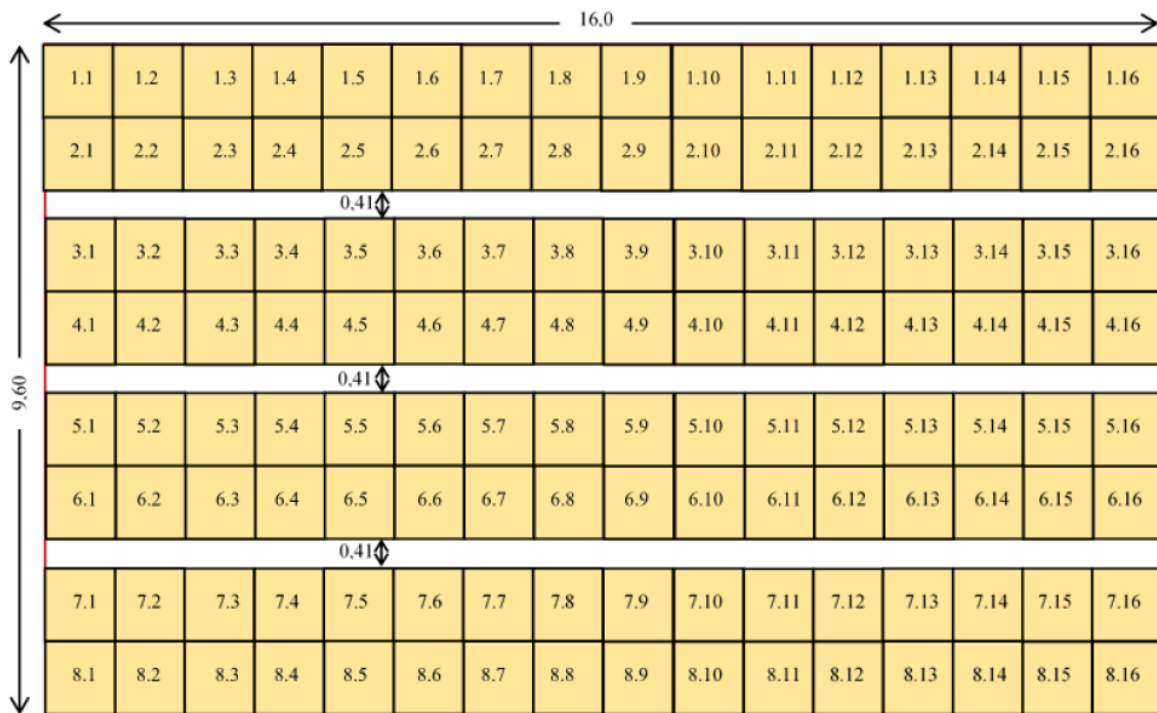
Οπότε στον πίνακα 4.3 καταγράφονται για την παρούσα περίπτωση τα αντίστοιχα μεγέθη, όπου τυπικά για πλήρη αυτονομία 10 ημερών λόγω της κρισιμότητας της εγκατάστασης απαιτείται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων ισχύος 19,48 kW και πλήθους 127 για πλαίσιο Sxp154Q [E37] των 154 W με σύστημα συσσωρευτών 110 V dc χωρητικότητας 3724 Ah (πρακτικά των 3800 Ah).

**Πίνακας 4.3:** Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, του πλήθους πλαισίων και της χωρητικότητας των συσσωρευτών με βάση τις μέσες μηνιαίες ηλιακές ακτινοβολίες σε kWh/m<sup>2</sup> για μηδενική γωνία σκίασης και για γωνία κλίσης 3° (που είναι η κλίση της στέγης).

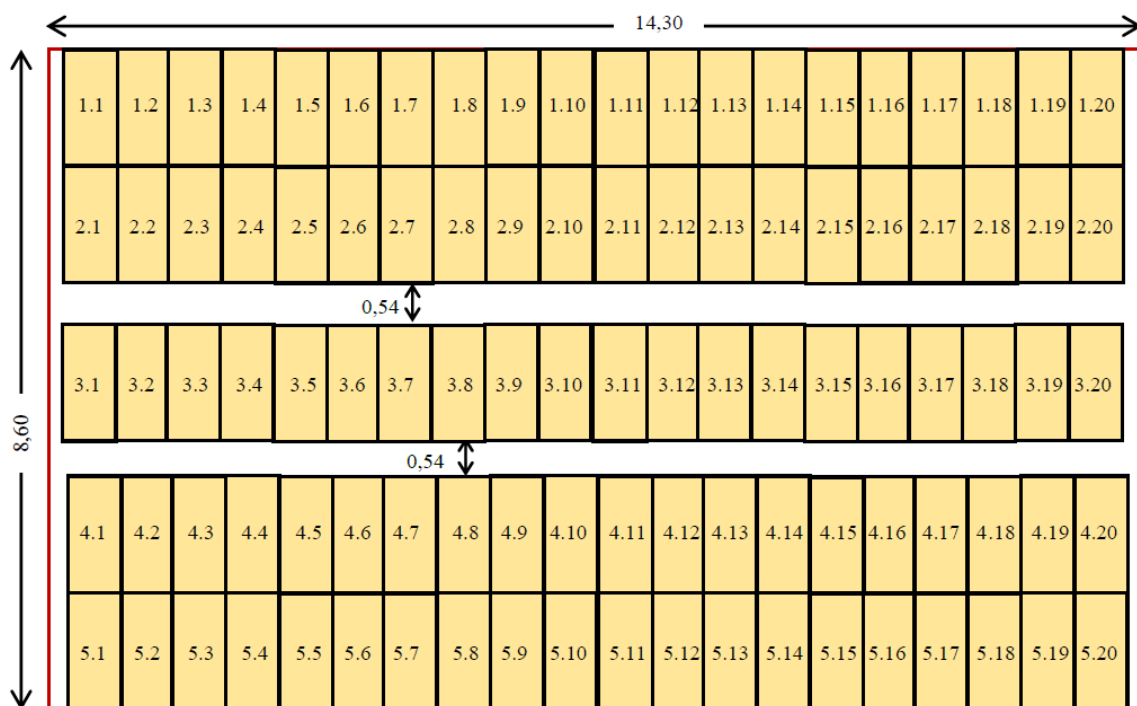
Μήνας	$N_{month}$	$E_{day}$	$H'_{m-panel}$	$H'_{day-panel}$	$T_{month}$	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Omega}$	Μέρες αυτονομίας= 10			Μέρες αυτονομίας= 4		
								$P_{\alpha,month}$	$N_{panel}$	C	$P_{\alpha,month}$	$N_{panel}$	C
	[-]	[kWh/d]	[kWh/(m <sup>2</sup> ·μήνα)]	[kWh/(m <sup>2</sup> ·d)]	[°C]	[-]	[-]	[W]	[-]	[A·h]	[W]	[-]	[A·h]
Ιανουάριος	31	16,079	67,88	2,190	10,03	0,9429	0,8068	18177	119	3724	14137	92	2317
Φλεβάρης	28	15,911	75,89	2,710	10,24	0,9421	0,8062	15326	100	3685	11494	75	2293
Μάρτιος	31	14,438	123,28	3,977	11,61	0,9369	0,8017	9044	59	3344	7034	46	2081
Απρίλιος	30	12,178	160,02	5,334	15,54	0,9219	0,7889	5873	39	2821	4518	30	1755
Μάιος	31	11,968	196,43	6,336	19,66	0,9063	0,7755	4864	32	2772	3783	25	1725
Ιούνιος	30	12,470	214,36	7,145	24,90	0,8864	0,7585	4669	31	2888	3592	24	1797
Ιούλιος	31	14,224	218,81	7,058	27,83	0,8753	0,7490	5374	35	3294	4180	28	2050
Αύγουστος	31	14,165	198,69	6,409	27,80	0,8754	0,7491	5893	39	3281	4583	30	2041
Σεπτέμβριος	30	12,174	159,83	5,328	24,13	0,8893	0,7610	6094	40	2820	4688	31	1754
Οκτώβριος	31	11,965	110,3	3,558	19,07	0,9085	0,7774	8639	57	2771	6719	44	1724
Νοέμβριος	30	12,512	68,45	2,282	14,49	0,9259	0,7923	14046	92	2898	10804	71	1803
Δεκέμβριος	31	14,751	58,42	1,885	11,39	0,9377	0,8024	19483	127	3417	15153	99	2126
Έτος	365	4951	1652,37	4,527	18,06	Μέγιστο		19483	127	3724	15153	99	2317

Οπότε προσαυξάνοντας τη στέγη προς κάθε πλευρά κατά 0,85 m ως προς τον άξονα A-Δ και φτάνοντας σε διάσταση 16,0 m (=13,3+2·1,35 πρόβολος/γείσο) και κατά 0,50 m ως προς τον άξονα B-N και φτάνοντας σε διάσταση 9,60 m (=7,6+2·1,00 πρόβολος/γείσο) δύνανται να τοποθετηθούν Sxp154Q 16(=[16000/996]) κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας A-Δ) και 8(>[9600/1046]) κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας B-N) με τρεις διαδρόμους 41 cm έκαστος, συνολικά 128(=16·8) πλαίσια, συνολικής ισχύος 19712 W, όπως φαίνεται ενδεικτικά στο σχήμα 4.9.

Εναλλακτικά στην αρχικά προτεινόμενη στέγη του οικίσκου σύμφωνα με τα όσα έχουν προαναφερθεί δύνανται να τοποθετηθούν 100 πλαίσια Sxp154L των 154 W, με τα οποία επιτυγχάνεται αυτονομία 4 ημερών με χρήση συστήματος συσσωρευτών 110 V dc χωρητικότητας 2317 Ah (πρακτικά των 2400 Ah), όπως φαίνεται ενδεικτικά στο σχήμα 4.10.



**Σχήμα 4.9:** Επέκταση στέγης και χωροθέτηση 128 φωτοβολταϊκών πανέλων τύπου Sxp154Q της Solbian [Ε37], 16 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 8 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) με τρεις διαδρόμους 41 cm έκαστος, συνολικής ισχύος 19712 W.



**Σχήμα 4.10:** Επέκταση στέγης και χωροθέτηση 100 φωτοβολταϊκών πανέλων τύπου Sxp154L της Solbian [Ε37], 20 κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (άξονας Α-Δ) και 5 κατά μήκος της μικρής πλευράς (άξονας Β-Ν) με δύο διαδρόμους 54 cm έκαστος, συνολικής ισχύος 15400 W.

Η μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας  $V_{NOMINALmax}$  στα άκρα της συστοιχίας είναι ίση με [E16, σελ. 167, σχ. (32)] για  $n_{series}$  πλαίσια σε σειρά που το καθένα έχει τάση ανοικτοκύκλωσης  $V_{OC}$ :

$$V_{NOMINALmax} = 1,15 \cdot n_{series} \cdot V_{OC} \quad (4.33)$$

Η μέγιστη ονομαστική ένταση ρεύματος λειτουργίας  $I_{NOMINALmax}$  που διαρρέει τη συστοιχία προκύπτει από τη σχέση [E9, σελ. 167, σχ. (33)] για κάθε συστοιχία όπου το κάθε πλαίσιο έχει ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ :

$$I_{NOMINALmax} = 1,25 \cdot I_{SC} \quad (4.34)$$

Διευκρινίζεται ότι ο συντελεστής 1,25 βασίζεται στην παραδοχή ότι το πλαίσιο μπορεί να δεχθεί επιπλέον 25% ακτινοβολίας. Αυτό το μέγεθος χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση διόδων, ασφαλειών, διακοπτικών διατάξεων, αναστροφών, διατομής αγωγού από πλευράς βραχυκύκλωσης κτλ.

Η ονομαστική τάση λειτουργίας μέγιστης ισχύος  $V_{NOMINAL}$  που εφαρμόζεται στη συστοιχία είναι τουλάχιστον ίση με:

$$V_{NOMINAL} = n_{series} \cdot V_{MPP} \quad (4.35)$$

Η ονομαστική ένταση ρεύματος λειτουργίας μέγιστης ισχύος  $I_{NOMINAL}$  που διαρρέει τη φωτοβολταϊκή συστοιχία με χρήση της ονομαστικής έντασης ρεύματος λειτουργίας μέγιστης ισχύος υπό συνθήκες STC προκύπτει από τη σχέση:

$$I_{NOMINAL} = 1,25 \cdot I_{MPP} \quad (4.36)$$

Διευκρινίζεται ότι αυτό το μέγεθος χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση της διατομής από πλευράς πτώσης τάσης καλωδίων σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχειοσειρών - μετατροπέων.

Στην περίπτωση των 128 πλαισίων θα μπορούσε να σχηματιστούν 4 συστοιχίες των 32 πλαισίων εν σειρά με μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας  $V_{NOMINALmax} = 846,4$  V, μέγιστο ρεύμα υπό συνθήκες βραχυκύκλωσης  $I_{NOMINALmax} = 11,38$  A, ονομαστική τάση λειτουργίας μέγιστης ισχύος  $V_{NOMINAL} = 582,4$  V, μέγιστο ρεύμα μέγιστης ισχύος  $I_{NOMINAL} = 10,63$  A, οπότε η ονομαστική τάση λειτουργίας της εγκατάστασης ανέρχεται στα 850V. Αν υπάρχει η δυνατότητα λόγω περισσείας ηλιακής ακτινοβολίας +25% να παραχθεί αντίστοιχη ποσότητα ισχύος, τότε η κάθε συστοιχία μπορεί να δώσει 6,16 kW αντί 4,928 kW, οπότε ο αντίστοιχος μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση πρέπει να διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 6,2 kW στα 400 V, 50 Hz, με αλγόριθμο MPP. Εναλλακτικά θα μπορούσαν να σχηματιστούν 8 συστοιχίες των 16 πλαισίων με μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας  $V_{NOMINALmax} = 423,2$  V, μέγιστο ρεύμα υπό συνθήκες βραχυκύκλωσης  $I_{NOMINALmax} = 11,38$  A, ονομαστική τάση λειτουργίας μέγιστης ισχύος  $V_{NOMINAL} = 291,2$  V, μέγιστο ρεύμα μέγιστης ισχύος  $I_{NOMINAL} = 10,63$  A, οπότε η ονομαστική τάση λειτουργίας της εγκατάστασης ανέρχεται στα 430V, ενώ η ένταση του ρεύματος δεν μεταβάλλεται, αλλά διπλασιάζεται το πλήθος των παράλληλων κλάδων. Αν υπάρχει η δυνατότητα λόγω περισσείας ηλιακής

ακτινοβολίας +25% να παραχθεί αντίστοιχη ποσότητα ισχύος, τότε η κάθε συστοιχία μπορεί να δώσει 3,08 kW αντί 2,464 kW, οπότε ο αντίστοιχος μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση πρέπει να διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 3,1 kW με στα 400 V, 50 Hz, με αλγόριθμο MPP. Στην περίπτωση των 100 πλαισίων θα μπορούσε να σχηματιστούν 5 συστοιχίες των 20 πλαισίων εν σειρά με μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας  $V_{NOMINALmax} = 575$  V, μέγιστο ρεύμα υπό συνθήκες βραχυκύκλωσης  $I_{NOMINALmax} = 11,38$  A, ονομαστική τάση λειτουργίας μέγιστης ισχύος  $V_{NOMINAL} = 364$  V, μέγιστο ρεύμα μέγιστης ισχύος  $I_{NOMINAL} = 10,63$  A, οπότε η ονομαστική τάση λειτουργίας της εγκατάστασης ανέρχεται στα 600 V. Αν υπάρχει η δυνατότητα λόγω περίσσειας ηλιακής ακτινοβολίας +25% να παραχθεί αντίστοιχη ποσότητα ισχύος, τότε η κάθε συστοιχία μπορεί να δώσει 3,85 kW αντί 3,080 kW, οπότε ο αντίστοιχος μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση πρέπει να διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 3,9 kW στα 400 V, 50 Hz, με αλγόριθμο MPP.

#### 4.4.3. Υπολογισμός γήρανσης συσσωρευτή σε σχέση με τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης

Για να προσδιοριστεί η οικονομική βιωσιμότητα του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά και συσσωρευτές, πρέπει να υπολογιστεί η περίοδος απόσβεσης  $T$ . Για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λόγω του περιβάλλοντος χώρου (θάλασσα – αρμύρα κτλ.) θεωρείται ότι η αντίστοιχη περίοδος απόσβεσης κεφαλαίου ανέρχεται στα 10 έτη (έναντι των κλασικών φωτοβολταϊκών πλαισίων που λαμβάνεται από 15 ως 30 έτη). Για τους συσσωρευτές χρειάζεται να γίνει η αντίστοιχη ανάλυση λειτουργίας τους, προκειμένου να προσδιοριστούν οι κύκλοι φόρτισης – εκφόρτισης και η υποβάθμιση της χωρητικότητάς τους κατά  $\gamma_a$ , που ουσιαστικά μειώνει τη διάρκεια ζωής τους [E58-E59]. Στην απλοποιημένη μορφή με χρήση της χρονικής διάρκειας ζωής του κατασκευαστή  $T_{bat\_life}$  (π.χ. 10 με 20 έτη με τυπική τιμή τα 15 έτη για συσσωρευτές λιθίου [E58], 5 με 20 έτη για μόλυβδου - θειικού οξέος με τυπικές τιμές τα 5 με 7 έτη [E60- E61], 10 με 20 έτη με τυπική τιμή τα 15 έτη για Ni-Cd και Ni-MH [E62-E63]) και της σχέσης κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  και του βάθους εκφόρτισης  $DoD$ , θεωρώντας περιορισμένη τη διακύμανση της θερμοκρασίας λόγω του καλά θερμομονωμένου, κλιματιζόμενου χώρου γύρω από τους 20°C, προσδιορίζονται οι συνιστώσες των στατικών απωλειών  $\gamma_s$  και των δυναμικών απωλειών  $\gamma_d$  ως εξής [E58]:

$$\gamma_s = \frac{1}{T_{bat\_life} [years]} \quad (4.37)$$

$$\gamma_d = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N_D} \quad (4.38)$$

Όπου  $N_D$  είναι ο μέγιστος αριθμός κύκλων που επιτρέπεται για την πραγματική απομένουσα χωρητικότητα. Με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων η σχέση μεταξύ κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  και του βάθους εκφόρτισης  $DoD$  εκφράζεται μέσω μίας εκθετικής συνάρτησης [E64] ή διπλο-εκθετικής συνάρτησης [E58]:

$$N_D = a \cdot \exp(-b \cdot DoD) : a, b > 0 \quad (4.39)$$

$$N_D = a_1 \cdot \exp(-b_1 \cdot DoD) + a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot DoD) : \quad (4.40)$$

$$a_1, b_1, a_2, b_2 > 0$$



Όπου  $a, b, a_1, b_1, a_2, b_2$ , παράμετροι προς προσδιορισμό.

Εναλλακτικά κατά το [E16, σελ. 416] μπορεί να θεωρηθεί το γινόμενο των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  και του βάθους εκφόρτισης  $DoD$  σταθερό και ίσο με  $V_{ND} \cdot DoD$  με ενδεικτικές τιμές 400÷1000 για συσσωρευτές λιθίου [E58], 1200 ÷1500 για VLRA, 2500 για Ni-Cd και Ni-MH:

$$N_D \cdot DoD = V_{N_D, DoD} \quad (4.41)$$

Στην πραγματικότητα από τις σχετικές πειραματικές τιμές η τιμή  $V_{ND, DoD}$  μεταβάλλεται πιο ομαλά και γραμμικά από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  σε σχέση με βάθος εκφόρτισης  $DoD$ , οπότε μπορεί να προσεγγιστεί ο τελευταίος ως εξής:

$$N_D \cdot DoD = V_{N_D, DoD}(DoD) = c + d \cdot DoD \Rightarrow N_D = \frac{c}{DoD} + d \quad (4.42)$$

Όπου  $c, d$  παράμετροι προς προσδιορισμό.

Εναλλακτικά η σχέση μεταξύ κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  και του βάθους εκφόρτισης  $DoD$  μπορεί να εκφραστεί ως την κατάλληλη δύναμη της  $DoD$ , δηλαδή:

$$N_D = e \cdot DoD^{-f} \quad (4.43)$$

Όπου  $e, f$  παράμετροι προς προσδιορισμό.

Ενδεικτικά για έναν συσσωρευτή οξέος μόλυβδου διατίθενται τα εξής στοιχεία μεταξύ κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης  $N_D$  και του βάθους εκφόρτισης  $DoD$  [E17, πιν. 6.7]: (18000, 10%), (8100, 20%), (5200, 30%), (3750, 40%), (2800, 50%), (2200, 60%), (1800, 70%), (1500, 80%). Οπότε από την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκύπτουν οι ακόλουθες αντίστοιχες σχέσεις των (4.39), (4.42) και (4.43):

$$N_D = 17015 \cdot \exp(-3,308 \cdot DoD) \quad (4.44)$$

$$N_D = \frac{1822,9}{DoD} - 811,9 \quad (4.45)$$

$$N_D = 12017 \cdot DoD^{-1,189} \quad (4.46)$$

Αν εφαρμοστούν τα κριτήρια του μέσου τετραγωνικού σφάλματος  $J$  και του συντελεστή συσχέτισης  $r$  για  $n_d$  μετρήσεις:

$$J = \frac{1}{n_d} \cdot \sum_{i=1}^{n_d} (N_D - N_{D,real})^2 \quad (4.47)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n_d} (N_D - \overline{N_D}) \cdot (N_{D,real} - \overline{N_{D,real}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_d} (N_D - \overline{N_D})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n_d} (N_{D,real} - \overline{N_{D,real}})^2}} \quad (4.48)$$

Προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές ( $J, r$ ) για την εκθετική συνάρτηση της (4.44) (4500224, 0,94905), για την υπερβολική συνάρτηση της (4.45) (48500, 0,99960), για τη συνάρτηση

δύναμης της (4.46) (49540, 0,99972), δηλαδή η εκθετική συνάρτηση παρουσιάζει χειρότερα αποτελέσματα, ενώ οι άλλες δύο πρακτικά ισοδύναμα αποτελέσματα. Αν τα αποτελέσματα επεκταθούν προς χαμηλότερους βαθμούς εκφόρτισης, τότε τα αντίστοιχα αποτελέσματα είναι (300149, 0,825373), (32333, 0,99995) και (33027, 0,997163), οπότε φαίνεται ότι η υπερβολική συνάρτηση πλεονεκτεί ελαφρώς όλων των άλλων συναρτήσεων.

Οπότε η ετήσια υποβάθμιση χωρητικότητας για το  $j$ -ιοστό έτος υπολογίζεται [Ξ58]:

$$\gamma_{\alpha-j} = \gamma_s + \gamma_{d-j} = \frac{1}{T_{bat\_life}[years]} + \sum_{i=1}^{n_j} \frac{1}{N_D} \quad (4.49)$$

Όπου  $n_j$  είναι ο αριθμός των κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων των συσσωρευτών για το  $j$ -ιοστό έτος.

Ο συσσωρευτής θα φτάσει θεωρητικά στη συνθήκη απόσυρσης του, όταν η απώλεια ζώης ενέργειας φτάσει στο 100% μετά από  $T_B$  έτη λειτουργίας με τους αντίστοιχους κύκλους λειτουργίας [Ξ58]:

$$\sum_{j=1}^{T_B} \gamma_{\alpha-j} = 100\% \quad (4.50)$$

Επιπρόσθετα η ετήσια απομένουσα χωρητικότητα  $C_j$  για το  $j$ -ιοστό έτος του συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C^{nom}$  υπολογίζεται [Ξ58]:

$$C_j = \begin{cases} C^{nom}, & j = 1 \\ C^{nom} \cdot \prod_{k=2}^j (1 - \gamma_{\alpha-(k-1)}), & j > 1 \end{cases} \quad (4.51)$$

Εναλλακτικά επειδή κάθε ημέρα γίνεται ένας ολοκληρωμένος κύκλος, η ημερήσια υποβάθμιση χωρητικότητας για τη  $j'$ -ιοστή ημέρα υπολογίζεται:

$$\gamma_{\alpha-j'} = \gamma_s + \gamma_{d-j'} = \frac{1}{T_{bat\_life}[days]} + \frac{1}{N_{D-j'}} \quad (4.52)$$

Ο συσσωρευτής θα φτάσει θεωρητικά στη συνθήκη απόσυρσης του, όταν η απώλεια ζώης ενέργειας φτάσει στο 100% μετά από  $N_B$  ημέρες λειτουργίας:

$$\sum_{j'=1}^{N_B} \gamma_{\alpha-j'} = 100\% \quad (4.53)$$

Επιπρόσθετα η ημερήσια απομένουσα χωρητικότητα  $C_{j'}$  για τη  $j'$ -ιοστή ημέρα του συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C^{nom}$  υπολογίζεται:

$$C_{j'} = \begin{cases} C^{nom}, & j' = 1 \\ C^{nom} \cdot \prod_{k=2}^{j'} (1 - \gamma_{\alpha-(k-1)}), & j' > 1 \end{cases} \quad (4.54)$$

#### 4.4.4. Προτεινόμενη διαδικασία προσομοίωσης αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Από πλευράς λειτουργίας του συσσωρευτή η αποθηκευμένη ενέργεια  $E(t)$  για τη χρονική στιγμή  $t$  διαμορφώνεται σε σχέση με την προηγούμενη χρονική στιγμή ( $t-1$ ) που απέχει χρονικό διάστημα  $dt$  είτε από τη φάση φόρτισης με ισχύ φόρτισης  $P_{ch}(t)$  με συντελεστή απόδοσης φόρτισης  $n_{ch}$ , είτε από τη φάση εκφόρτισης με ισχύ εκφόρτισης  $P_{dis}(t)$  με συντελεστή απόδοσης φόρτισης  $n_{dis}$ , λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή μείωσης ενέργειας συσσωρευτή  $n_r$  (π.χ. 0,35% ως 2,5% της ενέργειας το μήνα για συσσωρευτή λιθίου, 2% με 20% της ενέργειας το μήνα για συσσωρευτή μόλυβδου - θειικού οξέος, 10% με 20% για συσσωρευτή νικελίου-καδμίου, ως 3% για συσσωρευτή νικελίου-μετάλλων):

$$\text{Φάση φόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) + n_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot dt \quad (4.55)$$

$$\text{Φάση εκφόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) - \frac{P_{dis}(t)}{n_{dis}} \cdot dt \quad (4.56)$$

$$\text{Φάση μη λειτουργίας: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) \quad (4.57)$$

Υπό τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος:} \quad P_{ch}(t) + P_{load}(t) + P_{add}(t) = P_{dis}(t) + P_{PV}(t) + P_{LOE}(t) \quad (4.58)$$

$$\text{Ύπαρξη μίας φάσης φόρτισης / εκφόρτισης / μη λειτουργίας: } P_{dis}(t) \cdot P_{ch}(t) = 0 \quad (4.59)$$

$$\text{Περιορισμοί ισχύος κατά τη φάση φόρτισης:} \quad 0 \leq P_{ch}(t) \leq P_{ch-max} \quad (4.60)$$

$$\text{Περιορισμοί ισχύος κατά τη φάση εκφόρτισης:} \quad 0 \leq P_{dis}(t) \leq P_{dis-max} \quad (4.61)$$

$$\text{Όρια λειτουργίας συσσωρευτή:} \quad 0 \leq SoC_{min} \cdot C_{j'} \cdot V_{j'}(t) \leq E(t) \leq SoC_{max} \cdot C_{j'} \cdot V_{j'}(t) \quad (4.62)$$

$$\text{Ορισμός βαθμού φόρτισης - βάθους εκφόρτισης:} \quad SoC = 1 - DoD = \frac{E(t)}{C^{nom} \cdot V^{nom}} \quad (4.63)$$

$$\text{Περιορισμός απωλεσθείσας παραγόμενης ισχύος από Φ/Β: } P_{add}(t) \cdot u(SoC_{max} \cdot C_{j'} \cdot V_{j'}(t) - E(t)) = 0 \quad (4.64)$$

$$\text{Απωλεσθείσα ενέργεια λόγω πλεονάζουσας παραγωγής} \quad \Phi/B: E_{add} = \sum_{t=1}^T P_{add}(t) \cdot dt \quad (4.65)$$

$$\text{Περιορισμός μη εξυπηρετούμενης ισχύος από Φ/Β και συσσωρευτή: } P_{LOE}(t) \cdot u(E(t) - SoC_{min} \cdot C_{j'} \cdot V_{j'}(t)) \geq 0 \quad (4.66)$$

$$\text{Μη εξυπηρετούμενη ενέργεια από Φ/Β και συσσωρευτή:} \quad E_{LOE} = \sum_{t=1}^T P_{LOE}(t) \cdot dt \quad (4.67)$$

Όπου η παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά πάνελα είναι ίση με  $P_{PV}(t)$  που καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία της αντίστοιχης περιόδου και ώρα της ημέρας, η ζητούμενη ισχύς από τα φορτία είναι ίση με  $P_{load}(t)$ , που εξαρτάται από την εξωτερική

θερμοκρασία, η απωλεσθείσα ισχύς λόγω παραγόμενης ισχύος από τα φωτοβολταϊκά σε περίπτωση πλήρους φόρτισης συσσωρευτή είναι ίση με  $P_{add}(t)$ , που το ολοκλήρωμά της στο πεδίο του χρόνου δίνει την αντίστοιχη ενέργεια  $E_{add}$ , η μη εξυπηρετούμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και το συσσωρευτή σε περίπτωση ελάχιστου βάθους φόρτισης συσσωρευτή και μη κάλυψης φορτίου από τα Φ/Β είναι ίση με  $P_{LOE}(t)$ , που το ολοκλήρωμά της στο πεδίο του χρόνου δίνει την αντίστοιχη ενέργεια  $E_{LOE}$ , το επίπεδο φόρτισης συσσωρευτή  $SoC(t)$  (state of charge) συνδέεται με το βάθος εκφόρτισής του  $DoD(t)$  (depth of discharge) μονοσήμαντα, εκφράζοντας ουσιαστικά το ποσοστό του αποθηκευμένου φορτίου ως προς την ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή, δηλαδή της αποθηκευμένης ενέργειας  $E(t)$  ως προς την ονομαστική αποθηκευμένη ενέργεια, που υπολογίζεται από το γινόμενο της ονομαστικής χωρητικότητας  $C^{nom}$  επί την αντίστοιχη τάση πλήρους φόρτισης  $V^{nom}$ , η ημερήσια απομένουσα χωρητικότητα  $C'$  του συσσωρευτή για τη  $j$ -ιοστή ημέρα συνδέεται μέσω της αντίστοιχης τάσης στα άκρα του  $V_j(t)$  κατά την αντίστοιχη χρονική στιγμή με τη μέγιστη αποθηκευμένη ενέργεια  $E(t)$  που περιέχει ο συσσωρευτής μέσω των αντίστοιχων περιορισμών επιπέδων φόρτισης του – ελάχιστο  $SoC_{min}$  και μέγιστο  $SoC_{max}$  (π.χ. για συσσωρευτή ιόντων λιθίου 15% και 100%, μόλυβδου - θειικού οξέος 20% και 95%, NiMH 0% και 100%), η μέγιστη ισχύς κατά τη φόρτιση  $P_{ch-max}$  καθορίζεται από τα ονομαστικά μεγέθη του φορτιστή και τα επιτρεπόμενα ρεύματα του συσσωρευτή, π.χ. σε συσσωρευτές οξέος μόλυβδου κυμαίνεται από 1% ως 500% του ονομαστικού ρεύματος εκφόρτισης σε 10 ώρες, η μέγιστη ισχύς κατά τη εκφόρτιση  $P_{dis-max}$  καθορίζεται από τα ονομαστικά μεγέθη του μετατροπέα, τη ζητούμενη ισχύ φορτίου και τα επιτρεπόμενα ρεύματα του συσσωρευτή, όπου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή σε περίπτωση μεταβολής της χωρητικότητας συσσωρευτή με βάση την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης, αν και στην παρούσα περίπτωση λόγω συσσωρευτή επάρκειας ενέργειας για 4 με 10 ημέρες, προκύπτει ότι η μέση ένταση ρεύματος εκφόρτισης αντιστοιχεί σε καμπύλη χωρητικότητας 100 ωρών τουλάχιστον, που συνήθως είναι και η ονομαστική. Η συνάρτηση  $u(x)$  είναι η γνωστή βηματική.

#### 4.4.5. Προσδιορισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόνομο φωτοβολταϊκό σταθμό κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου

Προκειμένου να γίνει η προσέγγιση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε χρονικό βήμα  $\Delta t$  με δεδομένα την τελική μηνιαία ακτινοβολία  $H'_{m-panel}$  σε συγκεκριμένες γωνίες τοποθέτησης και σκίασης του φωτοβολταϊκού πάνελου, από τη σχέση (4.13) εκφράζεται η ημερήσια πορεία της θέσης του ήλιου για την εκάστοτε τυπική ημέρα του μήνα που ορίζει την ηλιακή απόκλιση  $\delta$  από τη σχέση (4.9), και μέσω του αντίστοιχου ολοκληρώματος ως προς τις ηλιακές ωριαίες γωνίες ανατολής  $\omega_A$  ( $=-\omega_M$ ) και δύσης του ήλιου  $\omega_M$  μέσω της σχέσης (4.15), της έντασης ηλιακής ενέργειας της αντίστοιχης μέρας του μήνα  $I_{o-mday}$ , του πλήθους ημερών μήνα  $m_{day}$  προσεγγίζεται η τελική ημερήσια ακτινοβολία  $H'_{m-panel-day}$  ως εξής:

$$H'_{m-panel-day} = \frac{H'_{m-panel}}{m_{day}} = I_{o-mday} \cdot \int_{\omega_A}^{\omega_M} (\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega) \cdot d\omega \quad (4.68)$$

Όπου, αν τεθούν ότι:

$$\alpha = I_{o\text{-mday}} \cdot \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (4.69)$$

$$\beta = I_{o\text{-mday}} \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi \quad (4.70)$$

Τότε υπολογίζεται ότι:

$$(4.69) / (4.70) \Rightarrow \alpha = \beta \cdot \tan \delta \cdot \tan \varphi \quad (4.71)$$

(4.69) και (4.70) σε (4.68)

$$\Rightarrow H'_{m\text{-panel-day}} = \int_{-\omega_{\Delta}}^{\omega_{\Delta}} (\alpha + \beta \cdot \cos \omega) \cdot d\omega = \alpha \cdot 2 \cdot \omega_{\Delta} + \beta \cdot 2 \cdot \sin \omega_{\Delta} \quad (4.72)$$

$$(4.71) \text{ σε } (4.72) \Rightarrow \beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{H'_{m\text{-panel-day}}}{\sin \omega_{\Delta} + \omega_{\Delta} \cdot \tan \delta \cdot \tan \varphi} \quad (4.73)$$

Οπότε σε περίπτωση που είναι επιθυμητή η διακριτοποίηση της ημερήσιας ενέργειας σε επιμέρους χρονικά διαστήματα εύρους  $\Delta t$  (στην παρούσα περίπτωση τρίωρα) που σχετίζονται με αντίστοιχες ηλιακές ωριαίες γωνίες (στην παρούσα περίπτωση  $45^\circ$ ), τότε η αντίστοιχη συμμετοχή προσδιορίζεται μέσω της τελικής ακτινοβολίας  $H'_{m\text{-panel-day}}$  της τυπικής ημέρας στο χρονικό διάστημα  $(t, t+\Delta t)$  και του συντελεστή  $f_{Hmday}(t, t+\Delta t)$  ως εξής:

$$H'_{m\text{-panel-day}}(t, t+\Delta t) = I_{o\text{-mday}} \cdot \int_{\omega(t)}^{\omega(t+\Delta t)} (\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega) \cdot d\omega = \int_{\omega(t)}^{\omega(t+\Delta t)} (\alpha + \beta \cdot \cos \omega) \cdot d\omega \Rightarrow$$

υπό συνθήκες  $-\omega_{\Delta} \leq \omega(t) \leq \omega_{\Delta}, -\omega_{\Delta} \leq \omega(t+\Delta t) \leq \omega_{\Delta}$ :

$$H'_{m\text{-panel-day}}(t, t+\Delta t) = \alpha \cdot (\omega(t+\Delta t) - \omega(t)) + \beta \cdot (\sin(\omega(t+\Delta t)) - \sin(\omega(t))) \quad (4.74)$$

$$f_{Hmday}(t, t+\Delta t) = \frac{H'_{m\text{-panel-day}}(t, t+\Delta t)}{H'_{m\text{-panel-day}}} \quad (4.75)$$

$$= \frac{\tan \delta \cdot \tan \varphi \cdot (\omega(t+\Delta t) - \omega(t)) + (\sin(\omega(t+\Delta t)) - \sin(\omega(t)))}{2 \cdot (\tan \delta \cdot \tan \varphi \cdot \omega_{\Delta} + \sin \omega_{\Delta})} \geq 0$$

Οπότε στην παρούσα περίπτωση οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή  $f_{Hmday}(t, t+\Delta t)$  για τρίωρα για τους 12 μήνες του έτους καταγράφονται στον πίνακα 4.4.

**Πίνακας 4.4:** Προσδιορισμός πολλαπλασιαστικού συντελεστή  $f_{Hmday}(t, t+\Delta t)$  τελικής τρίωρης ηλιακής ακτινοβολίας ως προς την τελική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία τυπικής ημέρας μήνα προς διαμόρφωση κβαντισμένων τρίωρων επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας.

Μήνας	Τυπική ημέρα DoY	Συντελεστές			Ηλιακή ώρα			
		$\alpha / I_{o\text{-mday}}$	$\beta / I_{o\text{-mday}}$	Μέγιστη τιμή ( $\alpha+\beta$ ) / $I_{o\text{-mday}}$	12:00-15:00 ή 9:00-12:00	15:00-18:00 ή 6:00-9:00	18:00-21:00 ή 3:00-6:00	21:00-24:00 ή 0:00-3:00
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Ιανουάριος	15	-0,264348	0,874992	0,610645	0,411095	0,088905	0,000000	0,000000
Φλεβάρης	46	-0,125742	0,685957	0,560215	0,386288	0,113712	0,000000	0,000000
Μάρτιος	74	-0,020311	0,531517	0,511206	0,359887	0,140113	0,000000	0,000000
Απρίλιος	105	0,053163	0,413104	0,466267	0,333863	0,162749	0,003388	0,000000
Μάιος	135	0,091095	0,344943	0,436038	0,315457	0,172577	0,011966	0,000000
Ιούνιος	166	0,105764	0,316209	0,421973	0,306660	0,175682	0,017657	0,000000
Ιούλιος	196	0,100172	0,327374	0,427546	0,310163	0,174561	0,015276	0,000000
Αύγουστος	227	0,072280	0,379636	0,451916	0,325212	0,167962	0,006826	0,000000
Σεπτέμβριος	258	0,014339	0,477263	0,491602	0,348738	0,151049	0,000213	0,000000
Οκτώβριος	288	-0,081787	0,623096	0,541309	0,376360	0,123640	0,000000	0,000000
Νοέμβριος	319	-0,219714	0,815339	0,595625	0,403969	0,096031	0,000000	0,000000
Δεκέμβριος	349	-0,315457	0,942198	0,626742	0,418476	0,081524	0,000000	0,000000

#### 4.4.6. Αλγόριθμος προσδιορισμού διάρκειας ζωής συσσωρευτή

Προκειμένου να γίνει ο προσδιορισμός της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή πρακτικά, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- ◆ Δίνονται τα βασικά στοιχεία του αυτόνομου συστήματος, όπως ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή, τάση συσσωρευτή, το πλήθος και το εμβαδόν φωτοβολταϊκών πανέλων, κτλ.
- ◆ Επιλέγεται μία ημέρα από τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα ως ημέρα έναρξης της μελέτης, όπου γίνονται κατάλληλες αρχικοποιήσεις, π.χ. αρχική ενέργεια συσσωρευτή στο 80% της ονομαστικής του κτλ.:

- Για την τρέχουσα ημέρα υπολογίζεται σε χρονικά βήματα  $\Delta t$  η παραγόμενη τελική ακτινοβολία  $H'_{m-panel-day}(t, t+\Delta t)$  μέσω της σχέσης (4.75) και από αυτήν η παραγόμενη ισχύς των φωτοβολταϊκών πανέλων ως εξής:

$$E_{PV}(t, t+\Delta t) = P_{PV}(t) \cdot \Delta t = \sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Gamma\Gamma} \cdot \sigma_{conv} \cdot \sigma_{PV} \cdot f_{Hmday}(t, t+\Delta t) \cdot H'_{m-panel-day} \cdot N_{panel} \cdot A_{panel} \quad (4.76)$$

$$\text{Υπό συνθήκη: } P_{PV}(t) \geq P_{PVmin} \quad (4.77)$$

Όπου  $\sigma_{conv}$  είναι ο συντελεστής του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (τυπικά 0,92),  $\sigma_{PV}$  ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων (τυπικά 0,147 για Sxp154Q),  $A_{panel}$  το εμβαδόν του φωτοβολταϊκού πλαισίου (1,041816 m<sup>2</sup> για Sxp154Q),  $N_{panel}$  το πλήθος των πλαισίων (100 ή 128),  $P_{PVlim}$  είναι το κάτω όριο ισχύος λειτουργίας πλαισίου (στην παρούσα περίπτωση αντιστοιχεί σε 200 W/m<sup>2</sup> ηλιακής ακτινοβολίας).

- Σε κάθε χρονικό βήμα  $\Delta t$  υπολογίζεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια από πλευράς φορτίου σε συνδυασμό με την αντίστοιχη θερμοκρασία  $T(t, t+\Delta t)$  μέσω γραμμικών παρεμβολών, ως εξής:

$$E_{load}(t, t+\Delta t) = P_{load}(t, T(t, t+\Delta t)) \cdot \Delta t \quad (4.78)$$

- Σε κάθε χρονικό βήμα  $\Delta t$  υπολογίζεται αν πρόκειται για φάση φόρτισης ή εκφόρτισης μέσω της ανίσωσης:

$$\text{Αν } E_{PV}(t, t+\Delta t) \geq E_{load}(t, t+\Delta t), \text{ τότε φάση φόρτισης, αλλιώς φάση εκφόρτισης / μη λειτουργίας συσσωρευτή} \quad (4.79)$$

Κατά τη φάση φόρτισης εφαρμόζονται οι σχέσεις (4.58), (4.60), (4.62), (4.64) και (4.65) θέτοντας  $P_{dis}(t)=P_{LOB}(t)=0$ , ενώ ο βαθμός φόρτισης συσσωρευτή  $n_{ch}$  ανέρχεται τυπικά 0,92. Κατά τη φάση εκφόρτισης εφαρμόζονται οι σχέσεις (4.58), (4.61), (4.62), (4.66) και (4.67) θέτοντας  $P_{ch}(t)=P_{add}(t)=0$ , ενώ ο βαθμός εκφόρτισης συσσωρευτή  $n_{dis}$  ανέρχεται τυπικά 0,92. Πρόσθετα χρησιμοποιούνται στοιχεία του συσσωρευτή, όπως ο βαθμός μείωσης της ενέργειας του συσσωρευτή  $n_r$ , οι περιορισμοί φόρτισης συσσωρευτή  $SoC_{min}$ ,  $SoC_{max}$ , οι περιορισμοί μέγιστης ισχύος συσσωρευτή κατά τη φόρτιση  $P_{ch-max}$  (π.χ. για VLRA χωρητικότητας 3800 Ah / 110 V dc προκύπτει με 500% ονομαστικό ρεύμα της 10 h εκφόρτισης, με μειωμένη απόδοση έναντι των 100 h στο 70% ένταση ρεύματος 1330 A ή 146,3 kW) και κατά τη εκφόρτιση  $P_{dis-max}$  (π.χ. για VLRA χωρητικότητας 3800 Ah/110 V dc προκύπτει με 100% ονομαστικό ρεύμα της 100 h εκφόρτισης τιμή 38 A ή 4,18 kW). Σημειώνεται ότι λόγω των τριών χρονικών διαστημάτων χρησιμοποιείται

πρακτικά η μέση ισχύς και όχι η μέγιστη ισχύς φορτίου που μπορεί να εμφανιστεί για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα παραλείποντας τις διαφορετικές καμπύλες εκφόρτισης συσσωρευτή για διαφορετικά φορτία.

- Στο τέλος της τρέχουσας ημέρας προσδιορίζεται ο συντελεστής γήρανσης μέσω των σχέσεων (4.45) και (4.52) και της ημερήσιας απομένουσας χωρητικότητας συσσωρευτή μέσω της σχέσης (4.54) προσδιορίζοντας το βάθος εκφόρτισης μέσω της σχέσης (4.63) με χρήση του μικρότερου επιπέδου ενέργειας συσσωρευτή  $\min\{E(t)\}$  που σημειώθηκε μέσα στο τρέχον 24ώρο.
  - Στο τέλος της τρέχουσας ημέρας γίνεται έλεγχος αν δεν έχει καλυφθεί η ζήτηση φορτίου από πλευράς φωτοβολταϊκών πλαισίων και συσσωρευτή, δηλαδή αν έχει υπάρξει  $P_{LOB}(t) > 0$  ή αν έχει συμπληρωθεί ο μέγιστος χρόνος ζωής του συσσωρευτή μέσω της σχέσης (4.53). Σ' αυτήν την περίπτωση η προηγούμενη μέρα είναι η τελευταία μέρα που επαρκούσε το αυτόνομο σύστημα και προσδιορίζεται ο μέγιστος χρόνος ασφαλούς λειτουργίας ζωής του συστήματος φωτοβολταϊκών πλαισίων - συσσωρευτή! Αν έχει καλυφθεί η ζήτηση, αυξάνεται η τρέχουσα ημέρα κατά ένα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.
- ♦ Αν έχουν εξεταστεί όλες οι ημέρες ως ιστορικά στοιχεία, τότε βρίσκεται η ελάχιστη τιμή εκ των μεγίστων χρόνων χρόνος ασφαλούς λειτουργίας ζωής του συστήματος φωτοβολταϊκών πλαισίων - συσσωρευτή, διαφορετικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία ως ότου εξεταστούν το σύνολο των ημερών, που στην παρούσα περίπτωση είναι 5477 (διαθέσιμες θερμοκρασίες Αθήνας 1985-2000).

#### 4.4.7. Προκαταρκτική μελέτη ανάπτυξης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού

Στον πίνακα 4.5 καταγράφονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των εκτελέσεων του αντίστοιχου αλγορίθμου που αναπτύχθηκε (βλέπε παράρτημα Π.1.3) για δύο βασικά είδη συσσωρευτών, ένα συσσωρευτή AGM VRLA γενικού σκοπού 12 V, 100 Ah, μηνιαίας κατανάλωσης 5%, τυπικής διάρκειας ζωής 6 ετών με καμπύλη κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων – βάθους εκφόρτισης σύμφωνα με τη σχέση (4.60) της Narada με τυπικό κόστος 180€/ τεμάχιο και ένα συσσωρευτή RES SOPzV μακράς διάρκειας ζωής 2 V, 1360 Ah για 120 h, μηνιαίας κατανάλωσης 2%, τυπικής διάρκειας ζωής 10 ετών (αντί των 15 που αναφέρεται στο [52]) με καμπύλη κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων – βάθους εκφόρτισης σύμφωνα με τη μορφή  $N_D=1200/DoD$  της Sunlight με τυπικό κόστος 390€/τεμάχιο. Αντίστοιχα οι χωρητικότητες των συσσωρευτών είναι 3800 Ah και 2400 Ah για ονομαστική τάση συστοιχίας 110 V για επάρκεια 10 και 4 ημερών αντίστοιχα, ενώ ομοίως και το πλήθος των εγκαταστημένων φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L ανέρχονται αντίστοιχα σε 128 ή 100 αντίστοιχα. Επιπλέον καταγράφονται η πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια περιόδου που δεν γίνεται εκμετάλλευσή της, όπως και η αντίστοιχη ημερήσια ενέργεια για την εκάστοτε περίοδο μελέτης.

Επιπλέον καταγράφονται η πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια περιόδου που δεν γίνεται εκμετάλλευσή της, όπως και η αντίστοιχη ημερήσια ενέργεια για την εκάστοτε περίοδο μελέτης.

Από τα αντίστοιχα αποτελέσματα διαπιστώνονται τα εξής:

- ✓ Η αύξηση του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων για τον ίδιο συσσωρευτή οδηγεί σε σημαντική μη γραμμική αύξηση του χρονικού διαστήματος ασφαλούς

λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος φωτοβολταϊκών – συσσωρευτών. Ειδικότερα η αύξηση των 100 Φ/Β πλασίων σε 128, δηλαδή κατά 28%, οδηγεί σε βελτίωση του αντίστοιχου χρόνου από 14% για VRLA 3800 Ah σε 116% για VRLA 2400 Ah.

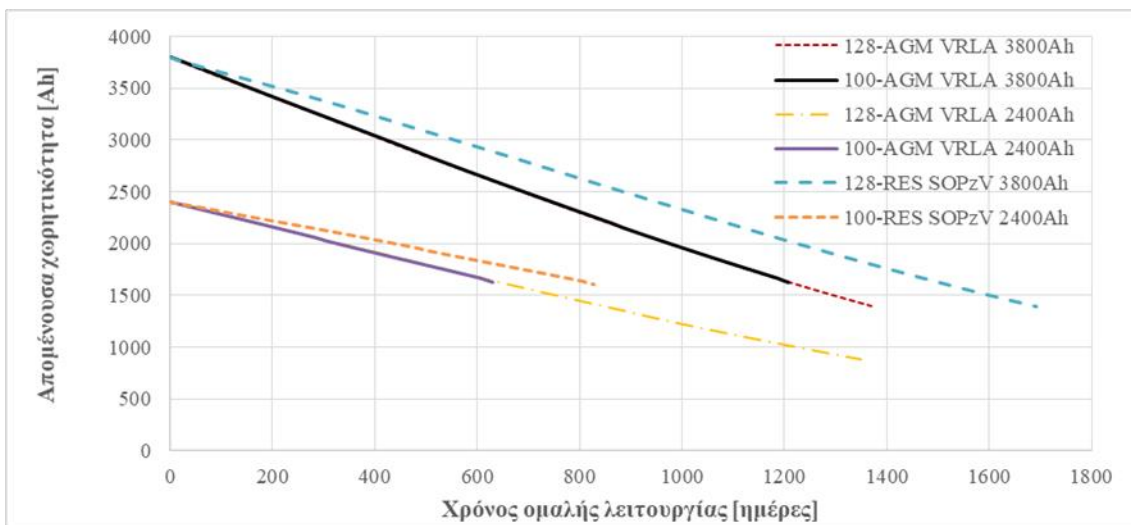
- ✓ Η αύξηση της χωρητικότητας του συσσωρευτή για το ίδιο πλήθος φωτοβολταϊκών πλασίων οδηγεί σε αντίστοιχη μη γραμμική αύξηση του χρονικού διαστήματος ασφαλούς λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος φωτοβολταϊκών – συσσωρευτών. Ειδικότερα η αύξηση της χωρητικότητας από 2400 Ah σε 3800 Ah για AGM VRLA, δηλαδή κατά 58%, οδηγεί σε βελτίωση του αντίστοιχου χρόνου από 4% για 128 Φ/Β πλαίσια σε 93% για 100 Φ/Β πλαίσια
- ✓ Η χρήση συσσωρευτή με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής περιορίζει την επίδραση της γήρανσης, που φαίνεται στα σχήματα 4.12 και 4.13 αυξάνοντας το χρονικό διάστημα ασφαλούς λειτουργίας. Ειδικότερα η μεταβολή του ονομαστικού χρόνου ζωής του συσσωρευτή από 6 σε 10 έτη με αλλαγή τεχνολογίας από AGM VRLA σε AGM VRLA κλειστού τύπου με gel – ειδικά για εφαρμογές ΑΠΕ (RES SOPzV), δηλαδή κατά 67%, οδηγεί σε βελτίωση του αντίστοιχου χρόνου από 23% για 128 Φ/Β πλαίσια με συσσωρευτή χωρητικότητας 3800 Ah σε 32% για 100 Φ/Β πλαίσια με συσσωρευτή χωρητικότητας 2400 Ah.
- ✓ Η αποτυχία λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος 128 Φ/Β πλαίσια ανεξάρτητα χωρητικότητας συσσωρευτή πραγματοποιείται όταν η απομένουσα χωρητικότητα κυμαίνεται στο επίπεδο του 37% της ονομαστικής χωρητικότητας, όπως φαίνεται σε πίνακα 4.5 και σχήμα 4.11. Αντίθετα η αποτυχία λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος 100 Φ/Β πλασίων ανεξάρτητα της χωρητικότητας συσσωρευτή πραγματοποιείται όταν η απομένουσα χωρητικότητα κυμαίνεται στο επίπεδο των 1605÷1630 Ah, δηλαδή πρακτικά σε αρκετά πιο αυξημένο ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας (από 42% ως 67% που είναι πρακτικά διπλάσιο).
- ✓ Υπάρχει μία σημαντική επίδραση στη βελτίωση της απομένουσας χωρητικότητας όσο αυξάνεται το πλήθος των Φ/Β πλασίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12.
- ✓ Η μέση ημερήσια πλεονάζουσα ενέργεια είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερο πλήθος Φ/Β πλασίων (μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ).

Στο [Ξ65] αναφέρεται ότι η διάρκεια της τεχνικής ζωής ενός συσσωρευτή μόλυβδου – θειικού οξέος προκύπτει όταν η απομένουσα χωρητικότητα φθάνει στο 80%, δηλαδή περιορίζοντας τη ζωή του μεταξύ 1,07÷1,09 έτη για το συσσωρευτή τύπου AGM VRLA και 1,41÷1,45 έτη για τύπου RES SOPzV με τις μεγαλύτερες τιμές να διαπιστώνονται για τις μεγαλύτερες χωρητικότητες. Ωστόσο από τα αποτελέσματα των εκτελέσεων του πίνακα 4.5 η διάρκεια ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος είναι σημαντικά υψηλότερη και λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την ολοκλήρωση υπάρχει πάντα ένα 20% ενέργειας για βαθιά εκφόρτιση, που επαρκεί για το μεν συσσωρευτή χωρητικότητας 3800 Ah για 1,6 ημέρα, για το δε συσσωρευτή χωρητικότητας 2400 Ah για 1,0 ημέρα με τη δυσμενέστερη ενέργεια ζήτησης σχεδιασμού γίνεται αποδεκτό να χρησιμοποιηθεί ο χρόνος ασφαλούς λειτουργίας συσσωρευτή ως η τυπική διάρκεια τεχνικής ζωής του εκάστοτε συσσωρευτή με στρογγυλοποίηση και αποκοπή σε πρώτο δεκαδικό ψηφίο, δηλαδή π.χ. τα 6,26 έτη γίνονται 6,2 έτη.

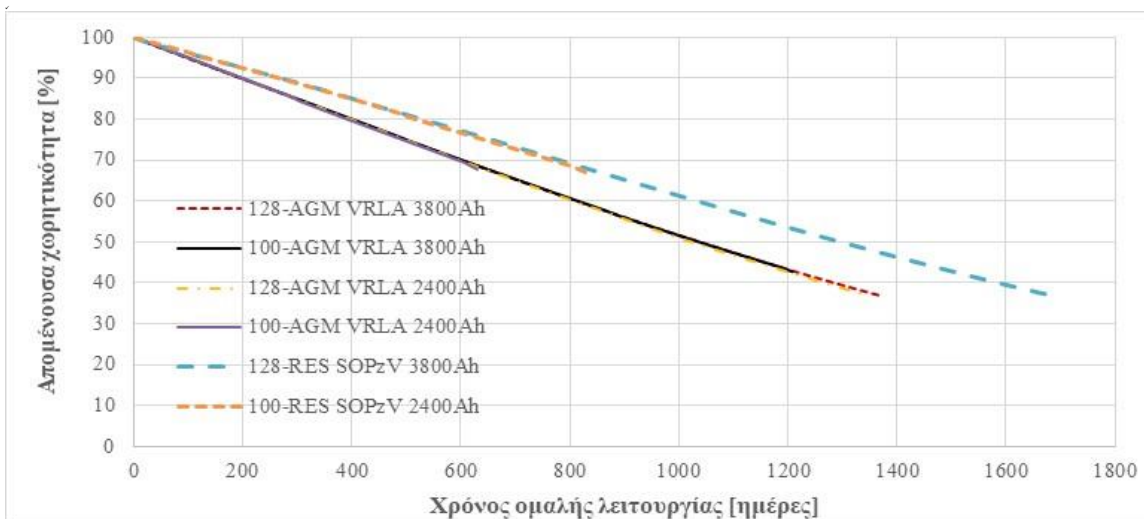


**Πίνακας 4.5:** Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πανέλων Sxp154Q, είδους συσσωρευτή (AGM VRLA ή RES SOPzV) και μεγέθους συσσωρευτή (2400 Ah ή 3800 Ah σε ονομαστική τάση 110 V).\*1 αποκοπή στα 2 δεκαδικά ψηφία

α/α	Πλήθος πλαισίων	Είδος συσσωρευτή	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη] <sup>*1</sup>	Ημέρα έναρξης & λήξης δυσμενέ-στερου σεναρίου [ημέρα - ημέρα]	Απομένουσα χωρητικότητα σε τέλος λειτουργίας $C_T$ [Ah-% ως προς $C_{nom}$ ]	Πρόσθετη ενέργεια περιόδου $E_{add}$ [kWh]	Μέση πρόσθετη ημερήσια ενέργεια $E_{add-day}$ [kWh]
1	128	VRLA	3800	3,75	2167-3536	1396,97 – 36,76%	66701	48,72
2	100	VRLA	3800	3,30	986-2193	1622,00 – 42,68%	39549	32,77
3	128	VRLA	2400	3,69	1280-2626	882,54 – 36,77%	61717	45,78
4	100	VRLA	2400	1,71	1565-2193	1625,88 – 67,74%	23494	37,59
5	128	RES SOPzV	3800	4,63	2167-3857	1396,45 – 36,75%	81128	48,00
6	100	RES SOPzV	2400	2,26	1367-2193	1608,74 – 67,03%	26388	31,95



**Σχήμα 4.11:** Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή σε Ah σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα ομαλής λειτουργίας για το αυτόνομο σύστημα για διάφορους συνδυασμούς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ειδών και χωρητικότητας συσσωρευτών.



**Σχήμα 4.12:** Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή ανηγμένη στην ονομαστική του χωρητικότητα [%] σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα ομαλής λειτουργίας για το αυτόνομο σύστημα για διάφορους συνδυασμούς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ειδών και χωρητικότητας συσσωρευτών.

#### 4.4.8. Οικονομική αξιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού

Για τον υπολογισμό του ισοδύναμου ετήσιου κόστους χρησιμοποιείται η σχέση (4.1) για την αναγωγή των κεφαλαίων μαζί με την εκάστοτε συνιστώσα της συντήρησης, οπότε το ισοδύναμο ετήσιο κόστος είναι ίση με:

$$TC_{annual} = \sum_j (A_{cap,T_j} + c_{fix-j}) = \sum_j \left( C_{cap,j} \cdot \frac{(1+i)^{T_j} \cdot i}{(1+i)^{T_j} - 1} + c_{fix-j} \right) \quad (4.80)$$

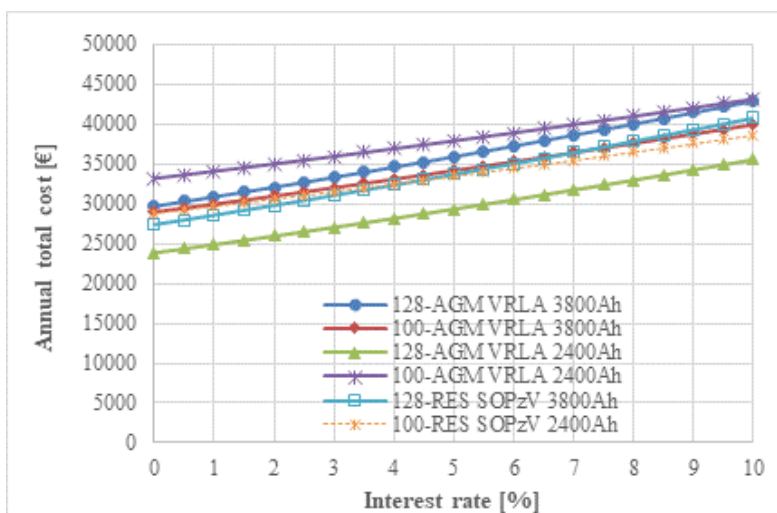
Όπου  $C_{cap,j}$  είναι το  $j$ -ιοστό κεφάλαιο με χρόνο απόσβεσης  $T_j$ ,  $c_{fix-j}$  το αντίστοιχο ποσό συντήρησης. Τα αντίστοιχα κόστη διαμορφώνονται ως εξής:

- ◆ Φωτοβολταϊκά πλαίσια με χρόνο απόσβεσης 10 έτη:
  - Μονάδα 128 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154Q [E37]: 96640 €
  - Μονάδα 100 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E37]: 75500 €
- ◆ Μετατροπείς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ηλεκτρολογικοί πίνακες καλωδιώσεις και λοιπά υλικά (ανέρχονται στο 10% του αρχικού κόστους κατασκευής πλαισίων - μετατροπέων) με χρόνο απόσβεσης 20 έτη:
  - Μονάδα 128 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 10000 TL [E56]: 15761€
  - Μονάδα 100 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 8000 TL [E56]: 12958€
- ◆ Συσσωρευτές με μεταβλητό χρόνο απόσβεσης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας κατά τον πίνακα 4.5 με στρογγυλοποίηση με αποκοπή σε 1<sup>ο</sup> δεκαδικό ψηφίο:
  - Μονάδα συσσωρευτών 108 V - 3800 Ah ενδεικτικού τύπου AGM VRLA Narada 12V 100 Ah C20 με πλήθος τεμαχίων 342 (9 εν σειρά x38 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης/σύνδεσης [E66]: 61560 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 108 V - 2400 Ah ενδεικτικού τύπου AGM VRLA Narada 12V 100 Ah C20 με πλήθος τεμαχίων 216 (9 εν σειρά x24 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης/σύνδεσης [E66]: 38880 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 3800 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 8 SOPzV1360 2 V 1338 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 165 (55 εν σειρά x 3 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [E67]: 66000 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 2400 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 7 SOPzV1100 2 V 1171 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 110 (55 εν σειρά x 2 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [E67]: 40700 €
- ◆ Φορτιστές συσσωρευτών πλήθους 2 της GSA industries (με τριφασική είσοδο 380÷415 V, 50±1 Hz, έξοδο 110 V dc με ρεύμα φόρτισης 200 A τουλάχιστον) μαζί με διπλό σύστημα αυτόματου ελέγχου ειδικής διαμόρφωσης (θέση master-slave για λόγους εφεδρείας) με χρόνο απόσβεσης 20 έτη:
  - Μονάδα συσσωρευτών 108÷110 V - 3800 Ah [E56, E68, E69]: 22000 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 108÷110 V - 2400 Ah [E56, E68, E69]: 18000 €
- ◆ Πρόσθετο κόστος κατασκευής για επέκταση οροφής από 14,3 m x 8,6 m που καλύπτει την εγκατάσταση 100 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L σε 16,0 m x 9,60 m για την εγκατάσταση 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με επιπλέον κόστος κατασκευής των 30,62 m<sup>2</sup> περί των 7000 € με απόσβεση σε 25 έτη.

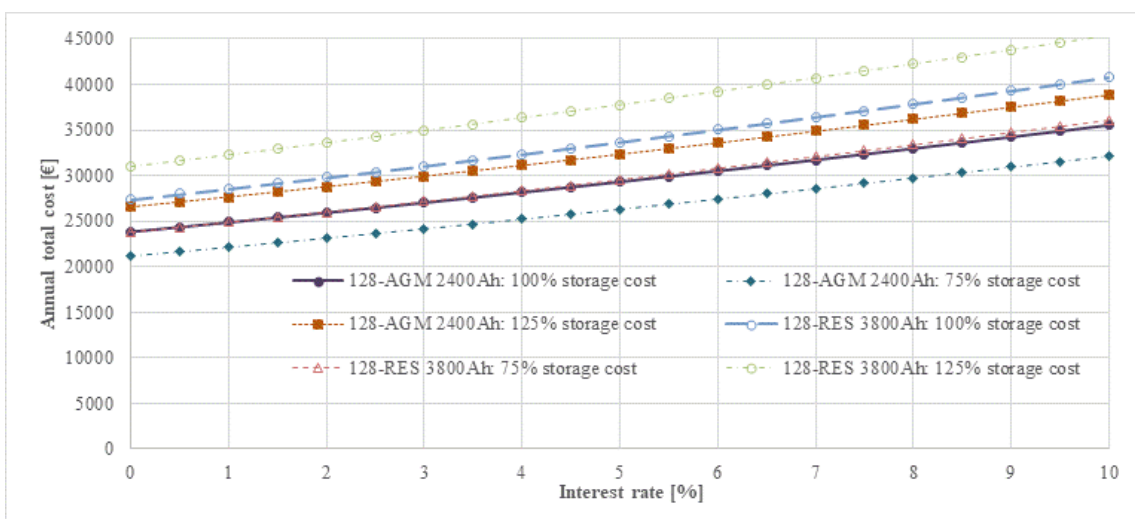
- ♦ Ετήσιο κόστος συντήρησης σε όλες τις περιπτώσεις 1200 €/ έτος (12 μηνιαίες επιθεωρήσεις).

Οπότε με βάση τα ανωτέρω κόστη και εφαρμόζοντας τη σχέση (4.80) υπολογίζεται για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) το ετήσιο ισοδύναμο κόστος της επένδυσης για τα έξι βασικά σενάρια, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.13. Στην παρούσα περίπτωση πλεονεκτεί η λύση τοποθέτησης 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη έναντι 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah. Η διαφοροποίηση ουσιαστικά έγκειται στην τιμή αγοράς συσσωρευτών, που είναι ιδιαίτερος κυμαινόμενη. Συνήθως η τοποθέτηση 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων οδηγεί σε καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα από την τοποθέτηση 100 φωτοβολταϊκών πλαισίων λόγω της σημαντικής επέκτασης του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος και κατ' επέκταση του χρόνου αντικατάστασης των συσσωρευτών. Αν η μεταβολή του κόστους των συσσωρευτών είναι μέσα σε περιορισμένα όρια  $\pm 25\%$ , τότε παρατηρείται η αντίστοιχη μετακίνηση των καμπύλων, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η τελική επιλογή στην παρούσα περίπτωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.14.

Σημειώνεται ότι δεν προτείνεται η χρήση συσσωρευτών λιθίου, διότι κατά τον κανονισμό NFPA 855-2020 [Ε71-Ε72] χρειάζεται ανεξάρτητο πυροδιαμέρισμα ανά 50 kWh, που εδώ η κάθε ημιστοιχία το ξεπερνά σημαντικά, καθώς 110 V, 2400 Ah/2 περιέχουν 132 kWh και 110 V, 3800 Ah/2 209 kWh αντίστοιχα. Αντίθετα οι συσσωρευτές μολύβδου – θειικού οξέος δεν έχουν περιορισμό και οι υπόλοιποι περιορίζονται στα 250 kWh. Επίσης δεν προτείνεται η χρήση συσσωρευτών νικελίου λόγω του φαινόμενου μνήμης και των αρκετά πανομοιότυπων κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης [Ε74].



**Σχήμα 4.13:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για έξι διαφορετικά σενάρια ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



**Σχήμα 4.14:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για τις περιπτώσεις των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,8 έτη και των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah με χρόνο αντικατάστασης 6,2 έτη και με μεταβολή κόστους  $\pm 25\%$  ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

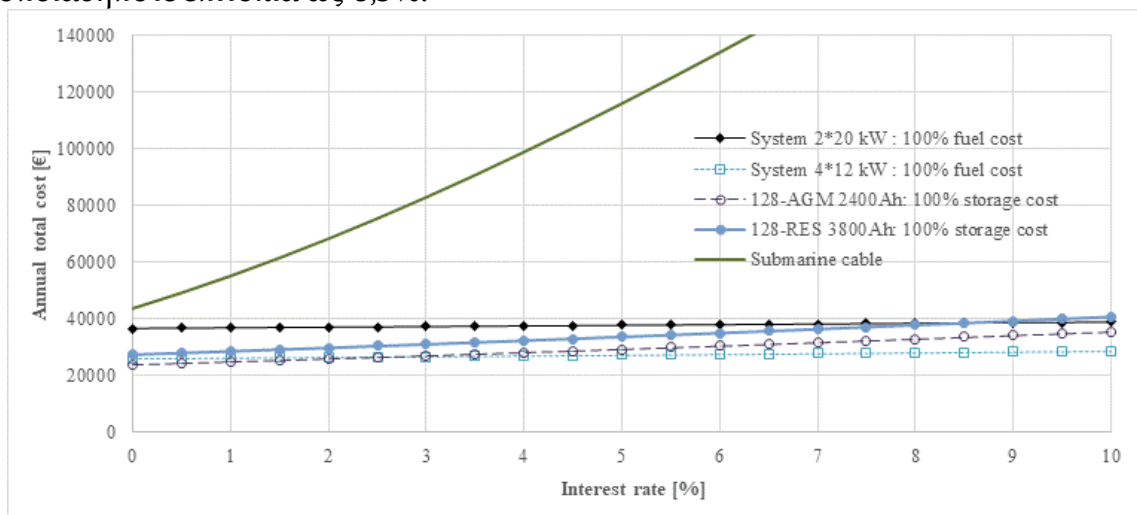
#### 4.4.9. Σύγκριση βασικής λύσης αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού με βασικές λύσεις

Στο σχήμα 4.15 παρουσιάζεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο από 0% ως 10% για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη,
- αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη,
- υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη,
- αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη,
- αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah με χρόνο αντικατάστασης 3,7 έτη.

Από τη σύγκριση με την εναλλακτική λύση υποβρύχιας διασύνδεσης με την Αίγινα η εφαρμογή του αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές (και για τα δύο βασικά σενάρια) πλεονεκτεί για κάθε επιτόκιο, ακόμη και σε περίπτωση αύξησης του κόστους συσσωρευτών κατά 25% (πρακτικά ακόμη και για αύξηση 180%). Από τη σύγκριση με την εναλλακτική λύση της τοποθέτησης 4 ντιζελογεννητριών 12 kW προκύπτει ότι το αυτόνομο σύστημα των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη πλεονεκτεί για επιτόκια ως 2,6%. Από τη σύγκριση με την εναλλακτική λύση της τοποθέτησης 2 ντιζελογεννητριών 20 kW προκύπτει ότι το

οποιοδήποτε αυτόνομο σύστημα των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q πλεονεκτεί για οποιαδήποτε επιτόκια ως 8,5%.



**Σχήμα 4.15:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 110 V χωρητικότητας 3800 Ah με χρόνο αντικατάστασης 3,7 έτη, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

#### 4.5. Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συσσωρευτές Επιλογής Α.Δ.Μ.Η.Ε. μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

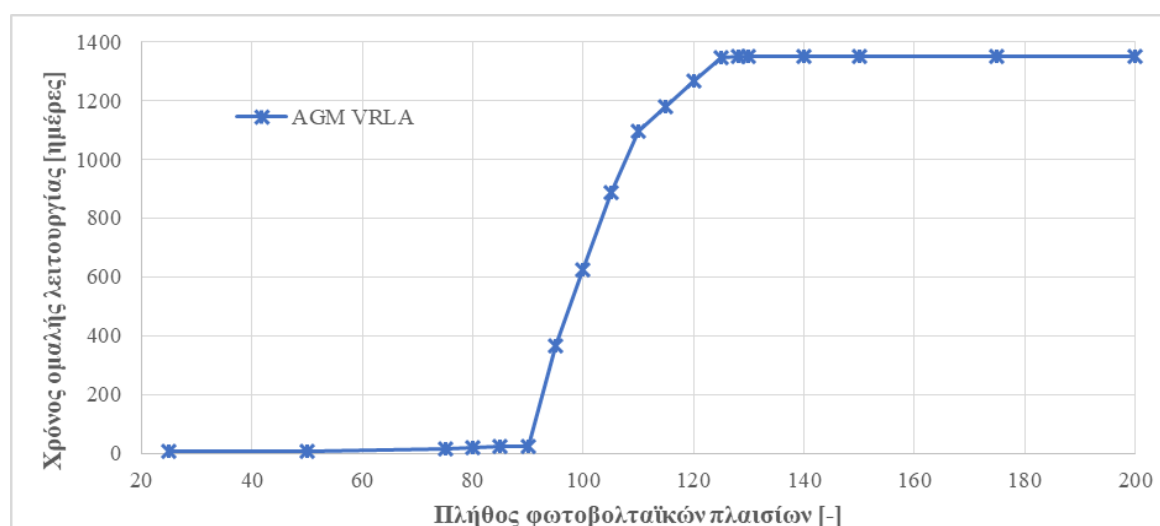
*4.5.1. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA*  
 Από τα έξι διαφορετικά σενάρια του πίνακα 4.5 φαίνεται η επίδραση του πλήθους των φ/β πλαισίων και της χωρητικότητας συσσωρευτών στην οικονομική βιωσιμότητα του αντίστοιχου αυτόνομου συστήματος. Πρώτα απ'όλα διερευνάται για την αρχικά προτεινόμενη χωρητικότητα συσσωρευτή 2400Ah τύπου AGM VRLA η επίδραση της μεταβολής του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q μεταξύ των τιμών 25 έως 200, όπου στον πίνακα 4.6 καταγράφονται τα δεδομένα του κόστους πλαισίων, μετατροπέων, λοιπών στοιχείων φ/β πλαισίων, επέκτασης της ταράτσας, συσσωρευτή και φορτιστή τα σχετικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος την ημέρα έναρξης και λήξης του δυσμενέστερου σεναρίου. Οι χρόνοι απόσβεσης πέρα του συσσωρευτή που ταυτίζεται με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας είναι 10 έτη για τα πλαίσια, 25 έτη για επέκταση ταράτσας, 20 έτη για τα υπόλοιπα. Στο σχήμα 4.16 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής του χρόνου ομαλής λειτουργίας σε σχέση με τον αριθμό των πλαισίων. Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι από 95 φ/β

πλαίσια και άνω μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, γύρω στα 110 αρχίζει ένα φαινόμενο κορεσμού προσθήκης φ/β πλαισίων και από τα 125 και άνω δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

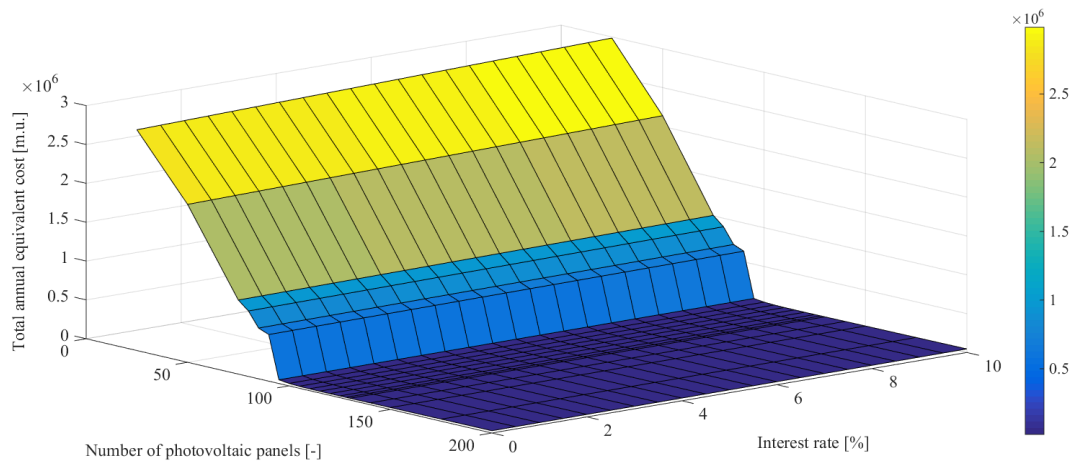
Στο σχήμα 4.17 (α,β) καταγράφεται το ετήσιο ισοδύναμο συνολικό κόστος σε σχέση με το επιτόκιο και το πλήθος των πλαισίων (α) για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, (β) για την υπό μεγέθυνση περιοχή ελαχίστου κόστους. Από αυτό το σχήμα προκύπτει ότι η πιο οικονομικά βιώσιμη λύση συμβαίνει για 120 φ/β πλαίσια για επιτόκια από 0,5% και άνω.

**Πίνακας 4.6:** Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q για συσσωρευτή AGM VRLA και χωρητικότητας συσσωρευτή 2400 Ah σε ονομαστική τάση 110 V.

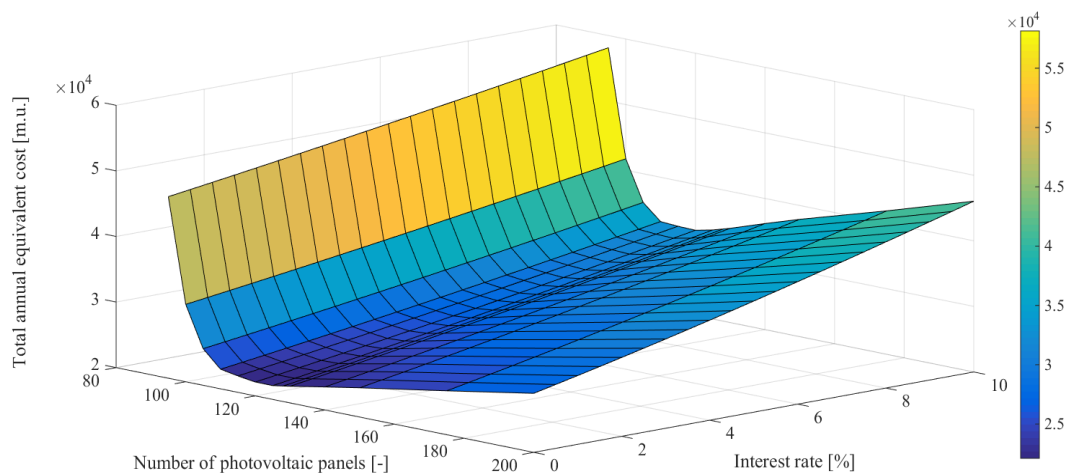
α/α	Πλήθος πλαισίων	Για δυσμενέστερο σενάριο		Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη]	Κόστος πλαισίων [€]	Κόστος μετατροπών [€]	Λοιπά κόστη Φ/Β [€]	Κόστος επέκτασης ταράτσας [€]	Κόστος συσσωρευτή [€]	Κόστος φορτιστή [€]
		Ημέρα έναρξης	Ημέρα λήξης							
1	25	428	433	0,01370	18875	2458	2133	0	38880	18000
2	50	2167	2174	0,01918	37750	2458	4021	0	38880	18000
3	75	1846	1861	0,04110	56625	2817	5944	0	38880	18000
4	80	1844	1861	0,04658	60400	4916	6532	0	38880	18000
5	85	2168	2190	0,06027	64175	4916	6909	0	38880	18000
6	90	2168	2192	0,06575	67950	4916	7287	0	38880	18000
7	95	1830	2194	0,99726	71725	4916	7664	0	38880	18000
8	100	1568	2193	1,71233	75500	4916	8042	0	38880	18000
9	105	1306	2193	2,43014	79275	5634	8491	1250	38880	18000
10	110	1080	2175	3,00000	83050	5634	8868	2500	38880	18000
11	115	995	2175	3,23288	86825	5634	9246	3750	38880	18000
12	120	907	2175	3,47397	90600	5634	9623	5000	38880	18000
13	125	1299	2646	3,69041	94375	5634	10001	6250	38880	22000
14	128	1280	2628	3,69315	96640	5634	10227	7000	38880	22000
15	130	1311	2659	3,69315	98150	5634	10378	7500	38880	22000
16	140	1272	2622	3,69863	105700	7374	11307	10000	38880	22000
17	150	922	2273	3,70137	113250	8451	12170	12500	38880	22000
18	175	1279	2630	3,70137	132125	8451	14058	18750	38880	22000
19	200	1279	2630	3,70137	151000	9832	16083	25000	38880	22000



**Σχήμα 4.16:** Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητού πλήθους Φ/Β πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V και 2400Ah.



(α)



(β)

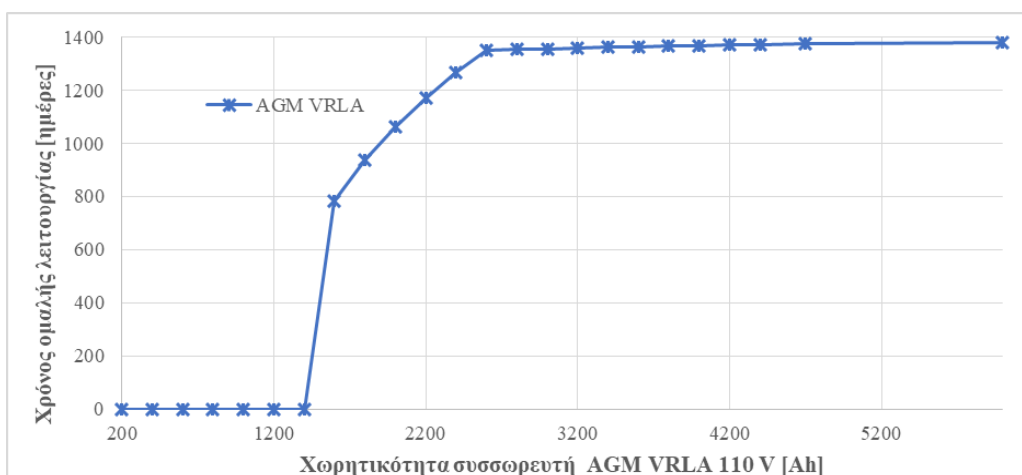
**Σχήμα 4.17 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητό πλήθος Φ/Β πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλής λειτουργίας συστήματος

Στη συνέχεια για το πλήθος των 120 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q που βρέθηκαν από το σχήμα 4.17 εξετάζεται η μεταβολή της χωρητικότητας συσσωρευτή τύπου AGM VRLA μεταξύ των τιμών 200 έως 6000 Ah, όπου στον πίνακα 4.7 καταγράφονται τα δεδομένα του κόστους πλαισίων, μετατροπέων, λοιπών στοιχείων φ/β πλαισίων, επέκτασης της ταράτσας, συσσωρευτή και φορτιστή και τα σχετικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος, την ημέρα έναρξης και λήξης του δυσμενέστερου σεναρίου.

Στο σχήμα 4.18 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής του χρόνου ομαλής λειτουργίας σε σχέση με τη χωρητικότητα του συσσωρευτή. Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι από 1600 Ah και άνω μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, και από τα 2600 Ah και άνω δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

**Πίνακας 4.7:** Ανάλυση ευαισθησίας χωρητικότητας συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 110 V για 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q.

α/α	Χωρητικό-τητα συσσωρευτή [Ah]	Για δυσμενέστερο σενάριο		Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη]	Κόστος πλαισίων [€]	Κόστος μετατροπέων [€]	Λοιπά κόστη Φ/Β [€]	Κόστος επέκτασης ταράτσας [€]	Κόστος συσσωρευτή [€]	Κόστος φορτιστή [€]
		Ημέρα έναρξης	Ημέρα λήξης							
1	200	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	3240	18000
2	400	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	6480	18000
3	600	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	9720	18000
4	800	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	12960	18000
5	1000	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	16200	18000
6	1200	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	19440	18000
7	1400	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	22680	18000
8	1600	1393	2175	2,14247	90600	5634	9623	5000	25920	18000
9	1800	1240	2175	2,56164	90600	5634	9623	5000	29160	18000
10	2000	1114	2175	2,90685	90600	5634	9623	5000	32400	18000
11	2200	1005	2175	3,20548	90600	5634	9623	5000	35640	18000
12	2400	907	2175	3,47397	90600	5634	9623	5000	38880	18000
13	2600	2167	3516	3,69589	90600	5634	9623	5000	42120	18000
14	2800	2167	3520	3,70685	90600	5634	9623	5000	45360	18000
15	3000	2167	3523	3,71507	90600	5634	9623	5000	48600	18000
16	3200	2167	3526	3,72329	90600	5634	9623	5000	51840	18000
17	3400	2167	3529	3,73151	90600	5634	9623	5000	55080	18000
18	3600	2167	3531	3,73699	90600	5634	9623	5000	58320	18000
20	3800	2167	3533	3,74247	90600	5634	9623	5000	61560	18000
21	4000	2167	3535	3,74795	90600	5634	9623	5000	64800	18000
22	4200	2167	3537	3,75342	90600	5634	9623	5000	68040	18000
23	4400	2167	3538	3,75616	90600	5634	9623	5000	71280	18000
24	4700	2167	3540	3,76164	90600	5634	9623	5000	76140	18000
25	6000	2167	3546	3,77808	90600	5634	9623	5000	97200	18000

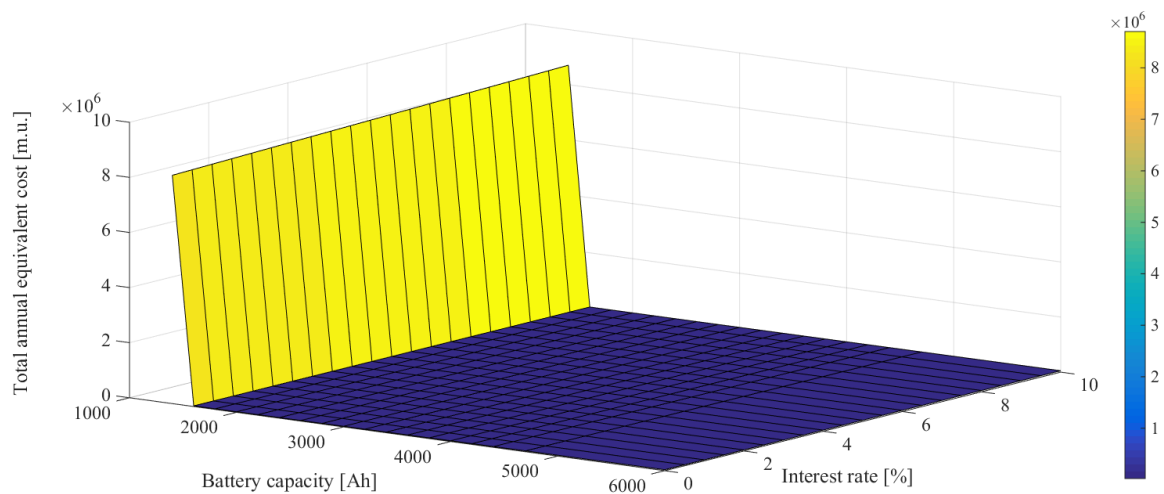


**Σχήμα 4.18:** Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητής χωρητικότητας συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V με 120 Φ/Β πλαίσια Sxp154Q.

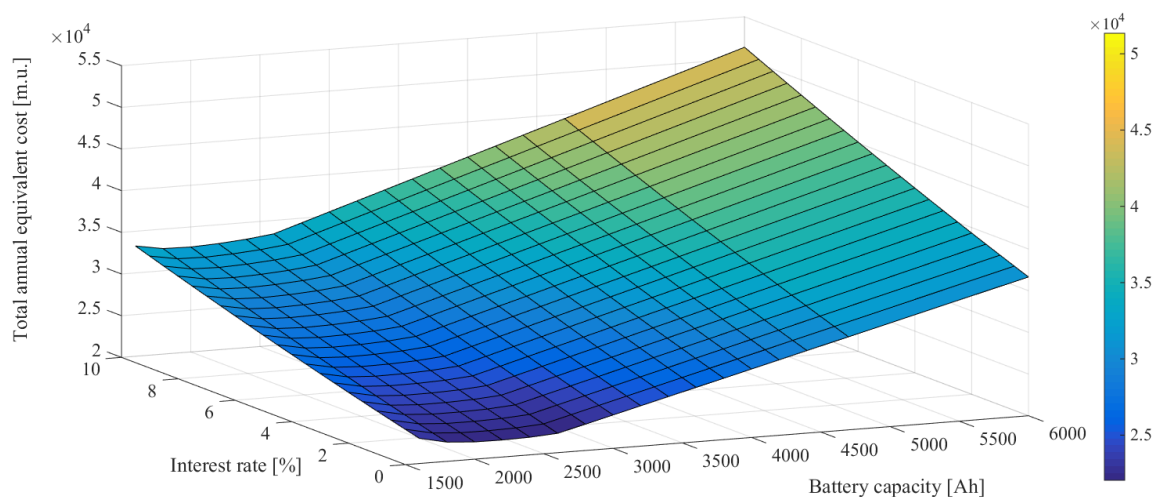
Στο σχήμα 4.19 (α,β) καταγράφεται το ετήσιο ισοδύναμο συνολικό κόστος σε σχέση με το επιτόκιο και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή (α) για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, (β) για την υπό μεγέθυνση περιοχή ελαχίστου κόστους. Από αυτό το σχήμα προκύπτει ότι η πιο οικονομικά βιώσιμη λύση συμβαίνει για 2000 Ah για επιτόκια από 2% και άνω και για 2200 Ah για επιτόκια από 1,5% και κάτω. Από αυτή τη στοιχειώδη διαδικασία προέκυψε προσωρινά ότι το καλύτερο οικονομικά αποτέλεσμα είναι 120 φ/β πλαίσια για συσσωρευτή τύπου AGM VRLA χωρητικότητας 2000-2200 Ah. Για την εξασφάλιση του πραγματοποιείται η διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας στο σύνολο του πλήθους των φ/β πλαισίων από 80 έως 165 με βήμα 5 και



χωρητικότητας από 200 ως 6000 Ah με ενδιάμεσες τιμές 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000, 4200, 4400, 4700 και 6000. Δηλαδή εξετάστηκαν  $18 \cdot 24 = 432$  περιπτώσεις.



(α)

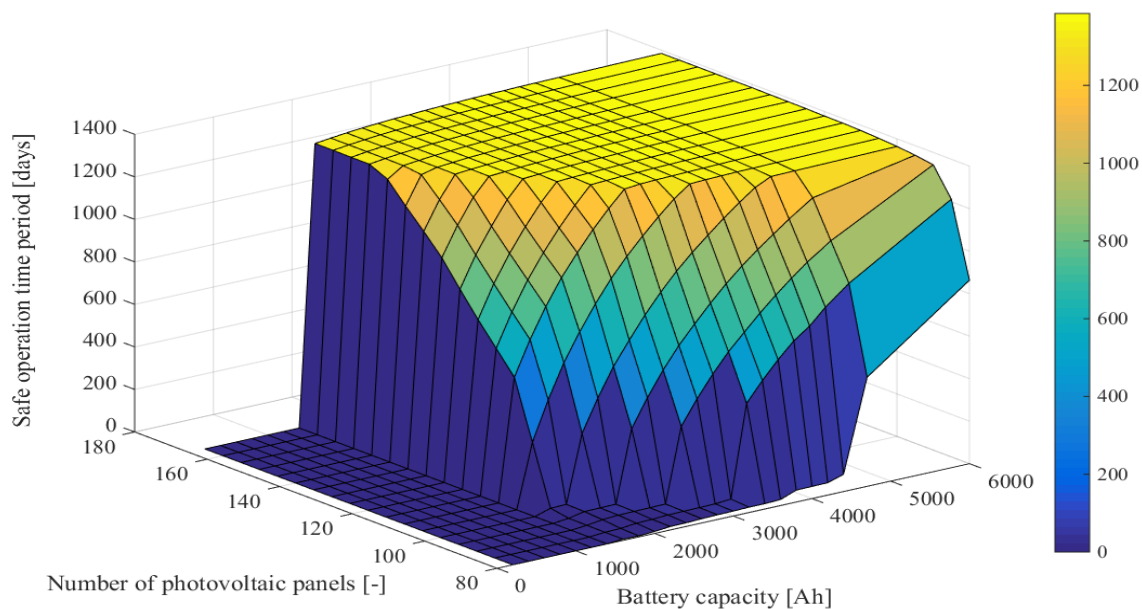


(β)

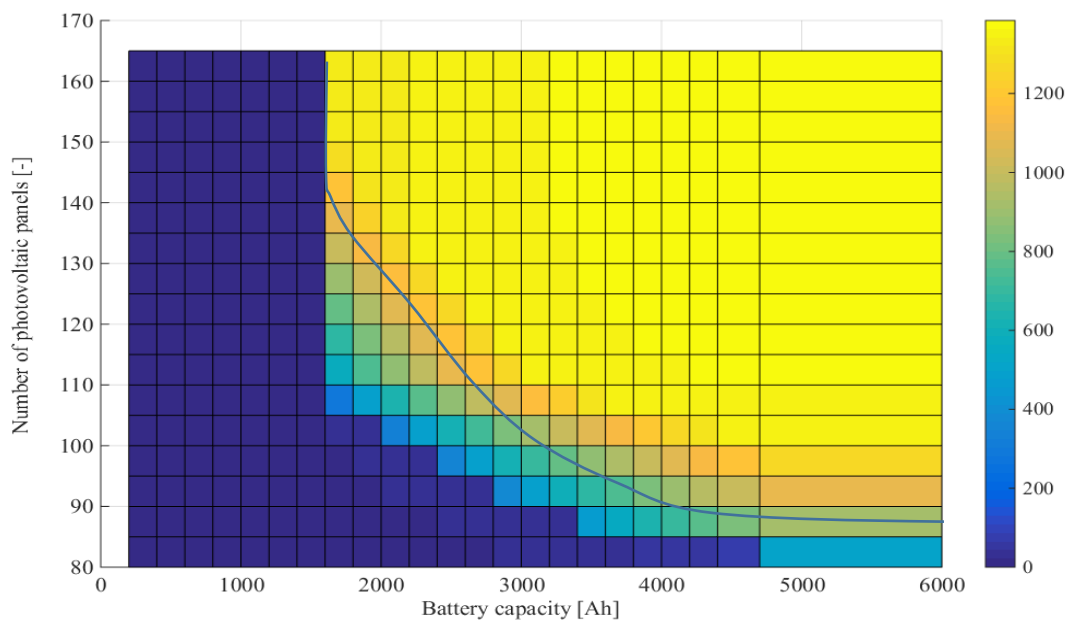
**Σχήμα 4.19 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος και 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q.

Στο σχήμα 4.20 παρουσιάζεται ο χρόνος ασφαλούς λειτουργίας συσσωρευτή για τα διαφορετικά πλήθη φ/β πλαισίων και τις διαφορετικές τιμές χωρητικότητας συσσωρευτή. Παρατηρείται ότι έως τα 1400 Ah για οποιοδήποτε πλήθος φ/β πλαισίων το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Από εκεί και πέρα ξεκινά μια σημαντική βελτίωση του χρόνου ομαλής λειτουργίας όσο αυξάνεται είτε η χωρητικότητα του συσσωρευτή είτε το πλήθος των φ/β πλαισίων, φτάνοντας στον κορεσμό κοντά στις 1385 ημέρες ή 3,8 έτη στη νοητή καμπύλη του σχήματος 4.20β η οποία εκτείνεται για μεγάλες τιμές πλήθους φ/β πλαισίων (άνω των 145 σε χωρητικότητα 1600 Ah για

ενδιάμεσες τιμές φ/β πλαισίων υπάρχει μία γραμμική μεταβολή από το σημείο 145 φ/β πλαίσια χωρητικότητας συσσωρευτή 1600 Ah ως το σημείο 100 φ/β πλαίσια και 4000 χωρητικότητας συσσωρευτή και μετά πρακτικά σχεδόν ευθυγραμμίζεται στα 95 φ/β πλαίσια όσο και εάν μεγαλώνει η χωρητικότητα. Ομοίως τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 4.8.



(α)



(β)

**Σχήμα 4.20(α,β):** Ασφαλής χρόνος λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000).

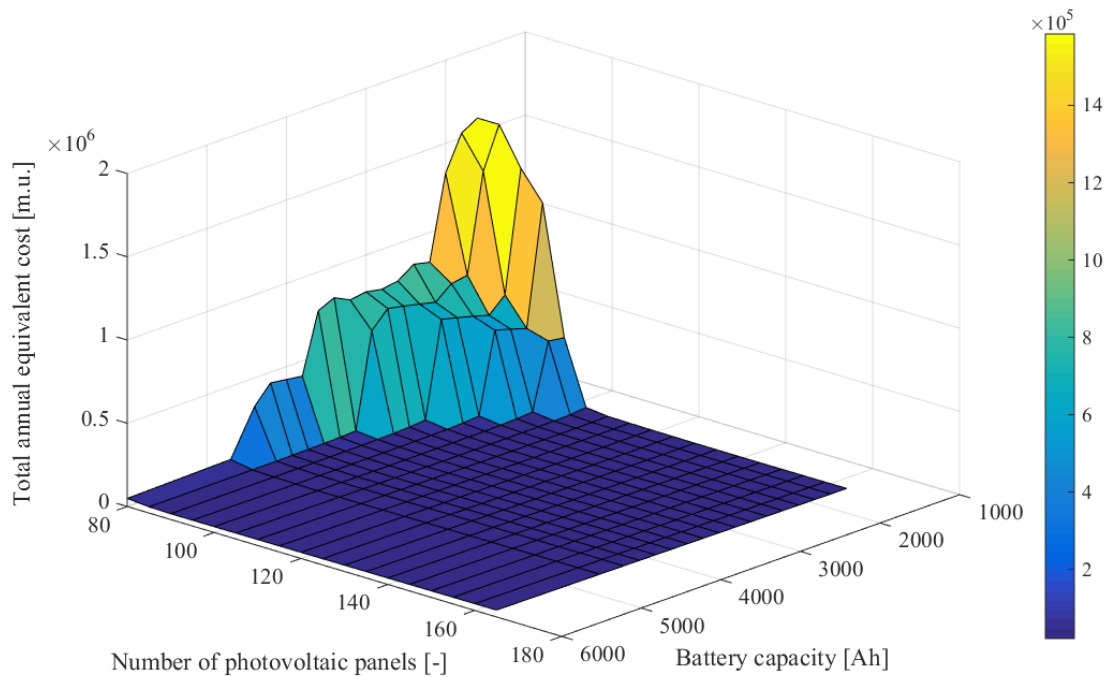
**Πίνακας 4.8:** Ανάλυση ευαισθησίας του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1600	6	6	7	8	23	301	575	679	782	893	1009	1101	1188	1282	1321	1321	1322	1322
1800	6	8	17	23	25	485	736	834	935	1038	1146	1234	1319	1330	1331	1331	1331	1331
2000	9	16	22	24	342	643	875	968	1061	1157	1261	1337	1338	1338	1339	1339	1339	1339
2200	16	18	23	25	492	772	995	1080	1170	1265	1343	1344	1344	1345	1345	1345	1346	1346
2400	17	22	24	364	625	887	1095	1180	1268	1347	1348	1349	1350	1350	1351	1351	1351	1351
2600	20	23	25	493	732	990	1188	1270	1349	1352	1353	1354	1354	1355	1355	1355	1355	1356
2800	22	24	374	607	834	1078	1271	1350	1353	1356	1357	1358	1358	1359	1359	1359	1359	1359
3000	23	25	487	706	925	1157	1346	1354	1356	1359	1360	1361	1361	1362	1362	1363	1363	1363
3200	25	31	587	791	1007	1231	1353	1357	1359	1362	1363	1364	1364	1365	1365	1365	1366	1366
3400	25	465	676	872	1079	1299	1356	1359	1362	1364	1366	1366	1367	1367	1368	1368	1368	1368
3600	28	556	751	947	1144	1353	1358	1362	1364	1366	1368	1368	1369	1369	1370	1370	1370	1371
3800	56	638	825	1014	1207	1356	1360	1364	1366	1368	1370	1371	1371	1371	1372	1372	1372	1373
4000	57	710	893	1075	1265	1358	1362	1366	1368	1370	1371	1372	1373	1373	1374	1374	1374	1374
4200	58	763	956	1131	1319	1360	1364	1367	1370	1372	1373	1374	1374	1375	1375	1375	1376	1376
4400	81	835	1015	1186	1354	1361	1366	1369	1371	1373	1374	1375	1376	1376	1377	1377	1377	1377
4700	513	923	1091	1261	1356	1363	1368	1371	1373	1375	1381	1377	1378	1378	1379	1379	1379	1379
6000	863	1212	1342	1355	1364	1370	1375	1378	1379	1381	1382	1383	1384	1384	1385	1385	1385	1385

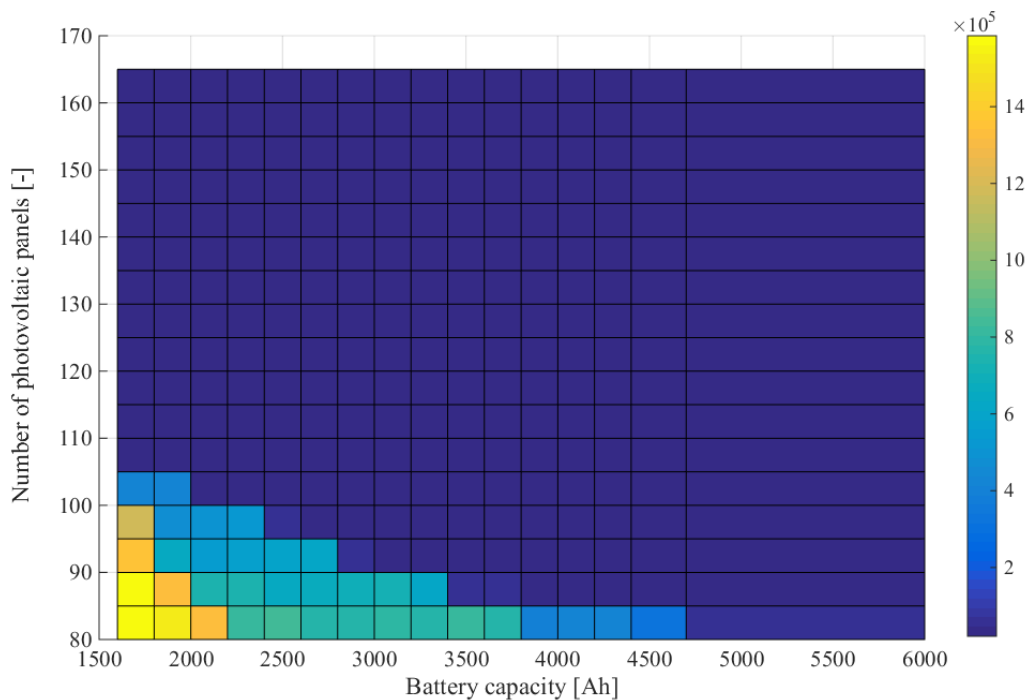
Στη συνέχεια πραγματοποιείται η μελέτη του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής για τις ανωτέρω διαφορετικές 432 περιπτώσεις φ/β πλαισίων και συσσωρευτών για διαφορετικά αποπληθωρισμένα. Στα σχήματα 4.21, 4.22 και 4.23 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αντίστοιχες παραστάσεις για 0%, 3% και 10%. Ομοίως τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 4.9, 4.10 και 4.11.

**Πίνακας 4.9:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1600	1584312	1584709	1359848	1191302	420437	40975	26484	24410	23021	22214	21392	21151	20968	20889	21118	21564	22005	22452
1800	1527998	1338334	634387	471458	434834	31489	2491	23238	22306	21873	21303	21183	21073	21512	21953	22399	22845	23292
2000	1321512	747034	545851	501452	43677	27936	23546	22693	22069	21841	21394	21403	21843	22348	22788	23234	23681	24127
2200	820550	730609	573896	529046	35538	26395	23104	22521	22041	21903	21702	22237	22683	23182	23628	24074	24513	24960
2400	842289	652963	599605	47688	31804	25543	22990	22503	22115	22155	22543	23077	23516	24022	24460	24907	25353	25799
2600	776202	676335	623257	39886	30100	25073	22971	22582	22319	22990	23378	23912	24358	24856	25302	25748	26195	26633
2800	760076	697759	52574	35977	28950	24903	23056	22740	23160	23829	24216	24749	25196	25692	26139	26585	27032	27478
3000	778773	717469	44730	33828	28275	24876	23209	23578	24005	24672	25059	25591	26038	26534	26980	27417	27863	28310
3200	764376	618283	40540	32623	27888	24915	24015	24420	24846	25512	25898	26430	26876	27372	27818	28264	28701	29147
3400	811680	51144	38045	31757	27730	25021	24856	25270	25684	26358	26733	27275	27711	28216	28652	29098	29545	29991
3600	767755	46194	36650	31180	27705	25277	25705	26106	26529	27203	27576	28118	28553	29059	29494	29940	30387	30822
3800	408752	43127	35541	30861	27714	26115	26552	26950	27372	28044	28417	28947	29393	29899	30333	30780	31226	31660
4000	422460	41221	34791	30703	27795	26961	27396	27791	28212	28883	29267	29797	30231	30736	31170	31616	32063	32509
4200	435695	40457	34283	30660	27926	27805	28237	28644	29050	29720	30103	30632	31079	31571	32018	32464	32897	33344
4400	328712	39067	33938	30638	28313	28660	29076	29481	29900	30568	30951	31479	31912	32418	32850	33297	33743	34189
4700	61686	38018	33778	30740	29593	29934	30345	30747	31164	31831	32140	32740	33172	33677	34109	34556	35002	35448
6000	48622	37181	34742	34885	35108	35441	35832	36223	36650	37309	37687	38211	38638	39144	39572	40018	40465	40911

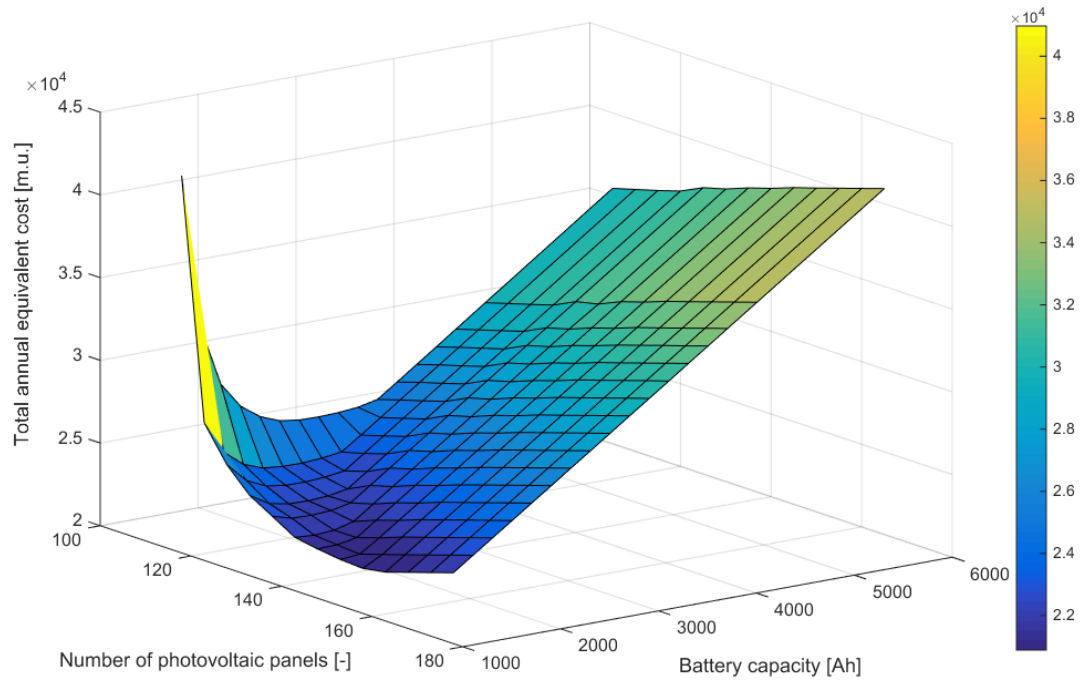


(α)-τριδιάστατη παράσταση

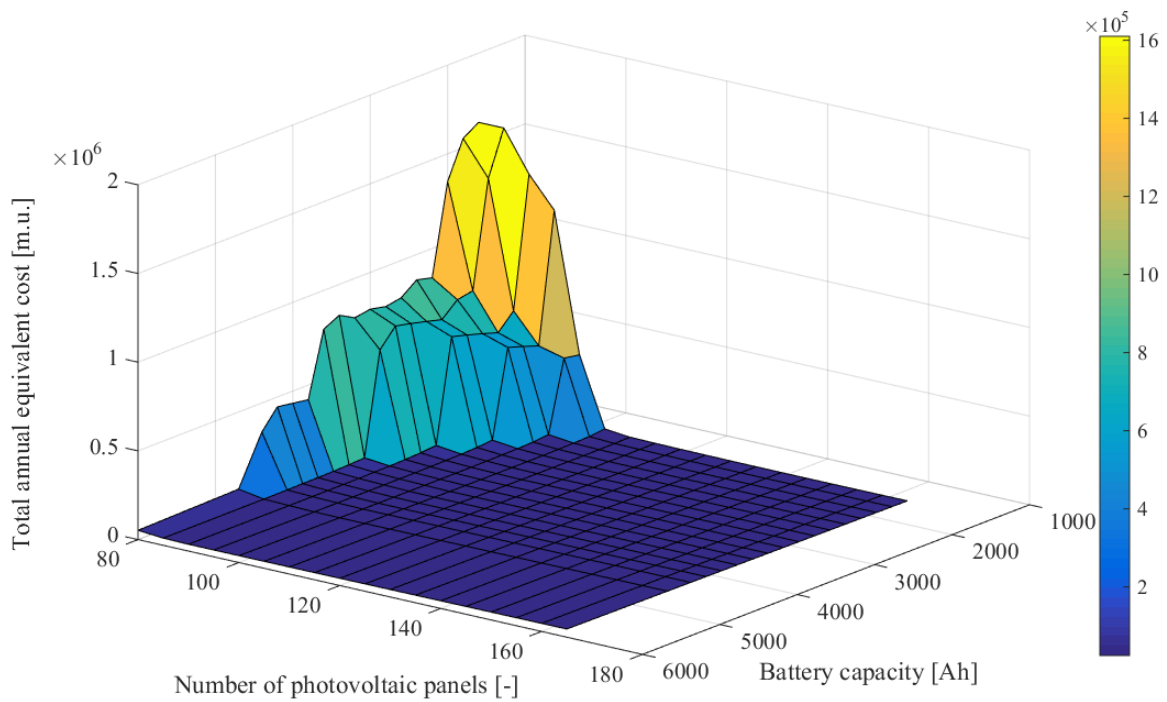


(β)-δισδιάστατη προβολή

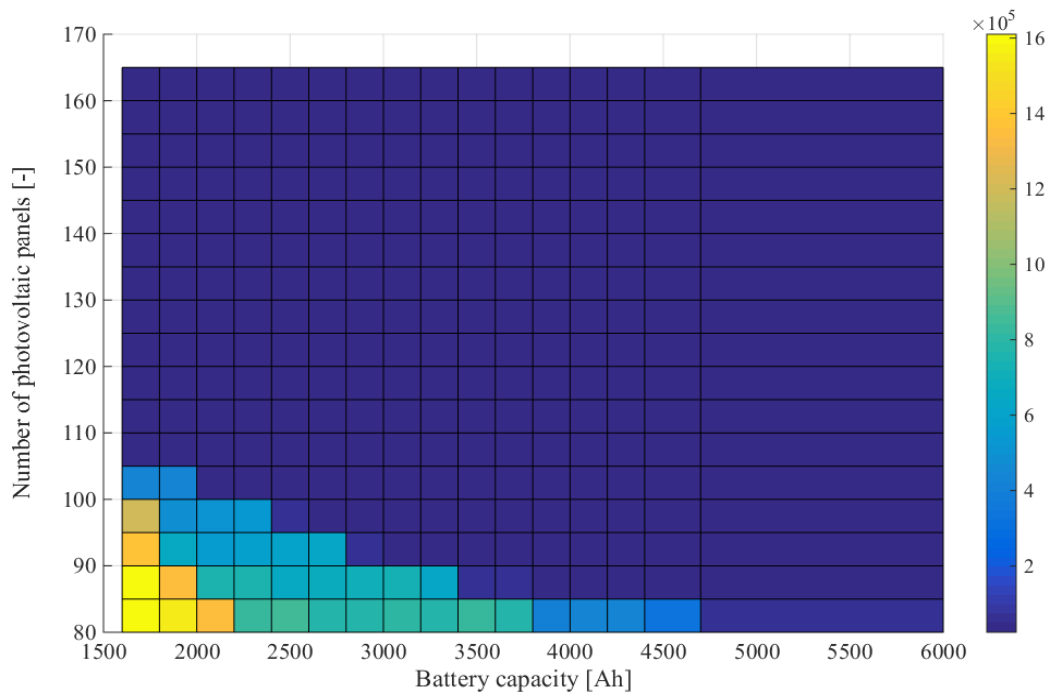
**Σχήμα 4.21(α,β,γ):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλασιών Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



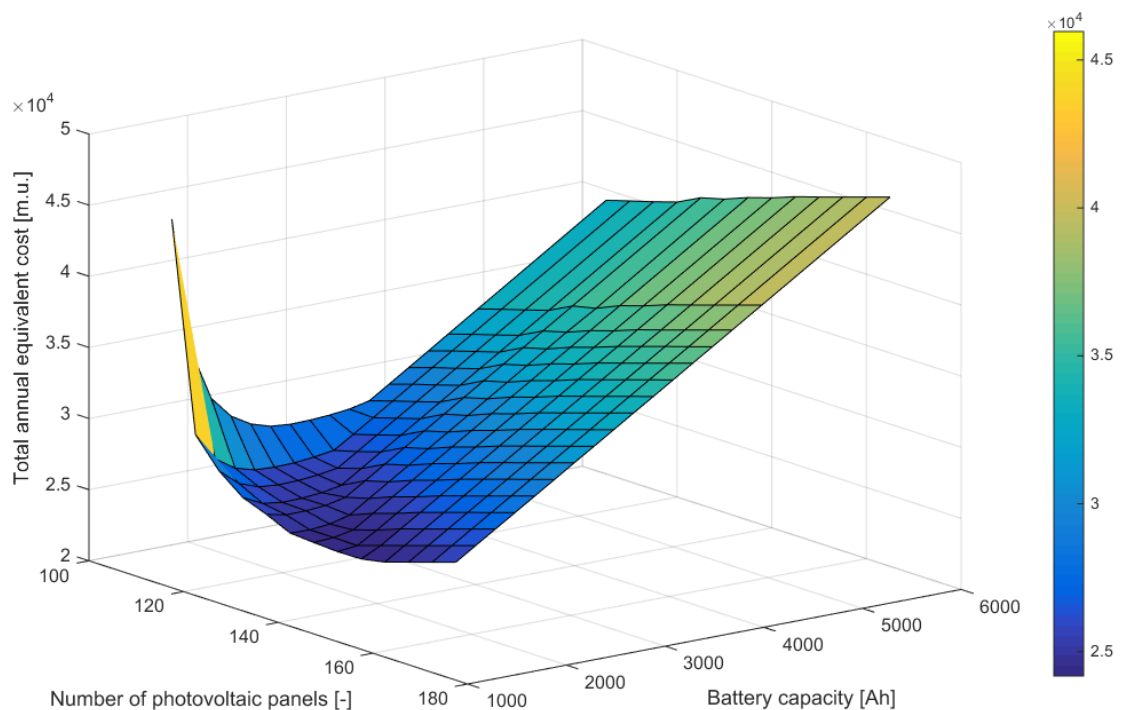
(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου  
**Σχήμα 4.21(γ):** βλ. προηγούμενη λεζάντα



(α)-τρειςδιάστατη παράσταση  
**Σχήμα 4.22(α):** βλ. επόμενη λεζάντα

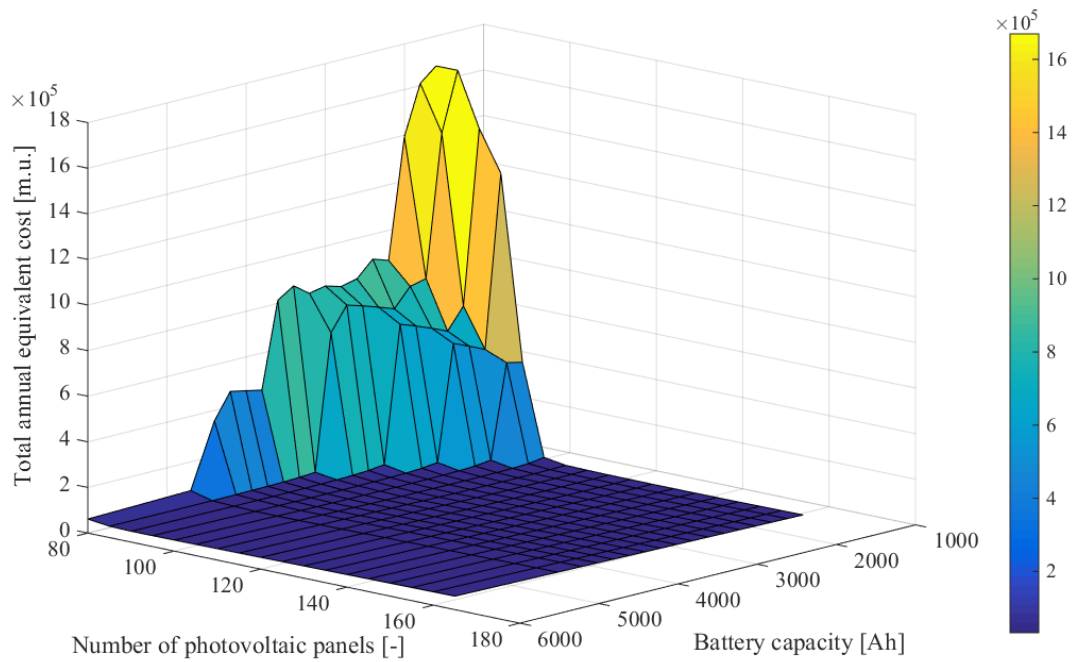


(β)-δισδιάστατη προβολή

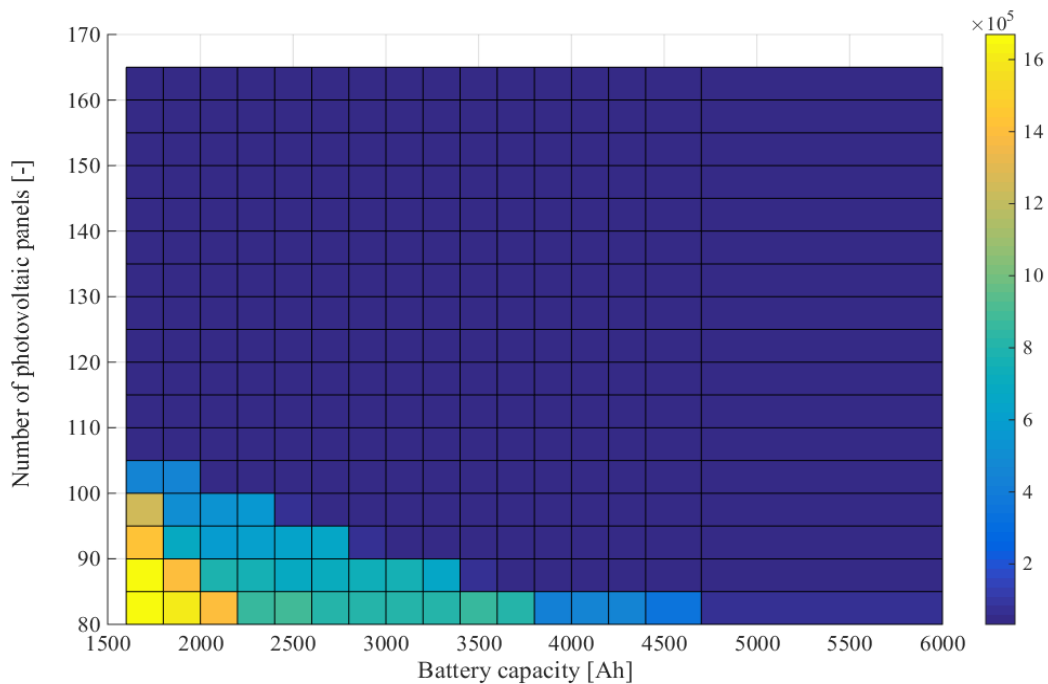


(γ)- μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

**Σχήμα 4.22(β,γ):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

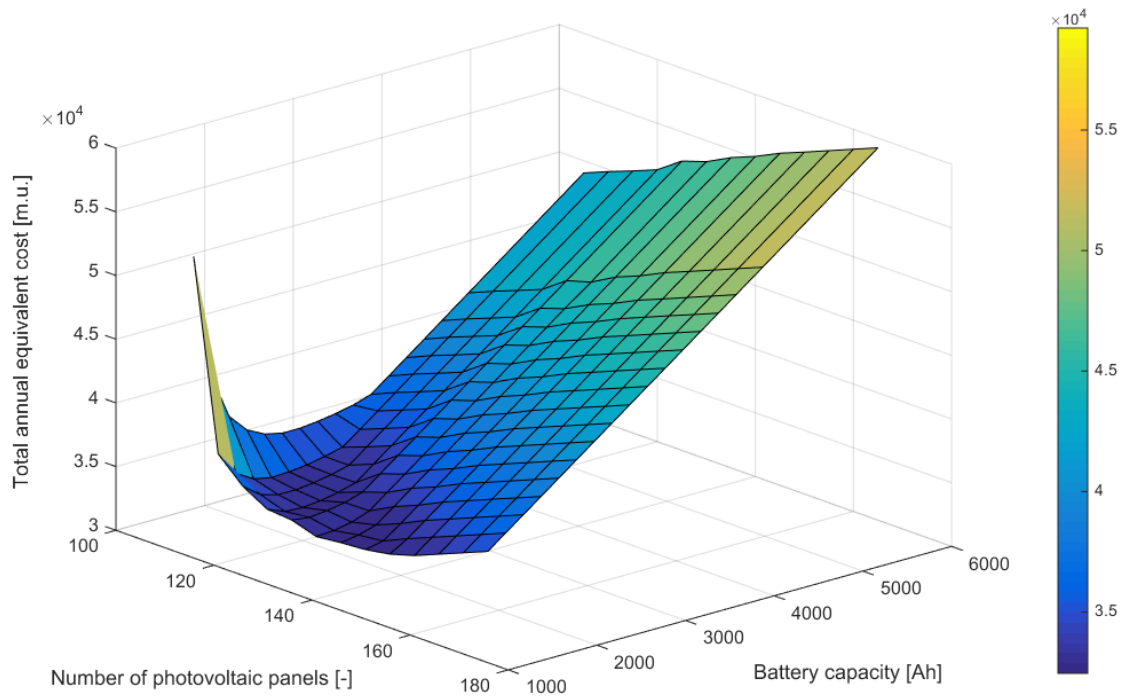


(α)-τριδιάστατη παράσταση



(β)-δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 4.23(α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.23(γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα

**Πίνακας 4.10:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1600	1609784	1610252	1382101	1211104	428799	43762	29155	27138	25815	25170	24402	24276	24178	24205	24523	25063	25597	26137
1800	1552678	1360248	645861	480565	443460	34184	27183	25999	25140	24874	24362	24359	24335	24887	25420	25960	26500	27039
2000	1343159	760171	556051	511055	46515	30628	26273	25496	24949	24891	24504	24632	25165	25785	26318	26857	27397	27937
2200	834768	743550	584564	539109	38305	29114	25875	25371	24971	25005	24867	25528	26068	26680	27219	27759	28292	28831
2400	856880	664794	610705	50619	34565	28300	25809	25402	25096	25310	25770	26431	26963	27582	28114	28654	29193	29733
2600	789856	688563	634759	42749	32886	27873	25840	25533	25353	26208	26668	27327	27867	28478	29018	29557	30097	30628
2800	773537	710355	55609	38833	31768	27749	25977	25744	26256	27109	27568	28227	28767	29377	29917	30456	30996	31536
3000	792562	730408	47698	36701	31133	27773	26182	26643	27163	28014	28472	29131	29671	30280	30820	31350	31890	32429
3200	777999	629791	43495	35528	30790	27862	27050	27548	28067	28916	29373	30031	30571	31180	31720	32260	32789	33329
3400	826058	54240	41013	34699	30680	28020	27953	28459	28966	29825	30271	30939	31468	32087	32616	33156	33695	34235
3600	781526	49266	39647	34163	30705	28330	28864	29357	29874	30731	31176	31844	32372	32992	33520	34059	34599	35127
3800	417212	46204	38572	33890	30764	29229	29773	30263	30779	31635	32078	32734	33274	33893	34421	34961	35500	36028
4000	431174	44319	37861	33780	30897	30138	30679	31167	31681	32536	32991	33647	34174	34793	35320	35860	36399	36939
4200	444655	43594	37395	33786	31080	31044	31583	32082	32581	33435	33889	34544	35084	35690	36230	36769	37296	37835
4400	336125	42233	37095	33814	31522	31962	32484	32981	33493	34345	34799	35453	35979	36598	37124	37664	38204	38743
4700	65192	41243	37008	33993	32896	33329	33846	34340	34850	35701	36080	36807	37332	37951	38476	39016	39556	40095
6000	52259	40719	38312	38522	38815	39239	39737	40219	40740	41583	42032	42681	43202	43822	44342	44882	45422	45962

Για την περίπτωση επιτοκίου 0% διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο σημείο είναι 145 φ/β πλαίσια και χωρητικότητα συσσωρευτή 1600 Ah, για 3% 140 φ/β πλαίσια και 1600 Ah και 10% 130 φ/β πλαίσια και 1600 Ah. Συνοπτικά τα ανωτέρω καταγράφονται στον πίνακα 4.12, όπου το πλήθος των πλαισίων είναι από 130 ως 145 ανάλογα με τη μείωση του επιτοκίου, ενώ η χωρητικότητα του συσσωρευτή ίση με 1600 Ah.



**Πίνακας 4.11:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1600	1668973	1669632	1433949	1257352	448800	51011	36201	34359	33236	33068	32455	32660	32801	33129	33699	34495	35286	36083
1800	1610050	1411296	672954	502251	464068	41234	34287	33306	32663	32888	32540	32872	33090	33956	34747	35543	36339	37136
2000	1393566	791063	580224	533883	53848	37682	33471	32912	32591	33032	32813	33280	34070	35005	35795	36591	37388	38184
2200	868116	773992	609812	562997	45485	36241	33186	32909	32740	33275	33313	34327	35124	36052	36848	37645	38433	39230
2400	891087	692688	636948	58145	41744	35525	33243	33067	32996	33717	34368	35381	36170	37105	37893	38690	39486	40283
2600	821911	717372	661926	50135	40132	35210	33402	33329	33389	34766	35416	36429	37225	38152	38948	39745	40541	41329
2800	805153	740012	63358	46211	39102	35208	33670	33674	34442	35818	36467	37479	38276	39202	39998	40795	41591	42388
3000	824933	760855	55305	44132	38572	35358	34009	34724	35501	36875	37523	38535	39331	40257	41053	41840	42636	43432
3200	809990	656951	51085	43044	38344	35578	35027	35780	36555	37927	38575	39586	40383	41308	42104	42900	43686	44483
3400	859784	62119	48644	42313	38356	35868	36081	36843	37606	38987	39624	40645	41430	42366	43151	43947	44744	45540
3600	813860	57103	47357	41885	38507	36315	37144	37892	38665	40045	40680	41701	42486	43421	44206	45003	45799	46584
3800	437357	54062	46370	41728	38695	37365	38204	38950	39721	41100	41734	42743	43539	44475	45259	46055	46851	47635
4000	451902	52239	45761	41741	38959	38425	39261	40005	40775	42152	42798	43806	44590	45525	46309	47105	47901	48698
4200	465951	51613	45405	41873	39275	39482	40316	41071	41826	43202	43847	44855	45651	46573	47370	48166	48949	49745
4400	353870	50332	45221	42029	39858	40551	41368	42121	42889	44264	44908	45915	46697	47633	48415	49212	50008	50804
4700	74020	49498	45320	42404	41458	42145	42957	43707	44473	45847	46414	47496	48277	49213	49994	50790	51587	52383
6000	61464	49776	47487	47882	48362	49040	49831	50569	51346	52712	53351	54353	55130	56066	56843	57639	58436	59232

**Πίνακας 4.12:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Πλήθος πλαισίων	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής [€]
1	0,0%	145	1600	20889
2	0,5%	145	1600	21419
3	1,0%	145	1600	21957
4	1,5%	145	1600	22505
5	2,0%	145	1600	23063
6	2,5%	140	1600	23621
7	3,0%	140	1600	24178
8	3,5%	140	1600	24743
9	4,0%	140	1600	25317
10	4,5%	140	1600	25899
11	5,0%	140	1600	26489
12	5,5%	140	1600	27087
13	6,0%	130	1600	27690
14	6,5%	130	1600	28263
15	7,0%	130	1600	28842
16	7,5%	130	1600	29429
17	8,0%	130	1600	30022
18	8,5%	130	1600	30621
19	9,0%	130	1600	31226
20	9,5%	130	1600	31838
21	10%	130	1600	32455

#### 4.5.2. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA

Πρώτα απ'όλα διερευνάται για την αρχικά προτεινόμενη χωρητικότητα συσσωρευτή 2400Ah τύπου RES SOPzV η επίδραση της μεταβολής του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q μεταξύ των τιμών 25 έως 200, όπου στον πίνακα 4.13 καταγράφονται τα δεδομένα του κόστους πλαισίων, μετατροπέων, λοιπών στοιχείων φ/β πλαισίων, επέκτασης της ταράτσας, συσσωρευτή και φορτιστή τα σχετικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος την ημέρα έναρξης και λήξης του δυσμενέστερου σεναρίου. Οι χρόνοι απόσβεσης πέρα του συσσωρευτή που ταυτίζεται με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας είναι 10 έτη για τα πλαίσια, 25 έτη για επέκταση ταράτσας, 20 έτη για τα υπόλοιπα.

Στο σχήμα 4.24 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής του χρόνου ομαλής λειτουργίας σε σχέση με τον αριθμό των πλαισίων. Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι από 95 φ/β πλαίσια και άνω μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, γύρω στα 110 αρχίζει ένα φαινόμενο κορεσμού προσθήκης φ/β πλαισίων και από τα 125 και άνω δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

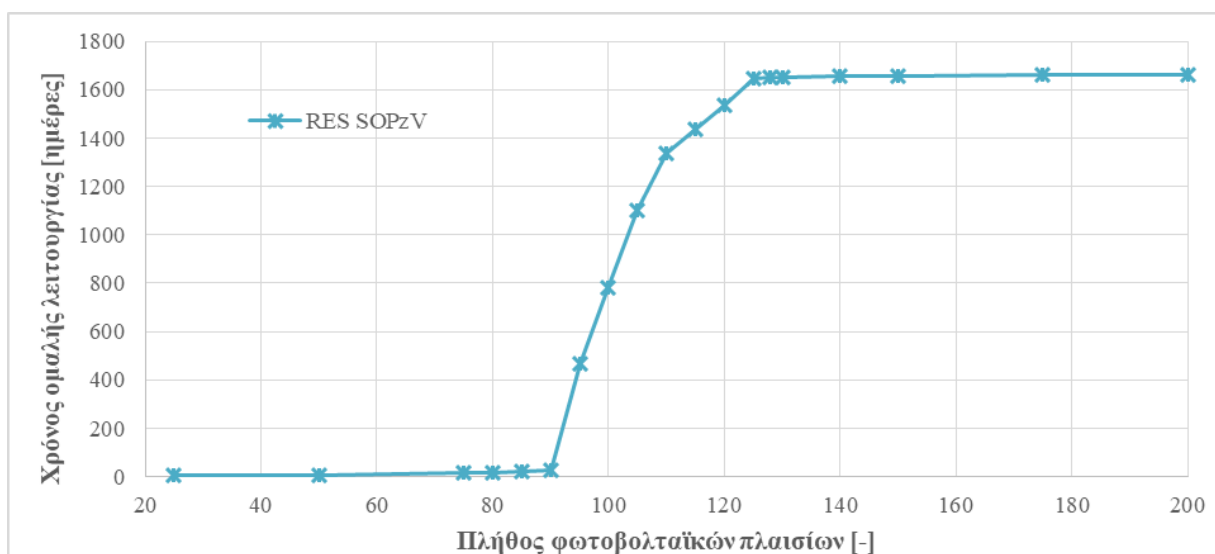
**Πίνακας 4.13:** Ανάλυση ευαισθησίας πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q για συσσωρευτή RES 7 SOPzV1190 και χωρητικότητας συσσωρευτή 2342 Ah σε ονομαστική τάση 110 V (2 παράλληλες στήλες \*55 στοιχεία σε σειρά).

α/α	Πλήθος πλαισίων	Για δυσμενέστερο σενάριο		Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη]	Κόστος πλαισίων [€]	Κόστος μετατροπέων [€]	Λοιπά κόσθη Φ/Β [€]	Κόστος επέκτασης ταράτσας [€]	Κόστος συσσωρευτή [€]	Κόστος φορτιστή [€]
		Ημέρα έναρξης	Ημέρα λήξης							
1	25	428	433	0,01370	18875	2458	2133	0	40700	18000
2	50	2167	2174	0,01918	37750	2458	4021	0	40700	18000
3	75	2163	2177	0,03836	56625	2817	5944	0	40700	18000
4	80	1844	1861	0,04658	60400	4916	6532	0	40700	18000
5	85	2168	2190	0,06027	64175	4916	6909	0	40700	18000
6	90	2167	2191	0,06575	67950	4916	7287	0	40700	18000
7	95	1729	2194	1,27397	71725	4916	7664	0	40700	18000
8	100	1411	2193	2,14247	75500	4916	8042	0	40700	18000
9	105	1094	2193	3,01096	79275	5634	8491	1250	40700	18000
10	110	837	2175	3,66575	83050	5634	8868	2500	40700	18000
11	115	740	2175	3,93151	86825	5634	9246	3750	40700	18000
12	120	639	2175	4,20822	90600	5634	9623	5000	40700	18000
13	125	528	2175	4,51233	94375	5634	10001	6250	40700	22000
14	128	2167	3819	4,52603	96640	5634	10227	7000	40700	22000
15	130	2167	3820	4,52877	98150	5634	10378	7500	40700	22000
16	140	2167	3823	4,53699	105700	7374	11307	10000	40700	22000
17	150	2168	3825	4,53973	113250	8451	12170	12500	40700	22000
18	175	1005	2665	4,54795	132125	8451	14058	18750	40700	22000
19	200	2076	3736	4,54795	151000	9832	16083	25000	40700	22000

Οι συσσωρευτές τύπου RES SOPzV διαμορφώνονται με διαφορετικούς τύπους στοιχείων σχηματίζοντας τον πίνακα 4.14 μαζί με τα αντίστοιχα κόσθη συνολικής κατασκευής τους.

Στο σχήμα 4.25 (α,β) καταγράφεται το ετήσιο ισοδύναμο συνολικό κόσθη σε σχέση με το επιτόκιο και το πλήθος των πλαισίων (α) για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, (β) για την υπό μεγέθυνση περιοχή ελαχίστου κόστους. Από αυτό το σχήμα προκύπτει ότι η πιο οικονομικά βιώσιμη λύση συμβαίνει για 125 φ/β πλαίσια και επιτόκιο 0%, για 120

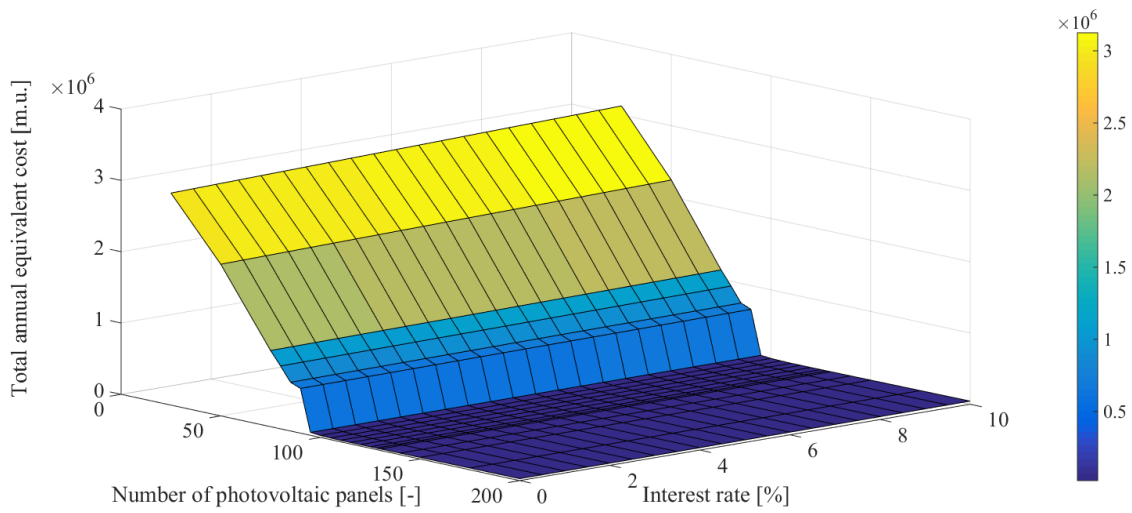
φ/β πλαίσια για επιτόκια από 0,5% ως 7,5%, για 115 πλαίσια για επιτόκια από 8% έως 9,5%, τέλος για 110 φ/β πλαίσια με επιτόκιο 10%.



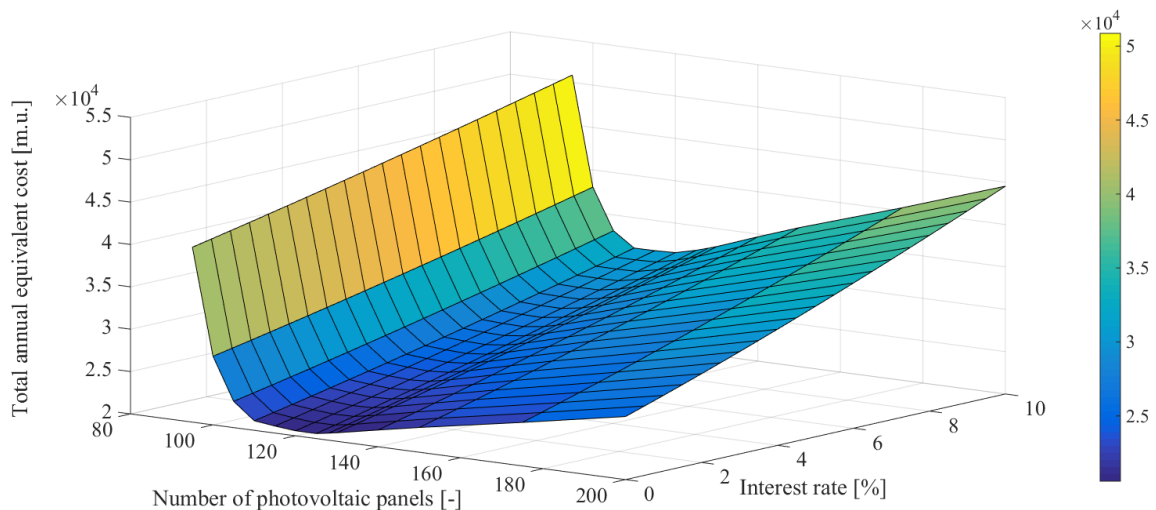
**Σχήμα 4.24:** Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV 108 V και 2342Ah.

**Πίνακας 4.14:** Διαμόρφωση και κόστος κατασκευής συσσωρευτή τύπου RES SOPzV ονομαστικής τάσης 110 V διαφορετικής χωρητικότητας.

α/α	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Τύπος συσσωρευτή	Παράλληλες στήλες [-]	Στοιχεία σε σειρά	Κόστος συσσωρευτή [€]
1	290	Res 2 SOPZV150	2	55	9350
2	436	Res 3 SOPZV225	2	55	12320
3	558	Res 2 SOPZV180	2	55	13970
4	838	Res 3 SOPZV425	2	55	19250
5	1116	Res 4 SOPZV565	2	55	22550
6	1396	Res 5 SOPZV710	2	55	26950
7	1676	Res 6 SOPZV850	2	55	30030
8	1954	Res 7 SOPZV990	2	55	35200
9	2232	Res8 SOPZV1135	2	55	39050
10	2342	Res 7 SOPZV1190	2	55	40700
11	2676	Res8 SOPZV1360	2	55	43670
12	2931	Res 7 SOPZV990	3	55	52800
13	3348	Res8 SOPZV1135	3	55	58575
14	3513	Res 7 SOPZV1190	3	55	61050
15	4014	Res8 SOPZV1360	3	55	65505
16	4464	Res8 SOPZV1135	4	55	78100
17	4684	Res 7 SOPZV1190	4	55	81400
18	5352	Res8 SOPZV1360	4	55	87340
19	5855	Res 7 SOPZV1190	5	55	101750
20	6690	Res8 SOPZV1360	5	55	109175



(α)



(β)

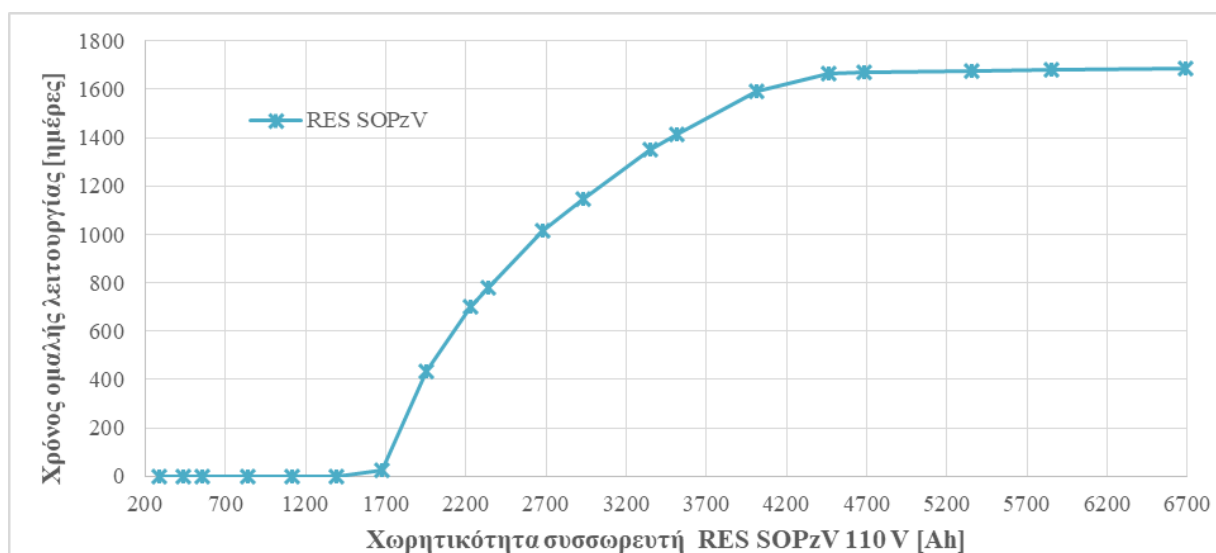
**Σχήμα 4.25 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή RES SOPzV 108 V χωρητικότητας 2342 Ah με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος.

Στη συνέχεια για το πλήθος των 120 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q που βρέθηκαν από το σχήμα 4.15 εξετάζεται η μεταβολή της χωρητικότητας συσσωρευτή τύπου RES SOPzV μεταξύ των τιμών 200 έως 6000 Ah, όπου στον πίνακα 4.15 καταγράφονται τα δεδομένα του κόστους πλαισίων, μετατροπών, λοιπών στοιχείων φ/β πλαισίων, επέκτασης της ταράτσας, συσσωρευτή και φορτιστή και τα σχετικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος, την ημέρα έναρξης και λήξης του δυσμενέστερου σεναρίου.

Στο σχήμα 4.26 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής του χρόνου ομαλής λειτουργίας σε σχέση με τη χωρητικότητα του συσσωρευτή. Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι από 1600 Ah και άνω μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, και από τα 2600 Ah και άνω δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

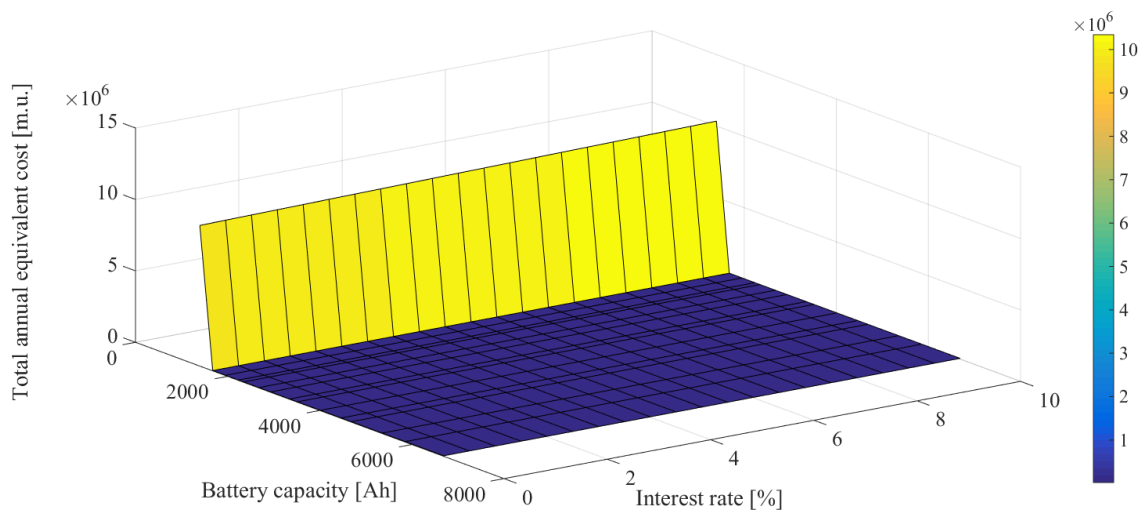
**Πίνακας 4.15:** Ανάλυση ευαισθησίας χωρητικότητας συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V για 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q

α/α	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Για δυσμενέστερο σενάριο		Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη]	Κόστος πλαισίων [€]	Κόστος μετατροπών [€]	Λοιπά κόστη Φ/Β [€]	Κόστος επέκτασης ταράτσας [€]	Κόστος συσσωρευτή [€]	Κόστος φορτιστή [€]
		Ημέρα έναρξης	Ημέρα λήξης							
1	290	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	9350	18000
2	436	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	12320	18000
3	558	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	13970	18000
4	838	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	19250	18000
5	1116	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	22550	18000
6	1396	-	-	0,00274	90600	5634	9623	5000	26950	18000
7	1676	1110	2175	2,91781	90600	5634	9623	5000	30030	18000
8	1954	884	2175	3,53699	90600	5634	9623	5000	35200	18000
9	2232	703	2175	4,03288	90600	5634	9623	5000	39050	18000
10	2342	639	2175	4,20822	90600	5634	9623	5000	40700	18000
11	2676	2167	3826	4,54521	90600	5634	9623	5000	43670	18000
12	2931	2167	3834	4,56712	90600	5634	9623	5000	52800	18000
13	3348	2167	3843	4,59178	90600	5634	9623	5000	58575	18000
14	3513	2167	3847	4,60274	90600	5634	9623	5000	61050	18000
15	4014	2167	3855	4,62466	90600	5634	9623	5000	65505	18000
16	4464	2167	3861	4,64110	90600	5634	9623	5000	78100	18000
17	4684	2167	3863	4,64658	90600	5634	9623	5000	81400	18000
18	5352	2167	3869	4,66301	90600	5634	9623	5000	87340	18000
20	5855	2167	3873	4,67397	90600	5634	9623	5000	101750	18000
21	6690	2167	3878	4,68767	90600	5634	9623	5000	109175	18000

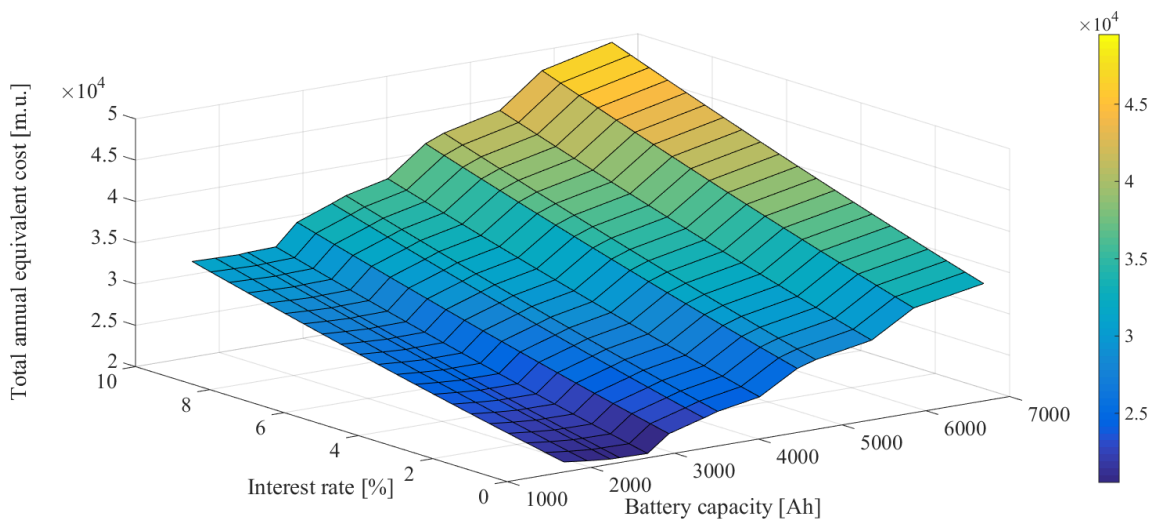


**Σχήμα 4.26:** Χρόνος ομαλής λειτουργίας αυτόνομου συστήματος μεταβλητής χωρητικότητας συσσωρευτή RES SOPzV 108 V με 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q.

Στο σχήμα 4.27 (α,β) καταγράφεται το ετήσιο ισοδύναμο συνολικό κόστος σε σχέση με το επιτόκιο και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή (α) για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, (β) για την υπό μεγέθυνση περιοχή ελαχίστου κόστους. Από αυτό το σχήμα προκύπτει ότι η πιο οικονομικά βιώσιμη λύση συμβαίνει για 2232 Ah για επιτόκια από 3,5% και άνω και για 2676 Ah για επιτόκια από 3% και κάτω.



(α)

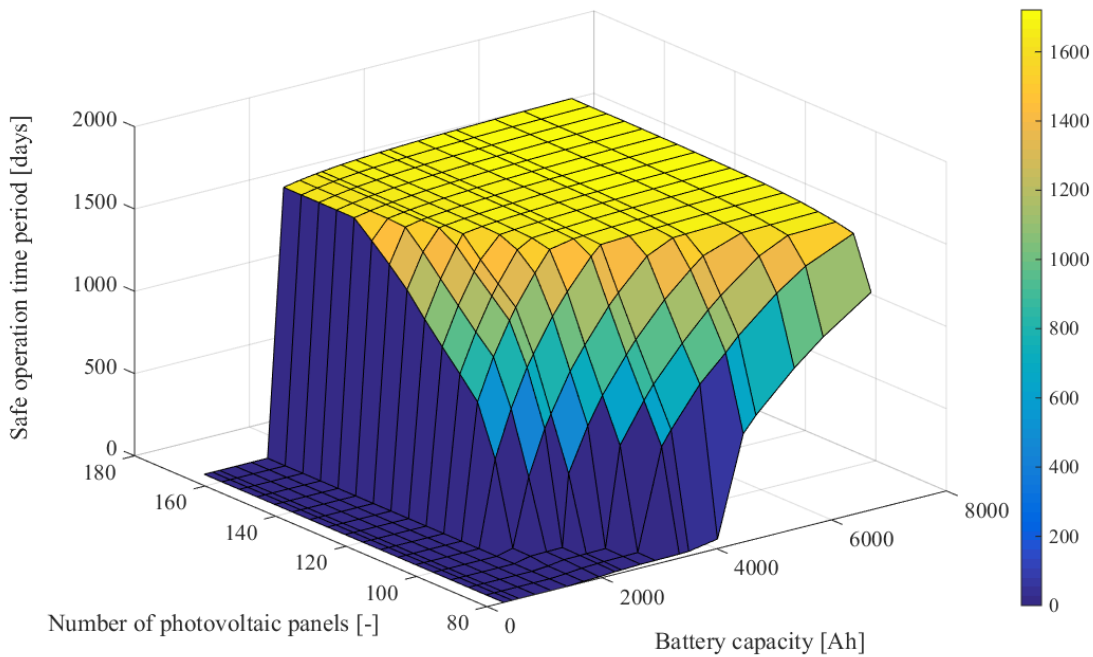


(β)

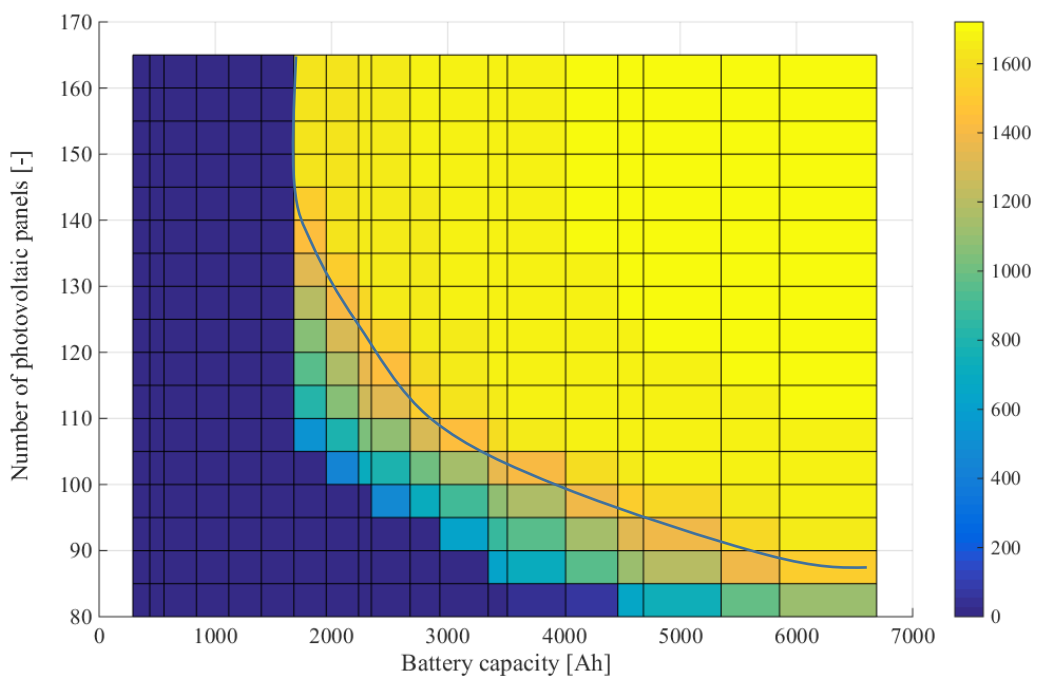
**Σχήμα 4.27 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα με μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV 108 V με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ομαλούς λειτουργίας συστήματος και 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q.

Από αυτή τη στοιχειώδη διαδικασία προέκυψε προσωρινά ότι το καλύτερο οικονομικά αποτέλεσμα είναι 120 φ/β πλαίσια για συσσωρευτή τύπου RES SOPzV χωρητικότητας 2232-2676 Ah. Για την εξασφάλισή του πραγματοποιείται η διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας στο σύνολο του πλήθους των φ/β πλαισίων από 80 έως 165 με βήμα 5 και χωρητικότητας από 290 ως 6680 Ah με ενδιάμεσες σύμφωνα με τον πίνακα 4.14. Δηλαδή εξετάστηκαν  $18 \cdot 21 = 378$  περιπτώσεις.

Στο σχήμα 4.28 παρουσιάζεται ο χρόνος σφαλούς λειτουργίας συσσωρευτή για τα διαφορετικά πλήθη φ/β πλαισίων και τις διαφορετικές τιμές χωρητικότητας συσσωρευτή.



(α)



(β)

**Σχήμα 4.28(α,β):** Ασφαλής χρόνος λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14.

Παρατηρείται ότι έως τα 1400 Ah για οποιοδήποτε πλήθος φ/β πλαισίων το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Από εκεί και πέρα ξεκινά μια σημαντική βελτίωση του

χρόνου ομαλής λειτουργίας όσο αυξάνεται είτε η χωρητικότητα του συσσωρευτή είτε το πλήθος των φ/β πλαισίων, φτάνοντας στον κορεσμό κοντά στις 1720 ημέρες ή 4,7 έτη στη νοητή καμπύλη του σχήματος 4.28β η οποία εκτείνεται για μεγάλες τιμές πλήθους φ/β πλαισίων (άνω των 145 σε χωρητικότητα 1600 Ah για ενδιάμεσες τιμές φ/β πλαισίων υπάρχει μία γραμμική πραβολική μεταβολή από το σημείο 145 φ/β πλαίσια χωρητικότητας συσσωρευτή 1600 Ah ως το σημείο 90 φ/β πλαίσια και 6000 Ah χωρητικότητας συσσωρευτή και μετά πρακτικά σχεδόν ευθυγραμμίζεται στα 85 φ/β πλαίσια όσο και εάν μεγαλώνει η χωρητικότητα. Ομοίως τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 4.16.

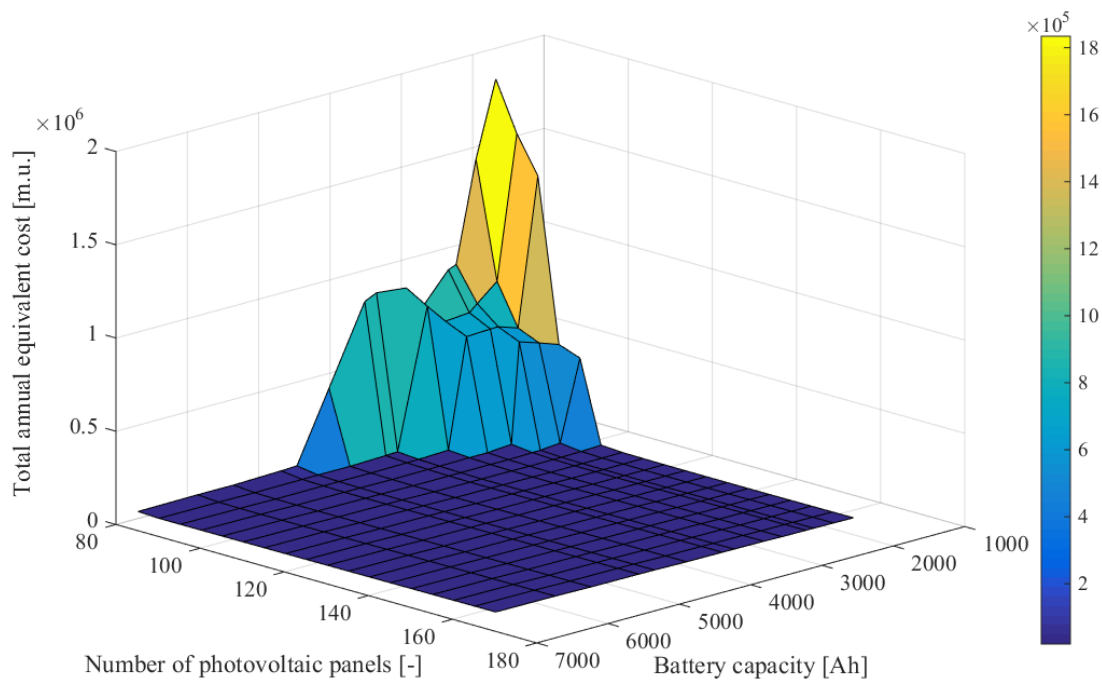
**Πίνακας 4.16:** Ανάλυση ευαισθησίας του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
558	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
838	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1396	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1676	6	7	8	22	24	520	822	946	1065	1187	1320	1427	1526	1620	1621	1621	1621	1622
1954	9	16	22	24	432	802	1071	1177	1291	1407	1526	1631	1637	1638	1639	1639	1639	1640
2232	16	20	23	25	702	1029	1268	1371	1472	1583	1648	1650	1651	1652	1653	1653	1653	1654
2342	17	22	24	465	782	1099	1338	1435	1536	1647	1653	1654	1656	1657	1657	1658	1658	1659
2676	22	24	26	726	1013	1300	1517	1612	1659	1663	1665	1666	1667	1668	1669	1670	1670	1671
2931	23	25	631	889	1149	1427	1638	1662	1667	1671	1672	1674	1675	1676	1676	1677	1677	1678
3348	25	632	867	1099	1349	1605	1666	1672	1676	1680	1682	1683	1684	1685	1686	1686	1686	1687
3513	27	720	951	1177	1415	1662	1670	1675	1680	1683	1685	1687	1688	1688	1689	1690	1690	1690
4014	58	953	1156	1375	1594	1671	1679	1684	1688	1691	1694	1695	1696	1697	1697	1698	1698	1698
4464	658	1105	1318	1518	1666	1678	1685	1690	1694	1697	1699	1701	1702	1702	1703	1703	1703	1704
4684	751	1188	1387	1583	1669	1681	1688	1692	1696	1699	1701	1703	1704	1705	1705	1706	1706	1706
5352	979	1388	1568	1663	1677	1688	1694	1699	1702	1705	1707	1709	1710	1711	1711	1712	1712	1712
5855	1124	1509	1650	1668	1682	1692	1698	1703	1706	1708	1711	1712	1714	1714	1715	1715	1715	1716
6690	1322	1634	1658	1675	1688	1697	1704	1708	1711	1713	1715	1717	1718	1719	1720	1720	1720	1721

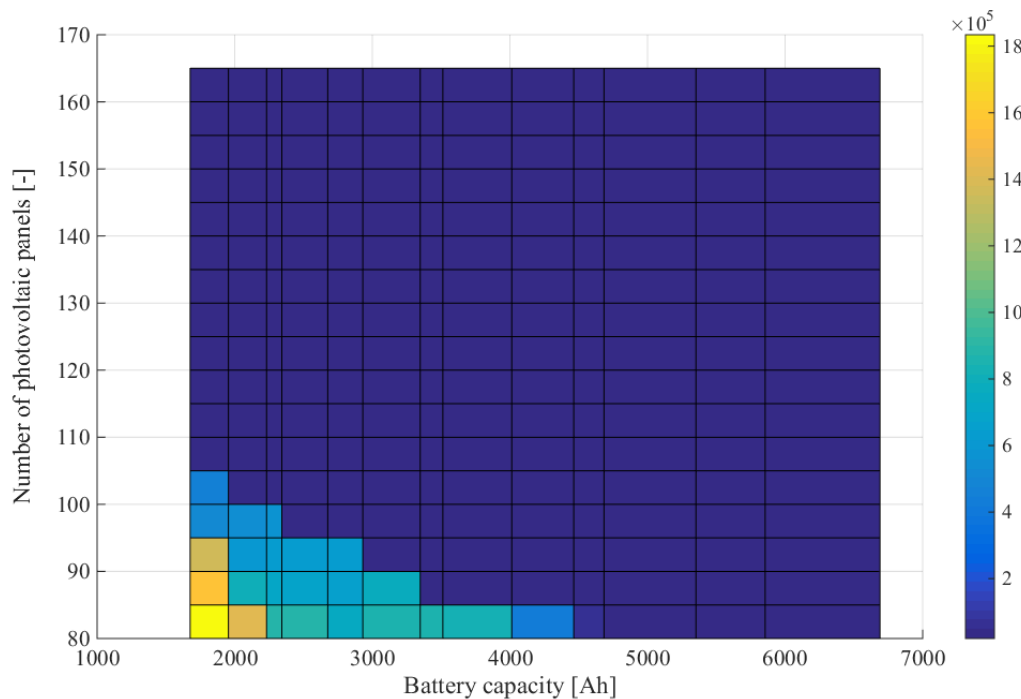
Στη συνέχεια πραγματοποιείται η μελέτη του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής για τις ανωτέρω διαφορετικές 378 περιπτώσεις φ/β πλαισίων και συσσωρευτών για διαφορετικά αποπληθωρισμένα. Στα σχήματα 4.29, 4.30 και 4.31 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αντίστοιχες παραστάσεις για 0%, 3% και 10%. Ομοίως τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 4.17, 4.18 και 4.19.

Για την περίπτωση αποπληθωρισμένου επιτοκίου 0% διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο σημείο είναι 140 φ/β πλαίσια και χωρητικότητα συσσωρευτή 1676 Ah, για 3% 115 φ/β πλαίσια και 2676 Ah και 10% 110 φ/β πλαίσια και 2676 Ah. Συνοπτικά τα ανωτέρω καταγράφονται στον πίνακα 4.20, όπου ως επιτόκιο 1,5% η βέλτιστη λύση είναι 140 φ/β πλαίσια με χωρητικότητα συσσωρευτή 1676 Ah, από επιτόκιο 2% ως 5,5% 115 φ/β πλαίσια και χωρητικότητα συσσωρευτή 2676 Ah, ενώ από 6% και πάνω το πλήθος των φ/β πλαισίων μειώνονται στα 110.



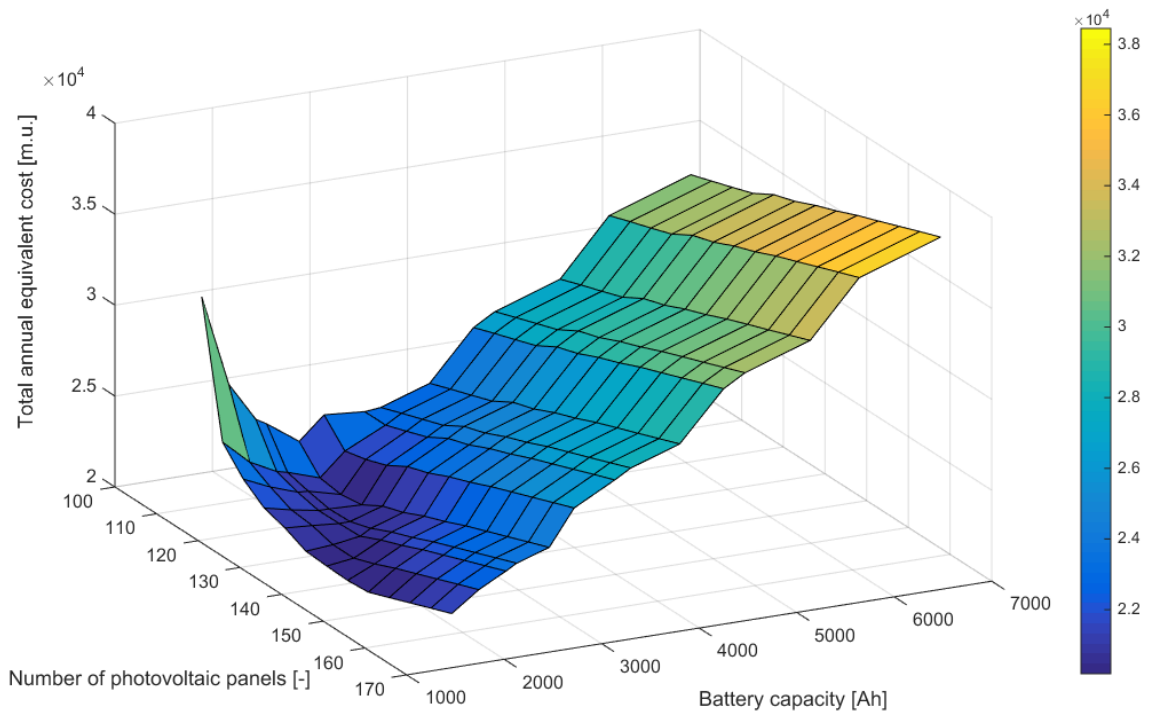


(α)-τριδιάστατη παράσταση



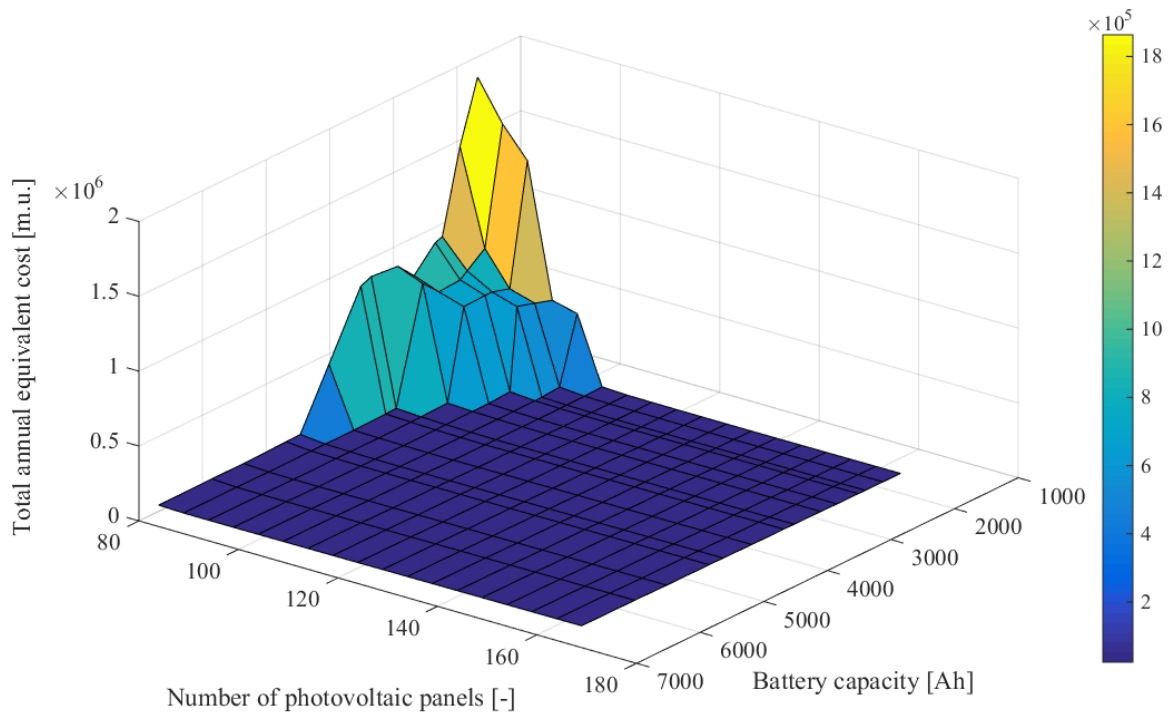
(β)-διδιάστατη προβολή

**Σχήμα 4.29(α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



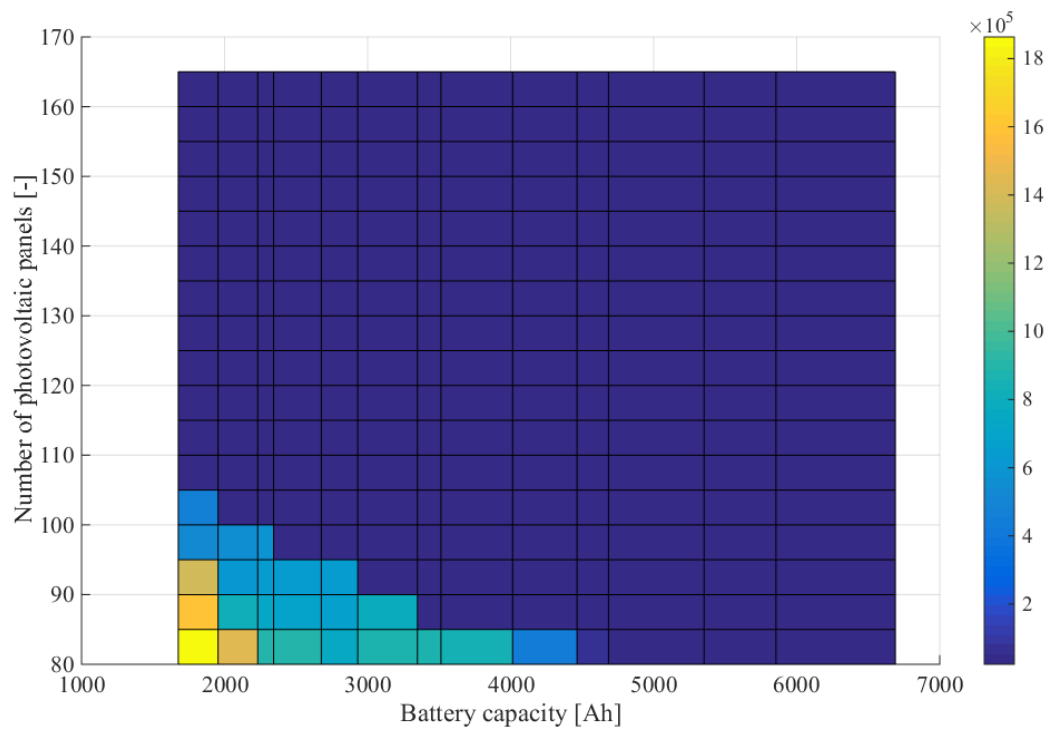
(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.29(γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα

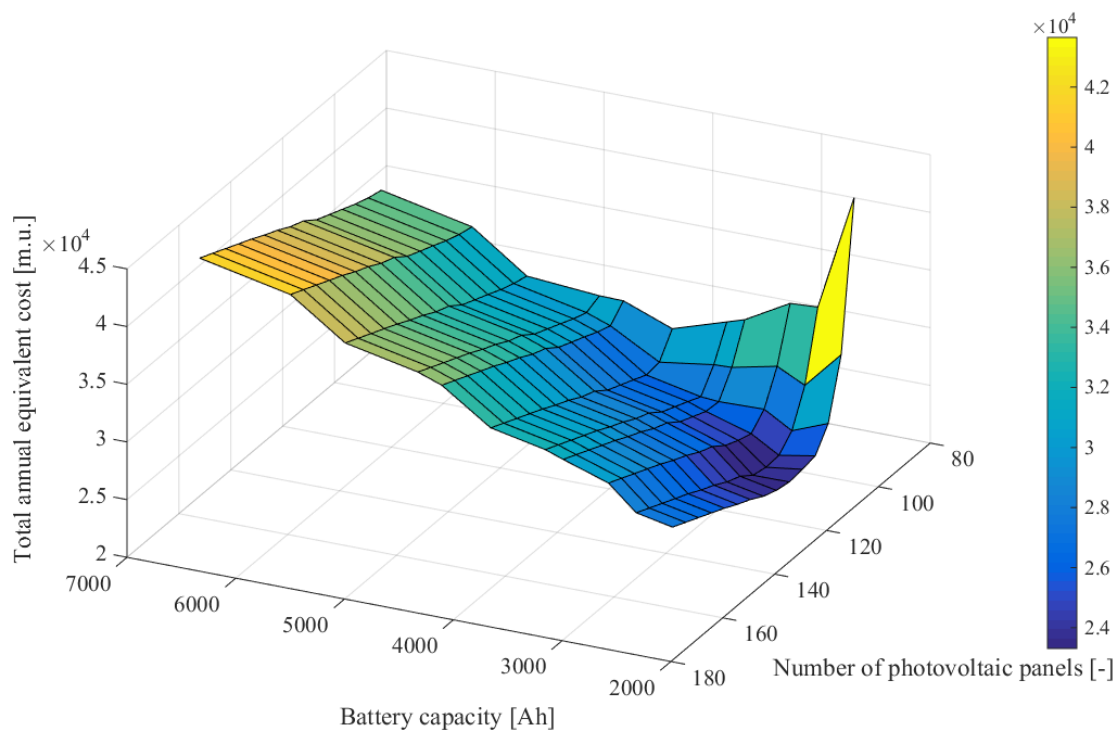


(α)-τρειςδιάστατη παράσταση

Σχήμα 4.30(α): βλ. επόμενη λεζάντα

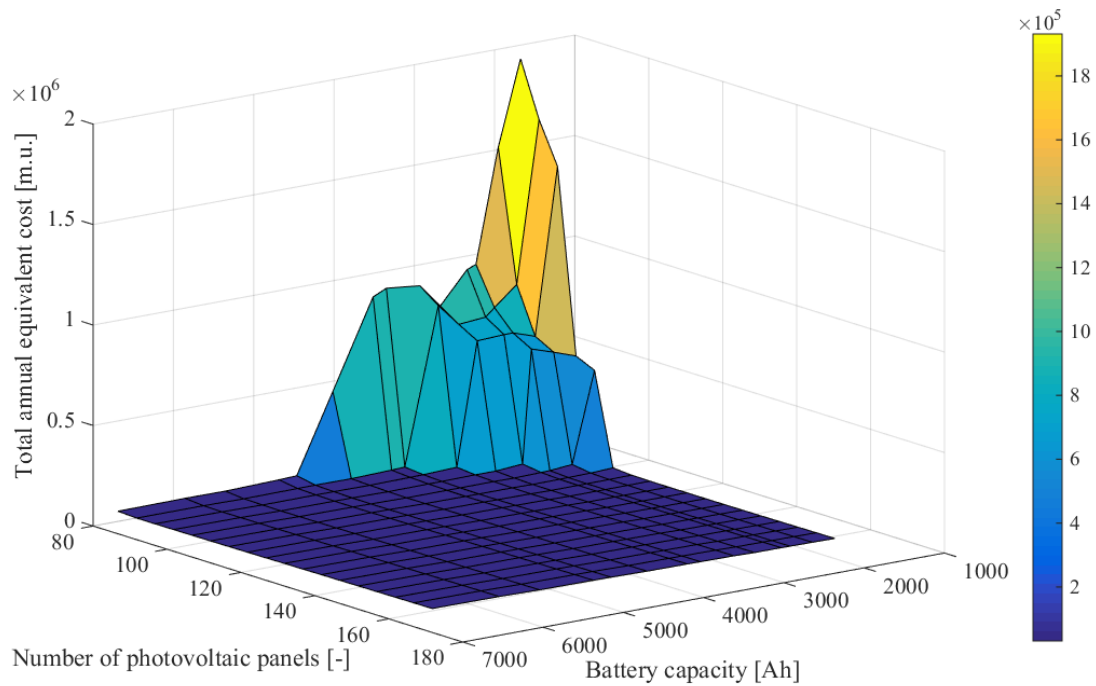


(β)-διάστατη προβολή

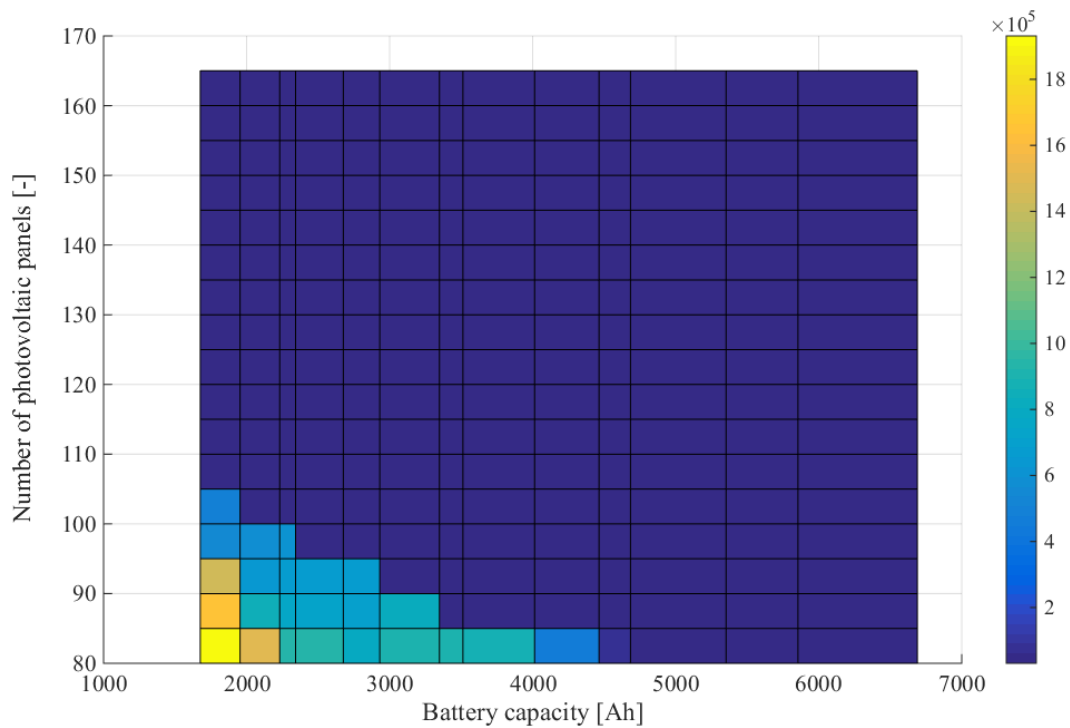


(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

**Σχήμα 4.30(β,γ):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

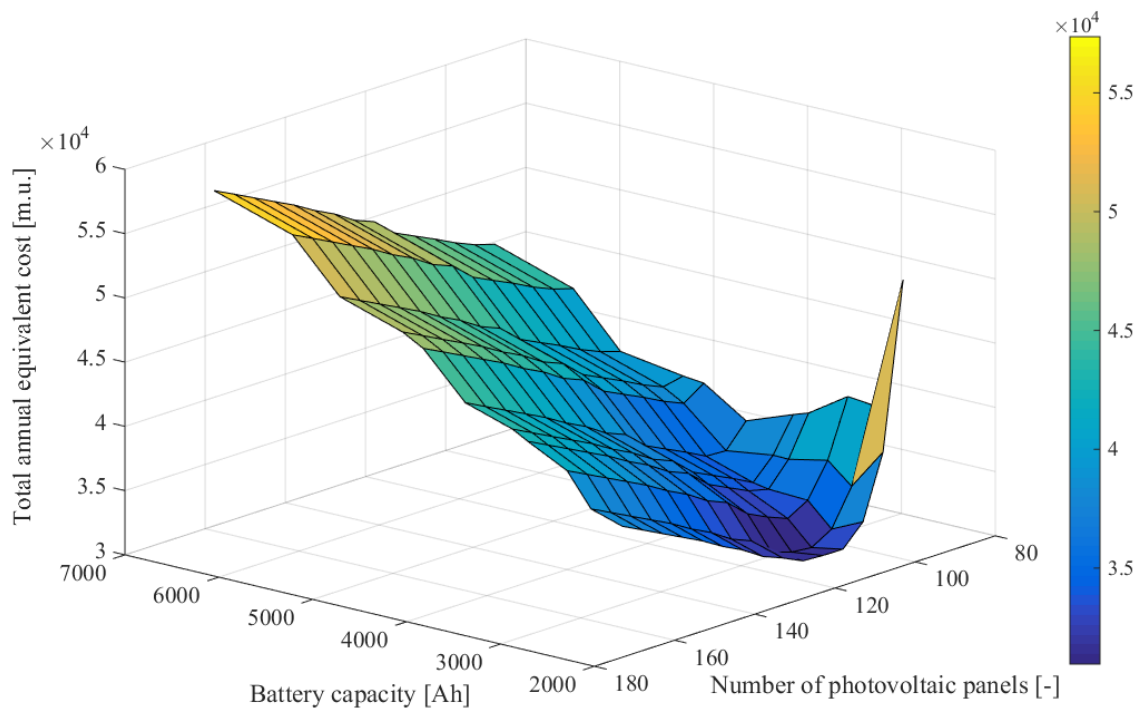


(α)-τρισιδιάστατη παράσταση



(β)-διδιάστατη προβολή

**Σχήμα 4.31(α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για μεταβλητό πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q (από 80 ως 165 με βήμα 5) και μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.31(γ): συνέχεια –βλ. προηγούμενη λεζάντα

**Πίνακας 4.17:** Επίσης ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1676	1834337	1573759	1378424	506927	465804	30623	23365	22063	21215	20853	20319	20239	20187	20276	20718	21164	21611	22053
1954	1435068	810909	592305	544035	38839	25564	22026	21392	20875	20751	20435	20435	20853	21353	21795	22241	22688	23129
2232	898341	720571	628012	578832	29402	23396	21271	20873	20606	20623	20664	21196	21637	22138	22579	23025	23471	23913
2342	881365	683159	627284	40649	28095	23062	21133	20829	20594	20639	21003	21539	21975	22475	22921	23362	23809	24250
2676	732037	672057	621365	30657	24833	21805	20537	20365	20531	21204	21589	22125	22566	23066	23506	23947	24393	24834
2931	845425	778789	38847	30380	25871	23050	21796	22072	22484	23152	23542	24070	24510	25008	25455	25894	26341	26780
3348	862707	41738	32965	28155	24947	22865	22863	23264	23679	24345	24727	25261	25700	26198	26637	27083	27530	27968
3513	832818	38858	31737	27634	24846	22952	23373	23780	24187	24859	25240	25766	26205	26711	27149	27588	28034	28481
4014	419742	32997	28988	26090	24097	23853	24270	24674	25087	25758	26130	26663	27102	27599	28045	28483	28930	29376
4464	50835	33706	29934	27480	26209	26533	26948	27344	27751	28417	28794	29316	29753	30259	30695	31141	31588	32024
4684	47074	32918	29726	27470	26900	27219	27631	28036	28441	29107	29482	30004	30440	30935	31382	31818	32264	32711
5352	40075	30876	28636	27871	28107	28430	28849	29240	29653	30317	30691	31211	31647	32142	32588	33023	33470	33916
5855	40554	32520	30813	30967	31178	31494	31902	32284	32692	33363	33721	34251	34672	35178	35611	36058	36504	36938
6690	37655	32296	32339	32492	32705	33026	33416	33807	34213	34882	35251	35766	36199	36691	37124	37570	38017	38450

Από τη σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο ειδών συσσωρευτών όπως καταγράφονται στους πίνακες 4.12 και 4.20 και όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του σχήματος 4.32 πλεονεκτεί η χρήση του RES SOPzV για όλα τα επιτόκια δανεισμού. Η προτεινόμενη λύση θα έδινε 115 φ/β πλαίσια με RES8SOPzV1360 με δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά για τυπική τιμή επιτοκίου 3%.

**Πίνακας 4.18:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1676	1863603	1599201	1401016	516576	474905	33318	26053	24820	24046	23854	23378	23415	23450	23647	24182	24722	25261	25797
1954	1458452	825042	603241	554316	41647	28264	24775	24219	23781	23830	23576	23695	24205	24820	25355	25894	26434	26969
2232	913771	733414	639538	589690	32130	26124	24069	23752	23568	23761	23869	24526	25061	25675	26209	26749	27289	27823
2342	896567	695468	638825	43502	30829	25810	23954	23733	23583	23802	24237	24900	25429	26043	26582	27117	27656	28190
2676	745055	684244	632861	33408	27566	24582	23397	23309	23565	24422	24878	25540	26074	26688	27222	27756	28295	28829
2931	860272	792706	41793	33267	28759	25986	24815	25182	25687	26539	27000	27655	28187	28800	29339	29872	30412	30945
3348	877899	44748	35912	31100	27912	25889	25987	26480	26989	27839	28291	28952	29484	30096	30628	31167	31707	32239
3513	847600	41864	34705	30609	27848	26015	26543	27042	27542	28398	28850	29503	30035	30654	31186	31718	32257	32797
4014	428426	35986	31985	29113	27159	26998	27522	28019	28524	29379	29822	30482	31013	31624	32164	32695	33235	33774
4464	54212	36900	33140	30719	29496	29911	30433	30922	31421	32271	32719	33367	33897	34517	35046	35586	36126	36655
4684	50446	36151	32981	30760	30248	30659	31177	31675	32172	33021	33468	34116	34645	35254	35794	36323	36863	37403
5352	43436	34173	31968	31259	31565	31979	32504	32988	33494	34341	34786	35433	35961	36570	37109	37638	38178	38717
5855	44144	36064	34400	34622	34902	35310	35824	36299	36799	37654	38083	38739	39253	39872	40399	40939	41478	42005
6690	41320	35953	36063	36284	36566	36979	37474	37958	38457	39309	39750	40391	40917	41522	42048	42588	43128	43654

**Πίνακας 4.19:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q και συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V ως προς το πλήθος των πλαισίων και τη χωρητικότητα συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.14 για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

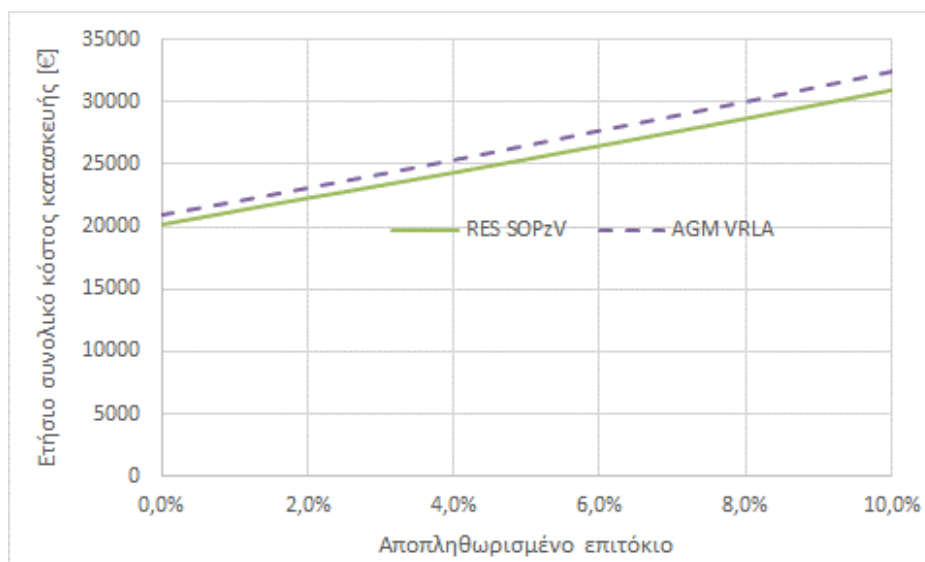
Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]																	
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1676	1931506	1658348	1453645	539508	496605	40371	33155	32126	31571	31873	31565	31939	32219	32724	33516	34312	35109	35901
1954	1512849	858221	629104	578702	48921	35350	32038	31709	31502	32054	31975	32435	33202	34133	34924	35720	36517	37308
2232	949905	763631	666760	615403	39239	33293	31463	31382	31439	32140	32431	33442	34233	35163	35954	36750	37547	38338
2342	932177	724461	666080	50860	37959	33035	31411	31429	31520	32250	32875	33890	34676	35606	36402	37193	37989	38780
2676	775650	712961	660018	40553	34712	31891	30961	31116	31623	33003	33650	34666	35456	36386	37176	37967	38763	39554
2931	895075	825402	49363	40752	36294	33693	32781	33402	34163	35538	36190	37197	37986	38914	39711	40500	41297	42086
3348	913496	52450	43518	38745	35652	33829	34214	34963	35728	37100	37744	38757	39546	40473	41262	42058	42855	43644
3513	882260	49567	42369	38337	35686	34060	34883	35638	36393	37773	38415	39421	40209	41144	41933	42721	43518	44314
4014	449086	43681	39746	36980	35163	35245	36064	36817	37578	38956	39589	40602	41390	42317	43113	43901	44697	45494
4464	62760	45107	41428	39130	38063	38734	39550	40295	41050	42423	43061	44062	44849	45784	46570	47367	48163	48950
4684	59000	44467	41396	39307	38966	39631	40445	41198	41952	43324	43961	44961	45747	46672	47469	48254	49051	49847
5352	52007	42675	40602	40060	40553	41222	42042	42781	43543	44913	45549	46548	47333	48258	49054	49839	50636	51432
5855	53292	45191	43674	44082	44549	45211	46020	46750	47507	48884	49504	50512	51282	52218	53001	53797	54594	55377
6690	50687	45381	45674	46081	46551	47218	48008	48747	49502	50878	51508	52502	53284	54206	54988	55785	56581	57364

#### 4.5.3. Σύγκριση βασικών λύσεων με βελτιστοποιημένη επιλογή αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά και συσσωρευτή

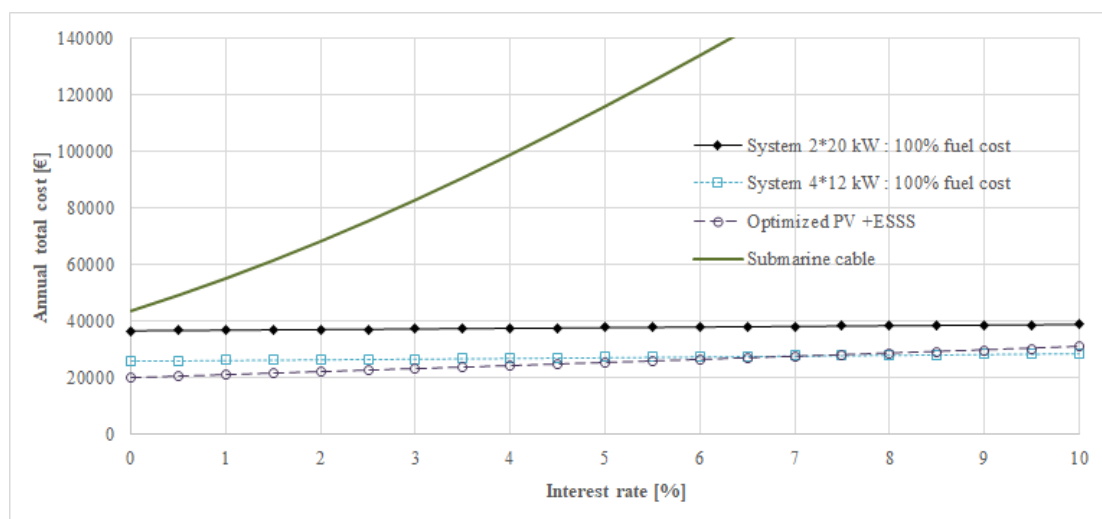
Όμοια με την παράγραφο 4.4.9 από τη σύγκριση όλων των προηγούμενων λύσεων η εφαρμογή του βέλτιστου αυτόνομου συστήματος φ/β πλαισίων και συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20 πλεονεκτεί έναντι της αντίστοιχης εφαρμογής με συσσωρευτή AGM VRLA Narada του πίνακα 4.12 ανατρέποντας την αρχική εκτίμηση της προμελέτης. Επιπλέον πλεονεκτεί έναντι της χρήσης ντιζελογεννητριών 4\*12 kW για επιτόκια ως 7% και έναντι όλων των άλλων λύσεων (υποβρυχίου καλωδίου, ντιζελογεννητριών 2\*20kW) για όλα τα επιτόκια, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.33.

**Πίνακας 4.20:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή RES SOPzV σε ονομαστική τάση 110 V.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Πλήθος πλαισίων	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής [€]
1	0,0%	140	1676	20187
2	0,5%	140	1676	20708
3	1,0%	140	1676	21238
4	1,5%	140	1676	21778
5	2,0%	115	2676	22299
6	2,5%	115	2676	22800
7	3,0%	115	2676	23309
8	3,5%	115	2676	23825
9	4,0%	115	2676	24347
10	4,5%	115	2676	24877
11	5,0%	115	2676	25413
12	5,5%	115	2676	25956
13	6,0%	110	2676	26495
14	6,5%	110	2676	27034
15	7,0%	110	2676	27578
16	7,5%	110	2676	28128
17	8,0%	110	2676	28683
18	8,5%	110	2676	29245
19	9,0%	110	2676	29811
20	9,5%	110	2676	30383
21	10%	110	2676	30961



**Σχήμα 4.32:** Συγκριτική παράσταση ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών ανάμεσα στους τύπους συσσωρευτή RES SOPzV και AGM VRLA Narada για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια.



**Σχήμα 4.33:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

#### 4.6. Σχηματισμός Συνάρτησης Ελάχιστου Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής-Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Σταθμού

##### 4.6.1. Διαμόρφωση αλγορίθμου

Στην προηγούμενη ανάλυση κατά τη διαμόρφωση είχαν προ-επιλεγεί συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια από την εταιρεία SOLBIAN, τα οποία ήταν κατάλληλα για ναυπηγικές εφαρμογές και μετατροπείς από την εταιρεία SMA, η οποία θεωρείται μία από τις κορυφαίες του κλάδου τους.

Στην παρούσα παράγραφο ο σκοπός είναι να βρεθεί η συνάρτηση ελάχιστου κόστους του υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής συμπεριλαμβάνοντας τόσο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τους αντίστοιχους αναστροφείς, όσο και το κόστος της καταλαμβανόμενης έκτασης για ένα εύρος τιμών ισχύος από μία ελάχιστη τιμή  $P_{min}$  ως μία μέγιστη τιμή  $P_{max}$  (π.χ. από 100 W ως 25 kW). Για κάθε τιμή ισχύος  $P$  υπολογίζεται ένα συγκεκριμένο κόστος για το οποίο αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη βέλτιστη διαμόρφωση του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Για κάθε είδος πλαισίου που πρόκειται να εξεταστεί καταγράφονται τα εξής στοιχεία, τα οποία καταχωρούνται σε κατάλληλο αρχείο excel (PV\_panel.xlsx) και παρουσιάζονται στο παράρτημα Π2.1:

1. αύξων αριθμός φωτοβολταϊκού πλαισίου ως ένα είδος αριθμού ταυτότητας,
2. όνομα εταιρίας κατασκευής φωτοβολταϊκού πλαισίου (σύνολο λέξεων),
3. τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου με βάση την εταιρία (σύνολο λέξεων),
4. ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου  $P_{nom\_PV}$  σε W υπό συνθήκες STC, (φάσμα φωτός με αέρια μάζα 1,5, ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m<sup>2</sup> στους 25 °C),



5. ονομαστική τάση υπό συνθήκες μέγιστης απόδοσης ισχύος  $V_{MPP}$  σε V και STC,
6. ονομαστική ένταση ρεύματος υπό συνθήκες μέγιστης απόδοσης ισχύος  $I_{MPP}$  σε A και STC,
7. τάση ανοικτοκύκλωσης  $V_{OC}$  σε V υπό συνθήκες STC,
8. ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  σε A υπό συνθήκες STC,
9. μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $l_{PV-x}$  σε mm,
10. πλάτος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $l_{PV-y}$  σε mm,
11. ύψος / πάχος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $l_{PV-z}$  σε mm,
12. κόστος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $Cost_{PV}$  σε € συμπεριλαμβάνοντας το κόστος αγοράς / προμήθειας, το κόστος μεταφοράς και το φόρο προστιθέμενης αξίας με συντελεστή προσαύξησης 24% χωρίς τυχούσες προσωρινές εκπτώσεις,
13. τυπική διάρκεια ζωής  $T_{PV}$  σε έτη, όπου στην περίπτωση φωτοβολταϊκών πλαισίων με πιστοποιητικό αντοχής στο θαλασσινό νερό (salt water) θα λαμβάνεται διπλάσια των ετών εγγύησης, αλλιώς μόνο τα έτη εγγύησης (οι περισσότερες εταιρείες πλην της SOLBIAN αναφέρουν ρητά ότι δεν εγγυώνται τα υλικά τους σε θαλασσινό περιβάλλον),
14. θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος – πλαισίου σε °C με τυπική τιμή τους 30 °C,
15. τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C,
16. θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής της μέγιστης ισχύος σε %/°C,
17. θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής της τάσης ανοικτοκύκλωσης σε %/°C,
18. θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης σε %/°C,
19. μέγιστη τάση (λόγω διηλεκτρικής αντοχής)  $V_{max\_PV}$  σε V που μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο ως προς τη γη,
20. μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης σε A.

Για κάθε είδος αναστροφέα / μετατροπέα από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο που πρόκειται να εξεταστεί καταγράφονται τα εξής στοιχεία, τα οποία καταχωρούνται σε κατάλληλο αρχείο excel (PV\_inverter.xlsx) και παρουσιάζονται στο παράρτημα Π2.2:

1. αύξων αριθμός αναστροφέα ως ένα είδος αριθμού ταυτότητας,
2. όνομα εταιρίας κατασκευής αναστροφέα (σύνολο λέξεων),
3. τύπος αναστροφέα με βάση την εταιρία (σύνολο λέξεων),
4. ονομαστική ισχύς εισόδου αναστροφέα  $P_{nom\_INV}$  σε W,
5. μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας (λόγω διηλεκτρικής αντοχής)  $V_{max\_INV}$  σε V στο τμήμα του συνεχούς ρεύματος που μπορεί να εφαρμοστεί στο αναστροφέα ως προς τη γη,
6. ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $V_{MPP\_INV\_min}$  σε V,
7. μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $V_{MPP\_INV\_max}$  σε V,
8. ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας  $V_{nom\_INV}$  σε V, η οποία αν δε δίνεται, θα προκύπτει από τη μέση τιμή της ελάχιστης τάσης λειτουργίας  $V_{MPP\_INV\_min}$  και της μέγιστης τάσης  $V_{MPP\_INV\_max}$  υπό συνθήκες λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος,
9. ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας αναστροφέα  $V_{INV\_min}$  σε V,

10. αρχική συνεχής τάση / τάση εκκίνησης λειτουργίας αναστροφέα  $V_{INV\_start}$  σε V, η οποία είναι ίση ή μεγαλύτερη της ελάχιστης τάσης λειτουργίας αναστροφέα  $V_{INV\_min}$ , καθώς αντιστοιχεί σε συνθήκες ανοικτοκύκλωσης,
11. μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $I_{nom\_INV}$  σε A, όπου σε περίπτωση πολλών στοιχειοσειρών με διαφορετικές εντάσεις θα λαμβάνεται η μικρότερη τιμή,
12. μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $I_{sc\_INV}$  σε A, όπου σε περίπτωση πολλών στοιχειοσειρών με διαφορετικές εντάσεις θα λαμβάνεται η μικρότερη τιμή,
13. πλήθος εισόδων αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $N_{INV\_inputs}$ ,
14. πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $N_{INV\_strings\_per\_input}$ , το οποίο τίθεται ίσο με τη μονάδα όταν δεν προσδιορίζεται,
15. κόστος αναστροφέα  $Cost_{INV}$  σε € συμπεριλαμβάνοντας το κόστος αγοράς / προμήθειας, το κόστος μεταφοράς και το φόρο προστιθέμενης αξίας με συντελεστή προσαύξησης 24% χωρίς τυχούσες προσωρινές εκπτώσεις,
16. τυπική διάρκεια ζωής αναστροφέα  $T_{INV}$  σε έτη, όπου στα τυπικά έτη έγγυσης που δίνονται θα προστίθονται άλλα 5 έτη σε όλες τις εταιρείες,
17. τυπικός βαθμός απόδοσης  $\eta_{INV}$  κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές,
18. πλήθος φάσεων αναστροφέα καταχωρώντας τις τιμές 1 ή 3 αντίστοιχα για μονοφασικό ή τριφασικό,
19. ονομαστική εναλλασσόμενη τάση  $V_{nom\_INV\_AC}$  σε V, η οποία πρέπει να είναι 230 V για μονοφασικό αναστροφέα και 400 V για τριφασικό αναστροφέα,
20. ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης  $f_{nom\_INV}$  σε Hz, η οποία πρέπει να είναι 50 Hz λόγω του συγκεκριμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας,
21. κάτω όριο επαγωγικού συντελεστή ισχύος, το οποίο πρέπει να είναι 0,8 ή μικρότερο για να καλύπτει τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (επαγωγικός συντελεστής φορτίου κυμαίνεται από 0,8 ως 1),
22. κάτω όριο χωρητικού συντελεστή ισχύος, το οποίο πρέπει να είναι 0,8 ή μικρότερο για να καλύπτει τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (χωρητικός συντελεστής φορτίου κυμαίνεται από 0,8 ως 1).

Τα υπόλοιπα στοιχεία ως προς την έξοδο, όπως περί ποιότητας ισχύος, δε χρειάζονται να καταγραφούν επί του παρόντος.

Για κάθε είδος φωτοβολταϊκού πλαισίου με βάση τα όρια της απαιτούμενης ισχύος μεταξύ των ορίων  $P_{min}$  και  $P_{max}$  υπολογίζονται τα αντίστοιχα όρια πλήθους πλαισίων  $N_{min\_PV}$  και  $N_{max\_PV}$  ως εξής:

$$N_{min\_PV} = \left\lceil \frac{P_{min}}{P_{nom\_PV}} \right\rceil \quad (4.81)$$

$$N_{max\_PV} = \left\lfloor \frac{P_{max}}{P_{nom\_PV}} \right\rfloor \quad (4.82)$$

Για κάθε τρέχον πλήθος πλαισίων  $N_{PV}$  μεταξύ των τιμών  $N_{min\_PV}$  και  $N_{max\_PV}$  έλεγχεται για κάθε προτεινόμενο αναστροφέα τα ακόλουθα:

- ♦ Έλεγχος ως προς το είδος του αναστροφέα, καθώς, αν είναι μονοφασικός, θα πρέπει να τοποθετηθούν 3 ή 6 κτλ., ενώ, αν είναι τριφασικός, όσοι υπολογιστούν.

- ◆ Έλεγχος ως προς το επίπεδο της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης, η οποία πρέπει να κυμαίνεται στην περίπτωση μονοφασικού μεταξύ 220 ως 240 V και στην περίπτωση τριφασικού μεταξύ 380 ως 420 V.
- ◆ Έλεγχος ως προς το επίπεδο της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης, η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 49,5 ως 50,5 Hz.
- ◆ Έλεγχος ως προς το εύρος τιμών του συντελεστή ισχύος στην έξοδο του αναστροφέα, ο οποίος πρέπει να καλύπτει τις τιμές τουλάχιστον από 0,8 επαγωγικό συντελεστή ως 1 ωμικό συντελεστή και από 0,8 χωρητικό συντελεστή ως 1 ωμικό συντελεστή (πιο μικρό εύρος δεν επιτρέπεται).
- ◆ Αν προκύψει ο αναστροφέας εκτός απαιτούμενων προδιαγραφών, τίθεται ότι το ισοδύναμο κόστος του λαμβάνει «άπειρη» τιμή (πρακτικά γίνεται ίσο με  $10^{15}$  €) και γίνεται η μετάβαση σε άλλο αναστροφέα, διαφορετικά ακολουθεί το επόμενο βήμα.
- ◆ Υπολογίζεται το μέγιστο πλήθος των εν σειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_s$  που επιτρέπεται να τοποθετηθούν σε μία στοιχειοσειρά του συγκεκριμένου αναστροφέα:

$$N_s = \min \left\{ \left\lfloor \frac{V_{\max\_PV}}{1.15 \cdot V_{OC}} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{V_{\max\_INV}}{1.15 \cdot V_{OC}} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{V_{MPP\_INV\_max}}{V_{MPP}} \right\rfloor, \text{round} \left( \frac{V_{nom\_INV}}{V_{MPP}} \right) \right\} \quad (4.83)$$

Όπου στο δεξιό σκέλος ο πρώτος όρος εκφράζει το μέγιστο ακέραιο πλήθος των στοιχείων που προσδιορίζεται λόγω της μέγιστης τάσης λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων ως προς γη σε σχέση με την τάση ανοικτοκύκλωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου (προσαυξημένο με ένα συντελεστή ασφαλείας +15% εξαιτίας διαφοροποίησής της λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής, εύρους τιμών κατά τη βιομηχανική διαδικασία παραγωγής κ.λπ.), ο δεύτερος όρος το μέγιστο ακέραιο πλήθος των στοιχείων που προσδιορίζεται λόγω της μέγιστης συνεχούς τάσης εισόδου λειτουργίας του αναστροφέα ως προς γη σε σχέση με την τάση ανοικτοκύκλωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου (προσαυξημένο με τον αντίστοιχο συντελεστή ασφαλείας +15%), ο τρίτος όρος το μέγιστο ακέραιο πλήθος των στοιχείων λόγω της μέγιστης συνεχούς τάσης λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος του αναστροφέα σε σχέση με την ονομαστική τάση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό συνθήκες λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος, ο τέταρτος όρος το ακέραιο πλήθος των στοιχείων (μέσω στρογγυλοποίησης) λόγω της ονομαστικής συνεχούς τάσης λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος του αναστροφέα σε σχέση με την ονομαστική τάση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό συνθήκες λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος. Από τη σχέση (4.83) απαιτείται να προκύψει πλήθος μεγαλύτερο ή ίσο του 1, διαφορετικά ο αναστροφέας είναι εκτός απαιτούμενων προδιαγραφών και τίθεται το ισοδύναμο κόστος του να λαμβάνει «άπειρη» τιμή και γίνεται η μετάβαση σε άλλο αναστροφέα, διαφορετικά ακολουθεί το επόμενο βήμα.

- ◆ Υπολογίζεται το αναγκαίο πλήθος των στοιχειοσειρών  $N_{strings}$  που χρειάζονται για τη διαμόρφωση του φωτοβολταϊκού σταθμού πλήθους πλαισίων  $N_{PV}$ :

$$N_{strings} = \left\lceil \frac{N_{PV}}{N_s} \right\rceil \quad (4.84)$$

Δηλαδή, αν το πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_{PV}$  είναι 65 και το μέγιστο πλήθος των εν σειρά πλαισίων  $N_s$  είναι 32, τότε ο αναγκαίος αριθμός στοιχειοσειρών είναι ίσος με  $65/32 = 2,03125$ , όπου με στρογγυλοποίηση προς τα άνω προκύπτει 3.

- ♦ Ακολουθώς ελέγχεται αν επιτυγχάνεται το ελάχιστο επίπεδο τάσης για την ομαλή λειτουργία του αλγόριθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος υπολογίζοντας αρχικά το ελάχιστο πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_{minPV\_string}$  σε στοιχειοσειρά ως εξής:

$$N_{minPV\_string} = \left\lceil \frac{N_{PV}}{N_{strings}} \right\rceil \quad (4.85)$$

Δηλαδή, αν το πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_{PV}$  είναι 65 και ο αναγκαίος αριθμός στοιχειοσειρών  $N_{strings}$  είναι 3, τότε το ελάχιστο πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_{minPV\_string}$  είναι ίσο με  $65/3 = 21,6667$ , όπου με στρογγυλοποίηση προς τα κάτω προκύπτει 21. Ακολουθώς ελέγχεται η ικανοποίηση της συνθήκης τάσης λειτουργίας, όπου η ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας του αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $V_{MPP\_INV\_min}$  πρέπει να είναι μικρότερη από την παραγόμενη τάση εκ μέρους του ελάχιστου πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων  $N_{minPV\_string}$  τα οποία λειτουργούν με την ονομαστική τάση υπό συνθήκες μέγιστης ισχύος  $V_{MPP}$  και συνθήκες STC:

$$V_{MPP\_INV\_min} \leq N_{minPV\_string} \cdot V_{MPP} \quad (4.86)$$

Αν η σχέση (4.86) δεν ικανοποιείται, ο αναστροφέας είναι εκτός απαιτούμενων προδιαγραφών και τίθεται το ισοδύναμο κόστος του να λαμβάνει «άπειρη» τιμή και γίνεται η μετάβαση σε άλλο αναστροφέα, διαφορετικά ακολουθεί το επόμενο βήμα.

- ♦ Ακολουθώς γίνεται ο έλεγχος ως προς τα αναπτυσσόμενα ρεύματα ανά είσοδο αναστροφέα που λειτουργεί ο αλγόριθμος παραγωγής μέγιστης ισχύος. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ο μέγιστος αριθμός παράλληλων στοιχειοσειρών ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος  $N_{PVmax\_strings\_inputINV}$  ως προς το ρεύμα μέγιστης ισχύος λειτουργίας, το ρεύμα βραχυκύκλωσης και το πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος από την πλευρά του κατασκευαστή του αναστροφέα:

$$N_{PVmax\_strings\_inputINV} = \min \left\{ \left\lfloor \frac{1.10 \cdot I_{nom\_INV}}{1.25 \cdot I_{MPP}} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{I_{SC\_INV}}{1.25 \cdot I_{SC}} \right\rfloor, N_{INV\_strings\_per\_input} \right\} \quad (4.87)$$

Όπου στο δεξιό σκέλος ο πρώτος όρος εκφράζει το μέγιστο ακέραιο πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο που προσδιορίζεται λόγω της μέγιστης έντασης συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $I_{nom\_INV}$  του αναστροφέα (προσαυξημένο κατά 10% για συνθήκες παροδικής φόρτισης) σε σχέση με την ονομαστική ένταση ρεύματος υπό συνθήκες μέγιστης ισχύος  $I_{MPP}$  του φωτοβολταϊκού πλαισίου (προσαυξημένο με ένα συντελεστή ασφαλείας +25% εξαιτίας διαφοροποίησής της λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής, εύρους τιμών κατά τη βιομηχανική διαδικασία παραγωγής κ.λπ.), ο δεύτερος όρος το μέγιστο ακέραιο πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο που προσδιορίζεται λόγω της μέγιστης έντασης συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $I_{SC\_INV}$  του αναστροφέα (χωρίς καμία προσαύξηση,

καθώς ήδη το φαινόμενο είναι μεταβατικό) σε σχέση με την ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  του φωτοβολταϊκού πλαισίου (προσαυξημένο με τον αντίστοιχο συντελεστή ασφαλείας +25% λόγω κατασκευαστικών και θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων), ο τρίτος όρος το μέγιστο ακέραιο πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο δεν μπορεί να ξεπεράσει το πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $N_{INV\_strings\_per\_input}$  του αναστροφέα που δίνει ο κατασκευαστής. Από τη σχέση (4.87) απαιτείται να προκύψει πλήθος μεγαλύτερο ή ίσο του 1, διαφορετικά ο αναστροφέας είναι εκτός απαιτούμενων προδιαγραφών και τίθεται το ισοδύναμο κόστος του να λαμβάνει «άπειρη» τιμή και γίνεται η μετάβαση σε άλλο αναστροφέα, διαφορετικά ακολουθεί το επόμενο βήμα.

- ◆ Υπολογίζεται το αναγκαίο πλήθος των αναστροφέων ως εξής: Στην περίπτωση που είναι τριφασικός ο αναστροφέας, τότε το αναγκαίο πλήθος του  $N_{INV}$  υπολογίζεται ως το μέγιστο ανάμεσα στο ηλικό του αναγκαίου πλήθους των στοιχειοσειρών  $N_{strings}$  προς το σύνολο των διαθέσιμων στοιχειοσειρών ανά αναστροφέα που δίνεται από το γινόμενο του μέγιστου αριθμού παράλληλων στοιχειοσειρών ανά είσοδο αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος  $N_{PVmax\_strings\_inputINV}$  και του πλήθους εισόδων αλγορίθμου μέγιστης απόδοσης ισχύος  $N_{INV\_inputs}$  από την πλευρά του κατασκευαστή του αναστροφέα και στην ονομαστική ισχύ του συνόλου των φ/β πλαισίων  $N_{PV} \cdot P_{nom\_PV}$  προς την ονομαστική ισχύ του αναστροφέα  $P_{nom\_INV}$ :

$$N_{INV} = \max \left\{ \left\lceil \frac{N_{strings}}{N_{PVmax\_strings\_inputINV} \cdot N_{INV\_inputs}} \right\rceil, \left\lceil \frac{N_{PV} \cdot P_{nom\_PV}}{P_{nom\_INV}} \right\rceil \right\} \quad (4.88)$$

Αν υπάρχει απαίτηση αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας, τότε το αναγκαίο πλήθος τριφασικών αναστροφέων  $N_{INV}$  δεν μπορεί να είναι μικρότερο του 2.

Αν ο αναστροφέας είναι μονοφασικός, για να διαμορφωθεί ένα τριφασικό δίκτυο απαιτείται ένας αναστροφέας ανά φάση, οπότε το πλήθος των αναστροφέων θα πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του 3, το οποίο επιτυγχάνεται ως εξής:

$$N_{INV} = 3 \cdot \left\lceil \frac{N_{INV}}{3} \right\rceil \quad (4.89)$$

Αν υπάρχει απαίτηση αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας, τότε το αναγκαίο πλήθος μονοφασικών αναστροφέων  $N_{INV}$  δεν μπορεί να είναι μικρότερο του 6.

- ◆ Το ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συγκεκριμένου αναστροφέα υπολογίζεται ως εξής:
  - Υπολογισμός του συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου για συγκεκριμένο επιτόκιο  $i$  και τυπική διάρκεια ζωής αναστροφέα  $T_{INV}$  ως εξής:

$$CRF_{INV} = \begin{cases} \frac{1}{T_{INV}}, & i = 0 \\ \frac{i \cdot (1+i)^{T_{INV}}}{(1+i)^{T_{INV}} - 1}, & i \neq 0 \end{cases} \quad (4.90)$$

- Υπολογισμός του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής και λειτουργίας του αναστροφέα ως εξής:

$$Cost_{INVeq} = CRF_{INV} \cdot N_{INV} \cdot Cost_{INV} + (1 - \eta_{INV}) \cdot E_{ideal\_PV} \cdot c_{no\_supply} \quad (4.91)$$

Όπου ο πρώτος όρος αφορά την ετήσια απόσβεση κεφαλαίου προμήθειας αναστροφών για το αναγκαίο πλήθος αναστροφών  $N_{INV}$  με κόστος  $Cost_{INV}$  ανά τεμάχιο, ο δεύτερος όρος αφορά το κόστος της απωλεσθείσας ενέργειας από την ιδανικά παραγόμενη ενέργεια εκ μέρους των φωτοβολταϊκών πλαισίων  $E_{ideal\_PV}$  λόγω το βαθμού απόδοσης του αναστροφέα  $\eta_{INV}$  με ένα ενδεικτικό κόστος απώλειας ενέργειας ανά kWh ίσο με  $c_{no\_supply}$ , προκειμένου να ληφθεί υπόψη η απόδοση του αναστροφέα (δηλαδή μεταξύ δύο αναστροφών με παραπλήσιο κόστος και διάρκεια ζωής να προτιμηθεί εκείνος με την καλύτερη απόδοση). Ο υπολογισμός της ιδανικά παραγόμενης ενέργειας εκ μέρους των φωτοβολταϊκών πλαισίων  $E_{ideal\_PV}$  γίνεται ως εξής: Έστω μία τυπική ημέρα του έτους που λαμβάνεται να είναι η ανοιξιάτικη ή η φθινοπωρινή ισημερία, κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία σε μία επιφάνεια επί της γης χωρίς μεσολάβηση σύννεφων, σκεδάσεων, σκιάσεων κ.λπ. μεταβάλλεται ημιτονοειδώς μεταξύ των ωρών 06:00 και 18:00, οπότε με σταθερό βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου και αγνοώντας την τάση εκκίνησης που απαιτείται για τη λειτουργία του αναστροφέα η αντίστοιχη παραγόμενη ισχύς από πλευράς φωτοβολταϊκών πλαισίων πλήθους  $N_{PV}$  ονομαστικής ισχύος  $P_{nom\_PV}$  ανά πλαίσιο μεταβάλλεται ημιτονοειδώς κατά τη διάρκεια της ημέρας ως εξής:

$$P(t) = \begin{cases} N_{PV} \cdot P_{nom\_PV} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{24}(t-12)\right), & 6 \leq t \leq 18 \\ 0, & 0 \leq t < 6 \ \& \ 18 \leq t < 24 \end{cases} \quad (4.92)$$

Οπότε η ιδανική ημερήσια ενέργεια είναι ίση με:

$$E_{ideal\_day} = \int_0^{24} P(t) \cdot dt = \int_6^{18} N_{PV} \cdot P_{nom\_PV} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{24}(t-12)\right) \cdot dt = \frac{N_{PV} \cdot P_{nom\_PV}}{\frac{2 \cdot \pi}{24}} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{24}(t-12)\right) \Big|_6^{18} \Rightarrow$$

$$E_{ideal\_day} = \frac{N_{PV} \cdot P_{nom\_PV}}{\frac{2 \cdot \pi}{24}} \cdot 2 = N_{PV} \cdot P_{nom\_PV} \cdot \frac{24}{\pi} \quad (4.93)$$

Η αντίστοιχη μέση ιδανική ισχύς είναι ίση με:

$$P_{ideal} = \frac{E_{ideal\_day}}{24} = N_{PV} \cdot P_{nom\_PV} \cdot \frac{1}{\pi} \quad (4.94)$$

Συνεπώς η μέση ετήσια ιδανική παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι ίση με:

$$E_{ideal\_PV} = t_{year} \cdot P_{ideal} = 8760 [h] \cdot N_{PV} \cdot \frac{P_{nom\_PV} [W]}{1000} \cdot \frac{1}{\pi} = \frac{87.6}{\pi} \cdot N_{PV} \cdot P_{nom\_PV} [kWh] \quad (4.95)$$

Για τον υπολογισμό του ενδεικτικού κόστους απώλειας ενέργειας ανά kWh θεωρείται μία τυπική ντιζελογεννήτρια των 20 kW, η οποία ακολουθεί την καμπύλη κατανάλωσης σχέσης (4.3) στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας της παράγει 20 kWh με μία κατανάλωση πετρελαίου 5,0707 kg/h, δηλαδή 0,253535 kg/kWh. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος κίνησης πετρελαίου ανέρχεται στα

1,35 €/l και με τυπική πυκνότητα 0,832 kg/l προκύπτει ότι το ελάχιστο κόστος ενέργειας είναι 0,411 €/kWh, οπότε λαμβάνεται ως τυπικό κόστος απώλειας ενέργειας  $C_{no\_supply}$  ίσο με 0,42 €/kWh .

Αφού εξεταστούν για κάθε πλήθος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $N_{PV}$  το σύνολο όλων των αναστροφών επιλέγεται εκείνος που δίνει τη μικρότερη τιμή κόστους κατασκευής και λειτουργίας από τη σχέση (4.91) μαζί με το αντίστοιχο πλήθος του.

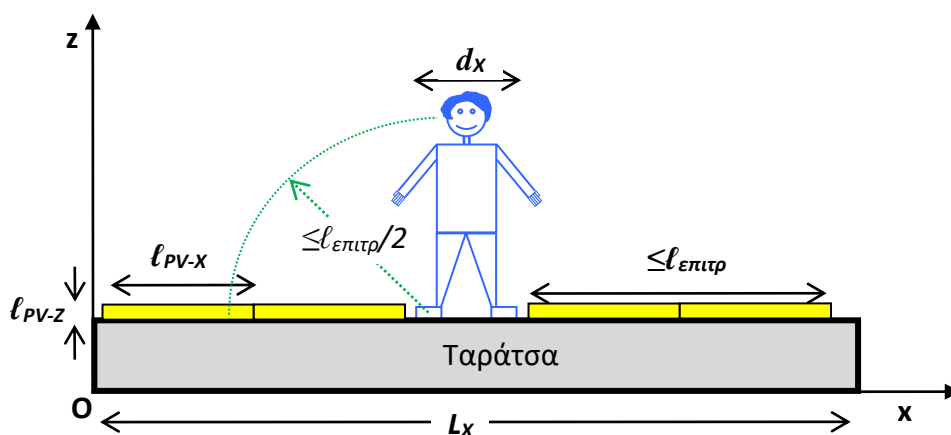
Ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων προσδιορίζεται αρχικά ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου για συγκεκριμένο επιτόκιο  $i$  και τυπική διάρκεια ζωής πλαισίου  $T_{PV}$  ως εξής:

$$CRF_{PV} = \begin{cases} \frac{1}{T_{PV}}, & i = 0 \\ \frac{i \cdot (1+i)^{T_{PV}}}{(1+i)^{T_{PV}} - 1}, & i \neq 0 \end{cases} \quad (4.96)$$

Οπότε το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής  $Cost_{PVeq}$  με βάση το πλήθος των πλαισίων  $N_{PV}$  και το κόστος φωτοβολταϊκού πλαισίου  $Cost_{PV}$  ανά πλαίσιο είναι ίσο με:

$$Cost_{PVeq} = CRF_{PV} \cdot N_{PV} \cdot Cost_{PV} \quad (4.97)$$

Ως προς το κόστος «κατάληψης έκτασης γης» από την πλευρά των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην παρούσα περίπτωση χρειάζεται να υπολογιστεί πρώτα από όλα το μεγαλύτερο πλήθος πλαισίων που μπορεί να τοποθετηθεί στις εκάστοτε διαστάσεις της ταράτσας. Ειδικότερα, έστω ότι το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πλαισίου ως προς το μήκος και το πλάτος είναι  $l_{PV-x}$  και  $l_{PV-y}$  αντίστοιχα, τα πλαίσια τοποθετούνται επί της ταράτσας διαστάσεων  $L_x$  και  $L_y$  κατά τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  χωρίς πρόσθετη κλίση ή σκελετό στήριξης που δίνει κλίση. Επιπλέον υπάρχουν βατοί διάδρομοι πλάτους  $dx$  και  $dy$  κατά τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  (με τιμή 0,40 m), ενώ για να είναι δυνατή η πρόσβαση ανθρώπου πάνω από τα πλαίσια μεταξύ δύο διαδρόμων το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος είναι  $l_{επιτρ}$  (με τιμή 2,00 m), όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.34.

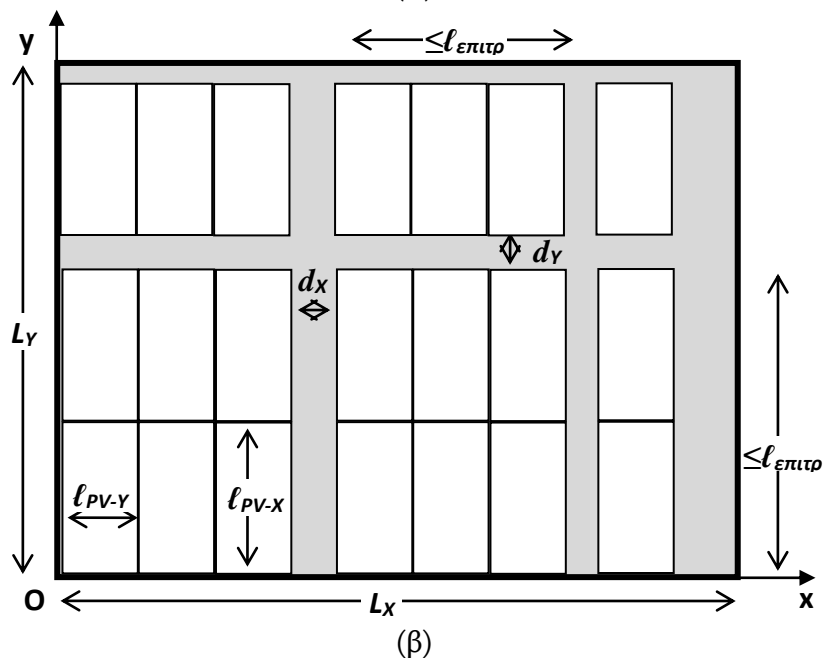
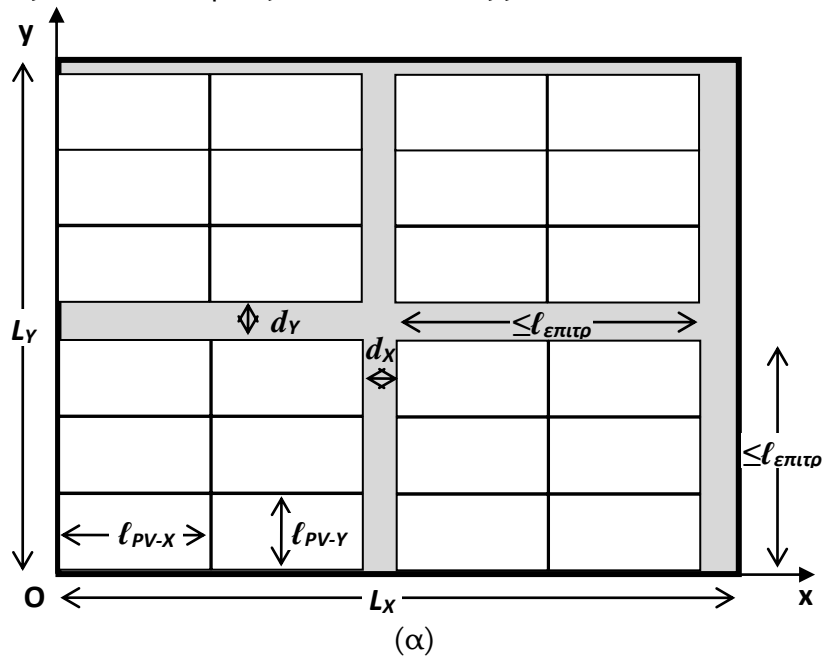


**Σχήμα 4.34:** Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τον άξονα  $xOx'$  επισημαίνοντας ελάχιστες αποστάσεις διαδρόμων και μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη υπό διαμόρφωση ομάδων φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ταράτσας.

Οπότε τα πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν επί της ταράτσας με τους εξής τρόπους:

- τοποθέτηση πλαισίου με το μήκος του  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$ , οπότε το πλάτος του  $l_{PV-y}$  είναι κατά τον άξονα  $yOy'$ ,
- τοποθέτηση πλαισίου με το πλάτος του  $l_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $xOx'$ , οπότε το μήκος του  $l_{PV-x}$  είναι κατά τον άξονα  $yOy'$ ,

Ενδιάμεσες τοποθετήσεις, δηλαδή με γωνία επί του επιπέδου  $Oxy$  της ταράτσας δεν υλοποιούνται, διότι γενικά δίνουν χειρότερα αποτελέσματα (λιγότερα πλαίσια) και ήδη η ταράτσα είναι προσανατολισμένη στον άξονα Βορρά-Νότου.



**Σχήμα 4.35:** Χωροθέτηση πλαισίων επί κάτοψης ταράτσας: (α) μήκος πλαισίου  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και πλάτος του  $l_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $yOy'$ , (β) πλάτος πλαισίου  $l_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και μήκος του  $l_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $yOy'$ , επισημαίνοντας ελάχιστες αποστάσεις διαδρομών και μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη υπό διαμόρφωση ομάδων φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ταράτσας.



Αρχικά προσδιορίζεται το πλήθος των πλαισίων  $n_{PV-x}$  που επιτρέπεται να τοποθετηθούν μεταξύ δύο διαδρόμων, αν είναι κατά μήκος του πλαισίου  $\ell_{PV-x}$  και εφόσον υπάρχει διάδρομος κατά τον αντίστοιχο άξονα που τοποθετούνται, το οποίο είναι ίσο με:

$$n_{PV-x} = \left\lfloor \frac{\ell_{\text{επιτρ}}}{\ell_{PV-x}} \right\rfloor \quad (4.98)$$

Αντίστοιχα προσδιορίζεται το πλήθος των πλαισίων  $n_{PV-y}$  που επιτρέπεται να τοποθετηθούν μεταξύ δύο διαδρόμων, αν είναι κατά πλάτος του πλαισίου  $\ell_{PV-y}$ , και εφόσον υπάρχει διάδρομος κατά τον αντίστοιχο άξονα που τοποθετούνται, το οποίο είναι ίσο με:

$$n_{PV-y} = \left\lfloor \frac{\ell_{\text{επιτρ}}}{\ell_{PV-y}} \right\rfloor \quad (4.99)$$

Αν κατά τον άξονα  $xOx'$  τοποθετείται το πλαίσιο με το μήκος  $\ell_{PV-x}$  και δεν υπάρχει διάδρομος, δηλαδή θεωρητικά το πλάτος του διαδρόμου είναι μηδενικό (πρακτικά για  $d_x < 0.001$  m), τότε το συνολικό πλήθος των πλαισίων  $n_{tot-x}$  είναι ίσο με:

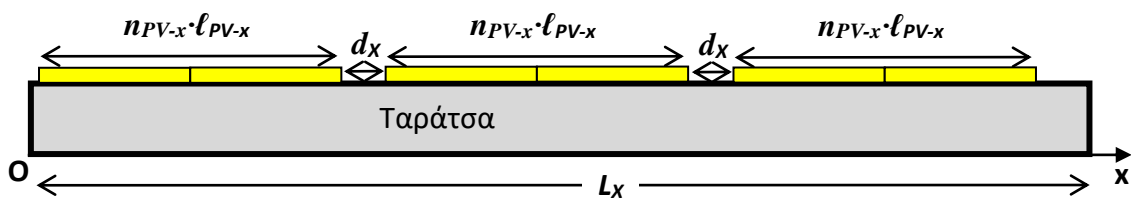
$$n_{tot-x} = \left\lfloor \frac{L_x}{\ell_{PV-x}} \right\rfloor \quad (4.100)$$

Αν κατά τον άξονα  $xOx'$  τοποθετείται το πλαίσιο με το μήκος  $\ell_{PV-x}$  και υπάρχει διάδρομος πλάτους  $d_x$ , τότε σύμφωνα με το σχήμα 4.36 ο αριθμός των πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  που χωρούν στο μήκος  $L_x$  προσδιορίζεται ως εξής:

$$L_x > (n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x}) \cdot n_{team-x} + d_x \cdot (n_{team-x} - 1) \quad (4.101)$$

$$\Rightarrow L_x + d_x > (n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x}) \cdot n_{team-x} + d_x \cdot n_{team-x} \Rightarrow \frac{L_x + d_x}{n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x} + d_x} > n_{team-x} \Rightarrow$$

$$n_{team-x} = \left\lfloor \frac{L_x + d_x}{n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x} + d_x} \right\rfloor \quad (4.102)$$



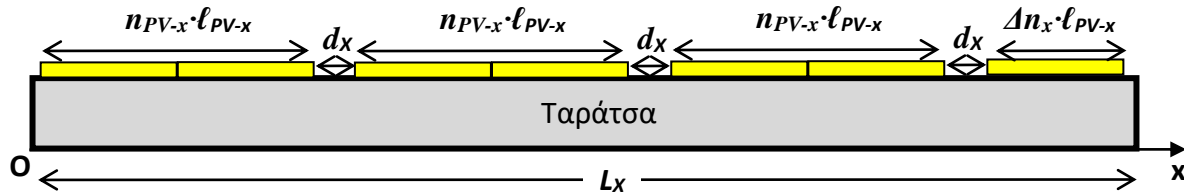
**Σχήμα 4.36:** Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια με το μήκος τους  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  με διαδρόμους με πλάτους  $d_x$  προς προσδιορισμό του αριθμού των πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  ( $n_{team-x}=3$ ,  $n_{PV-x}=2$ ).

Ενδεχομένως μπορεί να τοποθετηθεί ένας επιπλέον διάδρομος πλάτους  $d_x$  και ένα πλήθος πλαισίων  $\Delta n_x$  κατά τον άξονα  $xOx'$  μικρότερο του πλήθους πλαισίων  $n_{PV-x}$ . Για να υπολογιστεί αυτή η δυνατότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.37, προσδιορίζεται το υπόλοιπο μήκος  $\Delta L_x$  που αφήνει η κατάληψη πλήθους πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  μαζί με τους αντίστοιχους διαδρόμους:

$$\Delta L_x = L_x - n_{team-x} \cdot (n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x} + d_x) \quad (4.103)$$

Αν το υπόλοιπο μήκος είναι μεγαλύτερο του μηδενός, τότε το πρόσθετο πλήθος πλαισίων  $\Delta n_x$  είναι ίσο με:

$$\Delta n_x = \left\lfloor \frac{\Delta L_x}{\ell_{PV-x}} \right\rfloor \quad (4.104)$$



**Σχήμα 4.37:** Τομή ταράτσας με τοποθετημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια με το μήκος τους  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  με διαδρόμους με πλάτους  $d_x$  και με αριθμό πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-x}$  προς προσδιορισμό πρόσθετου πλήθους πλαισίων  $\Delta n_x$  ( $n_{team-x}=3$ ,  $n_{PV-x}=2$ ,  $\Delta n_x=1$ ).

Οπότε το συνολικό πλήθος των πλαισίων  $n_{tot-x}$  κατά τη διεύθυνση  $xOx'$  είναι ίσο με:

$$n_{tot-x} = n_{team-x} \cdot n_{PV-x} + \Delta n_x \quad (4.105)$$

Αν κατά τον άξονα  $yOy'$  τοποθετείται το πλαίσιο με το πλάτος  $\ell_{PV-y}$  και δεν υπάρχει διάδρομος, δηλαδή θεωρητικά το πλάτος του διαδρόμου είναι μηδενικό (πρακτικά για  $d_y < 0.001$  m), τότε το συνολικό πλήθος των πλαισίων  $n_{tot-y}$  είναι ίσο με:

$$n_{tot-y} = \left\lfloor \frac{L_y}{\ell_{PV-y}} \right\rfloor \quad (4.106)$$

Αν κατά τον άξονα  $yOy'$  τοποθετείται το πλαίσιο με το πλάτος  $\ell_{PV-y}$  και υπάρχει διάδρομος πλάτους  $d_y$ , τότε ο αριθμός των πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-y}$  που χωρούν στο μήκος  $L_y$  προσδιορίζεται όμοια ως προς τον άξονα  $xOx'$ :

$$n_{team-y} = \left\lfloor \frac{L_y + d_y}{n_{PV-y} \cdot \ell_{PV-y} + d_y} \right\rfloor \quad (4.107)$$

Ενδεχομένως μπορεί να τοποθετηθεί ένας επιπλέον διάδρομος πλάτους  $d_y$  και ένα πλήθος πλαισίων  $\Delta n_y$  κατά τον άξονα  $yOy'$  μικρότερο του πλήθους πλαισίων  $n_{PV-y}$ . Για να υπολογιστεί αυτή η δυνατότητα, όμοια με την προηγούμενη ανάλυση κατά τον άξονα  $xOx'$ , προσδιορίζεται το υπόλοιπο μήκος  $\Delta L_y$  που αφήνει η κατάληψη πλήθους πλήρων ομάδων πλαισίων  $n_{team-y}$  μαζί με τους αντίστοιχους διαδρόμους:

$$\Delta L_y = L_y - n_{team-y} \cdot (n_{PV-y} \cdot \ell_{PV-y} + d_y) \quad (4.108)$$

Αν το υπόλοιπο μήκος είναι μεγαλύτερο του μηδενός, τότε το πρόσθετο πλήθος πλαισίων  $\Delta n_y$  είναι ίσο με:

$$\Delta n_y = \left\lfloor \frac{\Delta L_y}{\ell_{PV-y}} \right\rfloor \quad (4.109)$$

Οπότε το συνολικό πλήθος των πλαισίων  $n_{tot-y}$  κατά τη διεύθυνση  $yOy'$  είναι ίσο με:

$$n_{tot-y} = n_{team-y} \cdot n_{PV-y} + \Delta n_Y \quad (4.110)$$

Συνεπώς το συνολικό πλήθος πλαισίων πάνω στην επιφάνεια της ταράτσας  $n_{tot}$  είναι ίσο με:

$$n_{tot} = n_{tot-x} \cdot n_{tot-y} \quad (4.111)$$

Επιπλέον εξετάζεται η περίπτωση εναλλαγής των πλευρών του πλαισίου ως προς τις διευθύνσεις, δηλαδή το πλαίσιο τοποθετείται κατά το πλάτος του  $\ell_{PV-y}$  ως προς τον άξονα  $xOx'$  και κατά το μήκος του  $\ell_{PV-x}$  ως προς τον άξονα  $yOy'$ , οπότε οι αντίστοιχες σχέσεις τροποποιούνται ως εξής:

$$(4.100): \text{για } d_x < 0.001 \text{ m} \rightarrow n_{tot-x} = \left\lfloor \frac{L_x}{\ell_{PV-y}} \right\rfloor \quad (4.112)$$

$$(4.102): \text{για } d_x > 0.001 \text{ m} \rightarrow n_{team-x} = \left\lfloor \frac{L_x + d_x}{n_{PV-y} \cdot \ell_{PV-y} + d_x} \right\rfloor \quad (4.113)$$

$$(4.103): \Delta L_x = L_x - n_{team-x} \cdot (n_{PV-y} \cdot \ell_{PV-y} + d_x) \quad (4.114)$$

$$(4.104): \text{για } \Delta L_x > 0 \rightarrow \Delta n_x = \left\lfloor \frac{\Delta L_x}{\ell_{PV-y}} \right\rfloor \quad (4.115)$$

$$(4.105): n_{tot-x} = n_{team-x} \cdot n_{PV-y} + \Delta n_x \quad (4.116)$$

$$(4.106): \text{για } d_y < 0.001 \text{ m} \rightarrow n_{tot-y} = \left\lfloor \frac{L_y}{\ell_{PV-x}} \right\rfloor \quad (4.117)$$

$$(4.107): \text{για } d_y > 0.001 \text{ m} \rightarrow n_{team-y} = \left\lfloor \frac{L_y + d_y}{n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x} + d_y} \right\rfloor \quad (4.118)$$

$$(4.108): \Delta L_y = L_y - n_{team-y} \cdot (n_{PV-x} \cdot \ell_{PV-x} + d_y) \quad (4.119)$$

$$(4.109): \text{για } \Delta L_y > 0 \rightarrow \Delta n_y = \left\lfloor \frac{\Delta L_y}{\ell_{PV-x}} \right\rfloor \quad (4.120)$$

$$n_{tot-y} = n_{team-y} \cdot n_{PV-x} + \Delta n_Y \quad (4.121)$$

Στην παρούσα περίπτωση εξετάζονται οι εξής τέσσερις συνδυασμοί:

- τοποθέτηση πλαισίου με το μήκος του  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και με το πλάτος του  $\ell_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $yOy'$  με ύπαρξη διαδρόμου μόνο κατά τον άξονα  $xOx'$ ,
- τοποθέτηση πλαισίου με το μήκος του  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και με το πλάτος του  $\ell_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $yOy'$  με ύπαρξη διαδρόμου μόνο κατά τον άξονα  $yOy'$ ,
- τοποθέτηση πλαισίου με το πλάτος του  $\ell_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και με το μήκος του  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $yOy'$  με ύπαρξη διαδρόμου μόνο κατά τον άξονα  $xOx'$ ,

- τοποθέτηση πλαισίου με το πλάτος του  $\ell_{PV-y}$  κατά τον άξονα  $xOx'$  και με το μήκος του  $\ell_{PV-x}$  κατά τον άξονα  $yOy'$  με ύπαρξη διαδρόμου μόνο κατά τον άξονα  $yOy'$ .

Από τους τέσσερις συνδυασμούς επιλέγεται σε κάθε περίπτωση εκείνος με το μεγαλύτερο πλήθος κατά τη σχέση (4.111). Επίσης ενδέχεται το αναγκαίο πλήθος πλαισίων να μη δύναται να τοποθετηθεί στις αρχικές διαστάσεις της ταράτσας  $L_{X-in}$  και  $L_{Y-in}$  κατά τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  αντίστοιχα, οπότε οι διαστάσεις της ταράτσας  $L_X$  και  $L_Y$  μπορούν να μεταβληθούν από  $L_{X-in}$  και  $L_{Y-in}$  ως  $(L_{X-in} + \Delta L_X)$  και  $(L_{Y-in} + \Delta L_Y)$  αντίστοιχα με βήμα μεταβολής  $\Delta \ell_{step}$ , όπου στην παρούσα περίπτωση για τον οικίσκο της Σταχτορρόης οι αντίστοιχες τιμές είναι: διαστάσεις κάτοψης  $L_{X-in} = 13,30$  m,  $L_{Y-in} = 7,60$  m, μέγιστο πλάτος προβόλων  $\Delta L_X = \Delta L_Y = 4,0$  m (για τεχνικο-οικονομικούς λόγους δεν μπορεί να κατασκευαστεί πρόβολος μεγαλύτερος 2,0 m και ο πρόβολος της ταράτσας εκτείνεται και ως προς τις δύο πλευρές συμμετρικά) και  $\Delta \ell_{step} = 0,10$  m (δεν μπορεί κατασκευαστικά στο σκυρόδεμα να υπάρχει ακρίβεια καλύτερη των 5 cm). Πρόσθετα το κόστος επέκτασης για το πρώτο μέτρο προβόλου περιμετρικά ανέρχεται σε  $c_{roof-1}$  (ενδεικτικά σε 225 €/m<sup>2</sup>) και για το επόμενο μέτρο σε  $c_{roof-2}$  (ενδεικτικά σε 300 €/m<sup>2</sup>), καθώς απαιτείται πιο ενισχυμένη κατασκευή. Για τη ζώνη εντός των αρχικών διαστάσεων  $L_{X-in}$  και  $L_{Y-in}$  το αντίστοιχο κόστος κατάληψης είναι μηδενικό. Για τη ζώνη 1, δηλαδή όταν οι διαστάσεις της ταράτσας είναι από  $L_{X-in} \cdot L_{Y-in}$  ως  $(L_{X-in} + \Delta L_{X-lim1}) \cdot (L_{Y-in} + \Delta L_{Y-lim1})$ , προσδιορίζονται τα πρόσθετα μήκη εντός αυτής ως εξής:

$$\Delta L_{X-1} = \min \left\{ \max \{0, (L_X - L_{X-in})\}, \Delta L_{X-lim1} \right\} \quad (4.122)$$

$$\Delta L_{Y-1} = \min \left\{ \max \{0, (L_Y - L_{Y-in})\}, \Delta L_{Y-lim1} \right\} \quad (4.123)$$

Όπου οι πρώτοι όροι των δεξιών σκελών των σχέσεων (4.122) και (4.123) προσδιορίζουν αν έχει γίνει επέκταση για να βρίσκεται κανείς στη ζώνη 1 και ο δεύτεροι όροι τα μέγιστα όρια της ζώνης 1, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.38.

Οπότε το εμβαδόν της ζώνης 1 είναι ίσο με:

$$E_{AREA-1} = \Delta L_{X-1} \cdot L_{Y-in} + \Delta L_{Y-1} \cdot L_{X-in} + \Delta L_{X-1} \cdot \Delta L_{Y-1} \quad (4.124)$$

Για τη ζώνη 2, προσδιορίζονται τα αντίστοιχα πρόσθετα μήκη εντός αυτής ως εξής:

$$\Delta L_{X-2} = \max \{0, (L_X - \Delta L_{X-lim1})\} \quad (4.125)$$

$$\Delta L_{Y-2} = \max \{0, (L_Y - \Delta L_{Y-lim1})\} \quad (4.126)$$

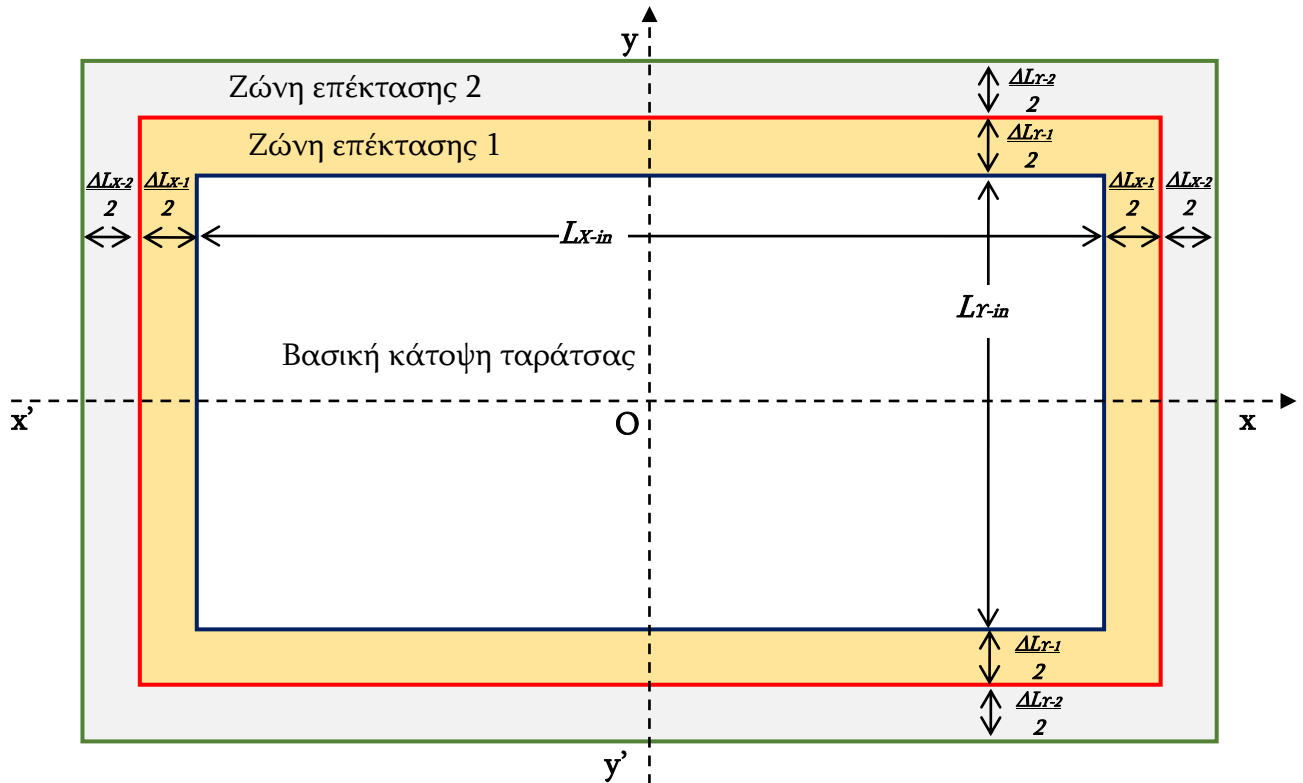
Όπου οι όροι των δεξιών σκελών των σχέσεων (4.125) και (4.126) προσδιορίζουν αν έχει γίνει επέκταση για να βρίσκεται κανείς στη ζώνη 2. Σε αντίθεση με τις σχέσεις (4.122) και (4.123) δεν υπάρχει άλλος όρος, καθώς οι διαστάσεις δεν μπορούν να ξεπεράσουν τις διαστάσεις  $(L_{X-in} + \Delta L_X)$  και  $(L_{Y-in} + \Delta L_Y)$  αντίστοιχα.

Οπότε το εμβαδόν της ζώνης 2 είναι ίσο με:

$$E_{AREA-2} = \Delta L_{X-2} \cdot (L_{Y-in} + \Delta L_{Y-lim1}) + \Delta L_{Y-2} \cdot (L_{X-in} + \Delta L_{X-lim1}) + \Delta L_{X-2} \cdot \Delta L_{Y-2} \quad (4.127)$$

Ακολουθώς είναι δυνατός ο υπολογισμός του κόστους κατάληψης / επέκτασης της ταράτσας από την πλευρά των φωτοβολταϊκών πλαισίων ως εξής:

$$Cost_{roof} = c_{roof-1} \cdot E_{AREA-1} + c_{roof-2} \cdot E_{AREA-2} \quad (4.128)$$



**Σχήμα 4.38:** Κάτοψη ταράτσας οικίσκου με δύο ζώνες επέκτασης («1» και «2») μέσω κατάλληλων προβόλων.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου για συγκεκριμένο επιτόκιο  $i$  και τυπική διάρκεια ζωής ταράτσας  $T_{roof}$  (τυπική διάρκεια 25 έτη) ως εξής:

$$CRF_{roof} = \begin{cases} \frac{1}{T_{roof}}, & i = 0 \\ \frac{i \cdot (1+i)^{T_{roof}}}{(1+i)^{T_{roof}} - 1}, & i \neq 0 \end{cases} \quad (4.129)$$

Οπότε το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής επέκτασης της ταράτσας  $Cost_{PVeq}$  είναι ίσο με:

$$Cost_{roof-eq} = CRF_{roof} \cdot Cost_{roof} \quad (4.130)$$

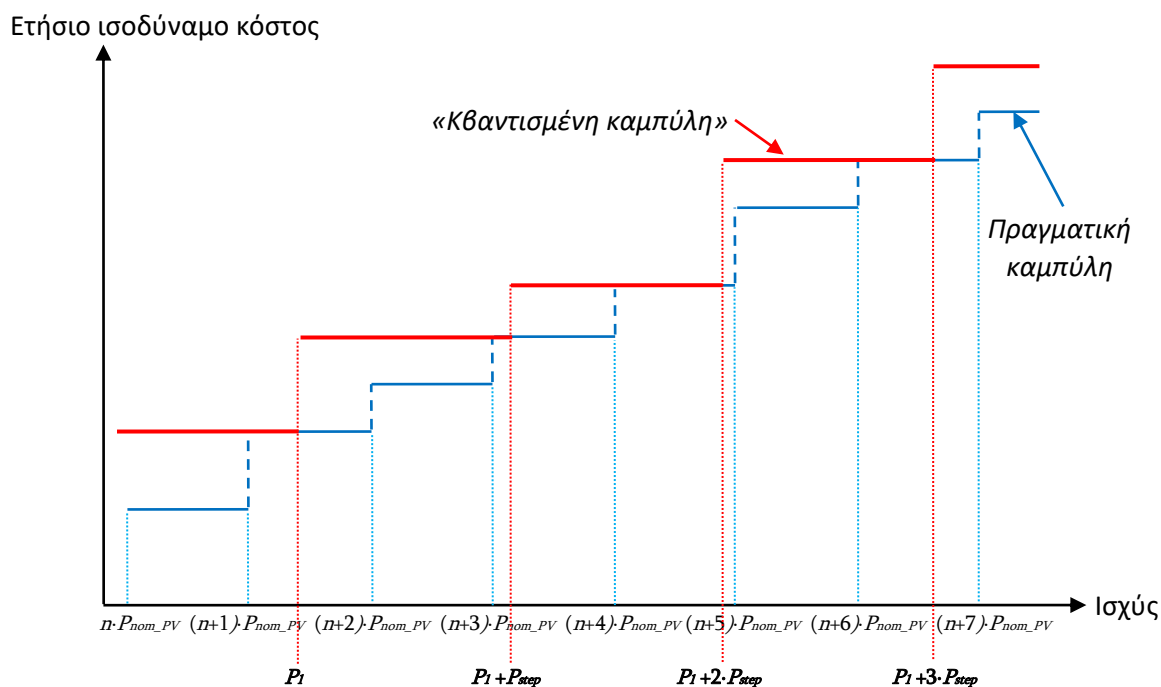
Στη συνέχεια για κάθε πλήθος πλαισίων  $N_{PV}$  βρίσκονται εκείνες οι διαστάσεις ταράτσας που χωρούν τα πλαίσια και από όλες τις αποδεκτές διαστάσεις ταράτσας επιλέγεται εκείνη με το μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος. Αν δεν υπάρχει κατάλληλο μέγεθος, τίθεται ότι το ισοδύναμο κόστος της ταράτσας λαμβάνει «άπειρη» τιμή (πρακτικά γίνεται ίσο με  $10^{15}$  €) και γίνεται η μετάβαση στο επόμενο βήμα.

Έπειτα προσδιορίζεται το συνολικό κόστος για το πλήθος πλαισίων  $N_{PV}$  συγκεκριμένης ονομαστικής ισχύος του συγκεκριμένου είδους πλαισίου επιλέγοντας τον οικονομικότερο αναστροφέα και μέγεθος ταράτσας ως εξής:

$$Tot\ Cost_{eq} = Cost_{roof-eq} + (1 + s_{\pi}) \cdot (Cost_{PVeq} + CRF_{INV} \cdot N_{INV} \cdot Cost_{INV}) + (1 - \eta_{INV}) \cdot E_{ideal\_PV} \cdot c_{no\_supply} \quad (4.131)$$

Όπου  $s_{\pi}$  είναι ένας συντελεστής προσαύξησης της τάξης του 10% ως προς το κόστος προμήθειας φωτοβολταϊκών πλαισίων και αναστροφών για τις ηλεκτρολογικές συνδέσεις, ενώ ο τελευταίος όρος λειτουργεί ως «όρος ποινής» για την απωλεσθείσα ενέργεια από την ιδανικά παραγόμενη ενέργεια εκ μέρους των φωτοβολταϊκών πλαισίων λόγω του βαθμού απόδοσης του αναστροφέα.

Τέλος για κάθε είδος φωτοβολταϊκού πλαισίου γίνεται η κβαντοποίηση της καμπύλης ετήσιου ισοδύναμου κόστους ανά τακτά βήματα ισχύος  $P_{step}$  (ενδεικτικά ίσα με 100 W), όπου στην παρούσα περίπτωση επιλέγεται για κάθε τιμή ισχύος εκείνη η τιμή κόστους εγκατάστασης και λοιπών τεχνικών χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκού σταθμού που καλύπτει οριακά την αντίστοιχη ισχύ, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.39.



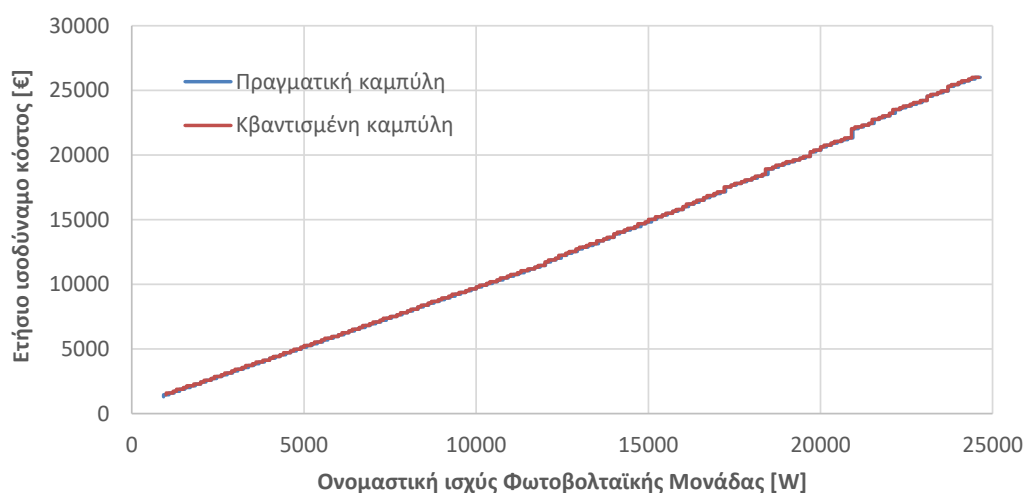
**Σχήμα 4.39:** Γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους φωτοβολταϊκής μονάδας σε συνάρτηση με την ισχύ (μπλε γραμμή=πραγματική, κόκκινη=κβαντισμένη).

Στη συνέχεια συγκρίνονται οι κβαντισμένες καμπύλες κόστους των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων και επιλέγεται η φθηνότερη λύση για κάθε επίπεδο ισχύος ανά επιτόκιο. Δεν είναι δυνατό να γίνει η σύγκριση των πραγματικών καμπυλών κόστους για διαφορετικούς τύπους πλαισίων λόγω διαφορετικών ονομαστικών ισχύων ανά πλαίσιο.

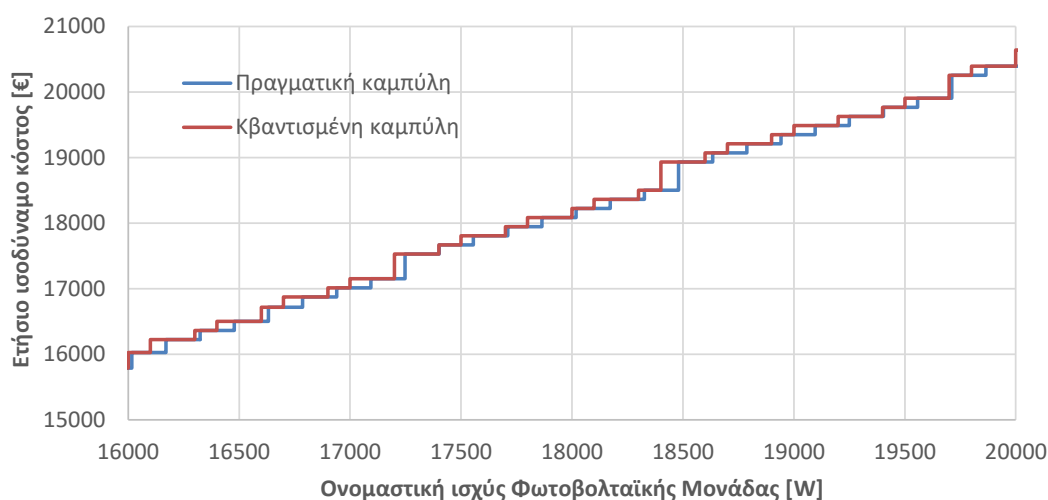
#### 4.6.2. Ενδεικτική εκτέλεση αλγορίθμου προς κατανόηση βελτιστοποίησής του

Αρχικά για ένα είδος πλαισίου (εδώ ο τύπος Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN) πραγματοποιείται η εκτέλεση του προγράμματος χωρίς απαιτήσεις αυξημένης αξιοπιστίας για ένα σύνολο από 12 τριφασικούς αναστροφείς από την εταιρεία SMA (Sunny Tripower 3.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 4.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 5.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 6.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 8.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 10.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 8000 TL, Sunny Tripower 9000 TL, Sunny Tripower 15000 TL, Sunny Tripower 20000 TL, Sunny Tripower 25000 TL, Sunny Tripower CORE1), προκειμένου να διαπιστωθεί πως μεταβάλλονται τα σχετικά

αποτελέσματα ετήσιου ισοδύναμου κόστους, απαιτούμενης επέκτασης διαστάσεων ταράτσας, είδους και πλήθους αναστροφών. Στο σχήμα 4.40 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους φωτοβολταϊκής μονάδας απαρτιζόμενη από πλαίσιο τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN για επιτόκιο 10% σε συνάρτηση με την ισχύ, όπου η πραγματική καμπύλη προσεγγίζεται από την κβαντισμένη οπτικά σε πολύ ικανοποιητικά ακόμη και υπό μεγέθυνση. Επισημαίνεται ότι άνω των 24.640 W το κόστος απειρίζεται, διότι οι συγκεκριμένες διαστάσεις της ταράτσας δεν μπορούν να χωρέσουν τον αναγκαίο αριθμό πλαισίων.



(α)

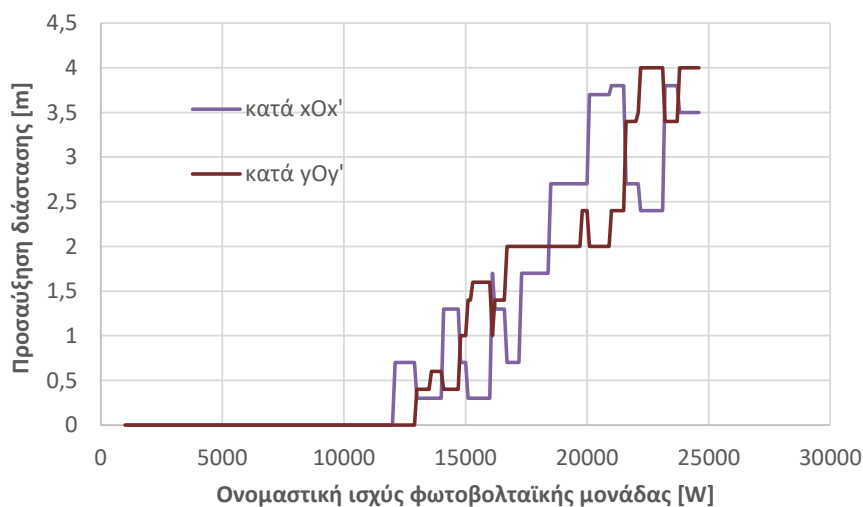


(β)

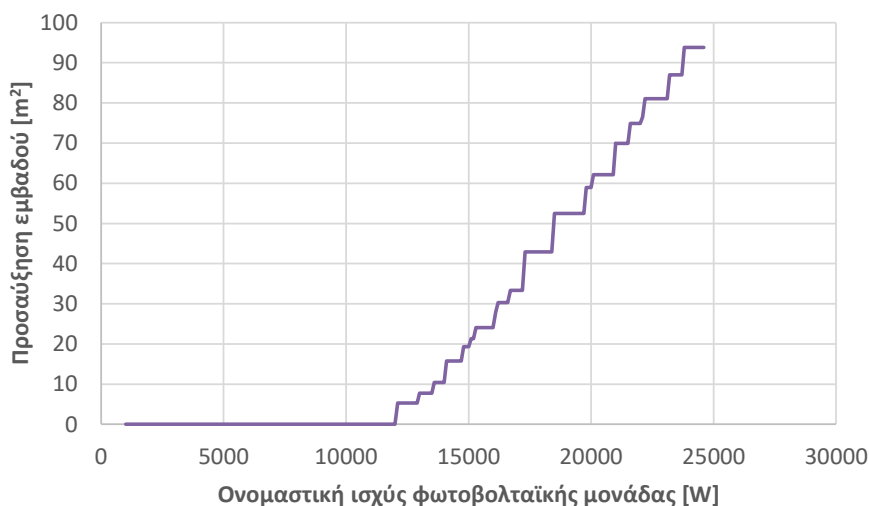
**Σχήμα 4.40:** Γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσιο τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ισχύ (μπλε γραμμή=πραγματική, κόκκινη=κβαντισμένη) με χρήση τριφασικών αναστροφών τύπου Tripower της εταιρείας SMA: (α) εύρος εκτέλεσης, (β) μεγέθυνση, για επιτόκιο 10%.

Αν παρατηρηθεί η εξέλιξη της προσάυξης των διαστάσεων της ταράτσας, διαπιστώνεται ότι μέχρι τα 12 kW δε χρειάζεται κάποιος πρόβολος, ενώ για μεγαλύτερες ισχύες η βέλτιστη επέκταση της ταράτσας προς ελαχιστοποίηση του κόστους

κατασκευής της οδηγεί σε μη αύξουσα μεταβολή των αντίστοιχων διαστάσεων της, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.41. Αντίθετα με την αύξηση της ισχύος άνω των 12 kW παρατηρείται αύξουσα μεταβολή του εμβαδού επέκτασης της ταράτσας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.42, το οποίο άλλωστε ήταν αναμενόμενο, καθώς με την αύξηση του εμβαδού τοποθετούνται ο αναγκαίος αριθμός πλαίσίων προς επίτευξη της ζητούμενης ονομαστικής ισχύος. Απλώς οι διαστάσεις των δύο διευθύνσεων που χωρούν τα αντίστοιχα πλαίσια μπορούν να μεταβληθούν με τέτοιο τρόπο, όπως να μειωθεί η διάσταση στον άξονα  $xOx'$  και να αυξηθεί η διάσταση στον άξονα  $yOy'$  δίνοντας ένα κατάλληλο εμβαδόν που να τοποθετούνται περισσότερα πλαίσια με μικρότερο κόστος κατασκευής από ό,τι αν συνεχιζόταν η επιμέρους αύξηση στη διάσταση στον άξονα  $xOx'$  κτλ. Επιπλέον τα αντίστοιχα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται από το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, όπως είναι άλλωστε αναμενόμενο.



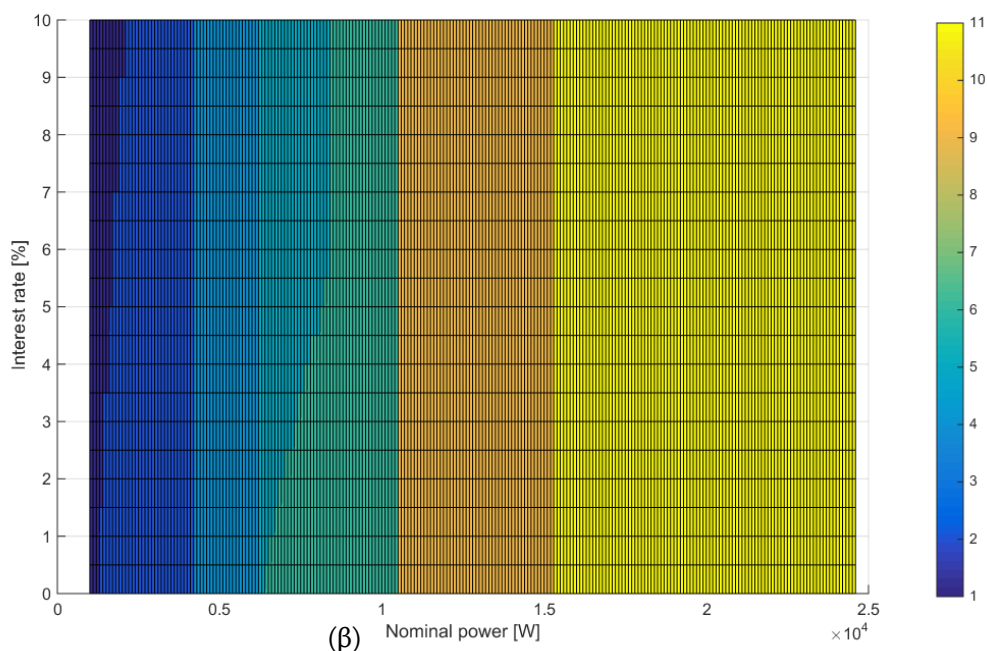
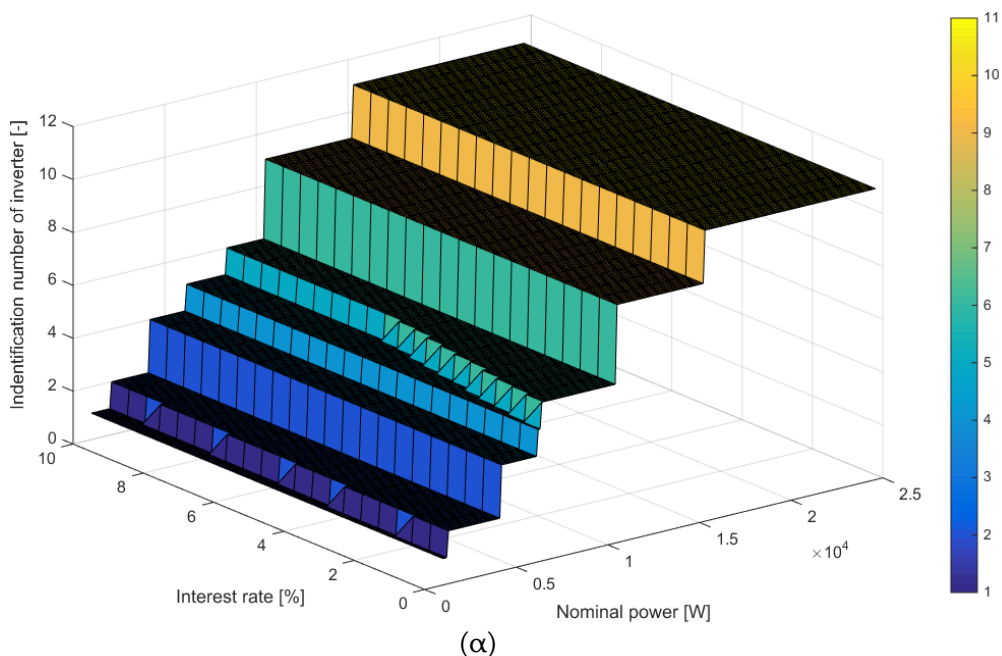
**Σχήμα 4.41:** Γραφική παράσταση της προσαύξησης των διαστάσεων ταράτσας ως προς τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  κατά τη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ.



**Σχήμα 4.42:** Γραφική παράσταση του εμβαδού επέκτασης ταράτσας ως προς τους άξονες  $xOx'$  και  $yOy'$  κατά τη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ.



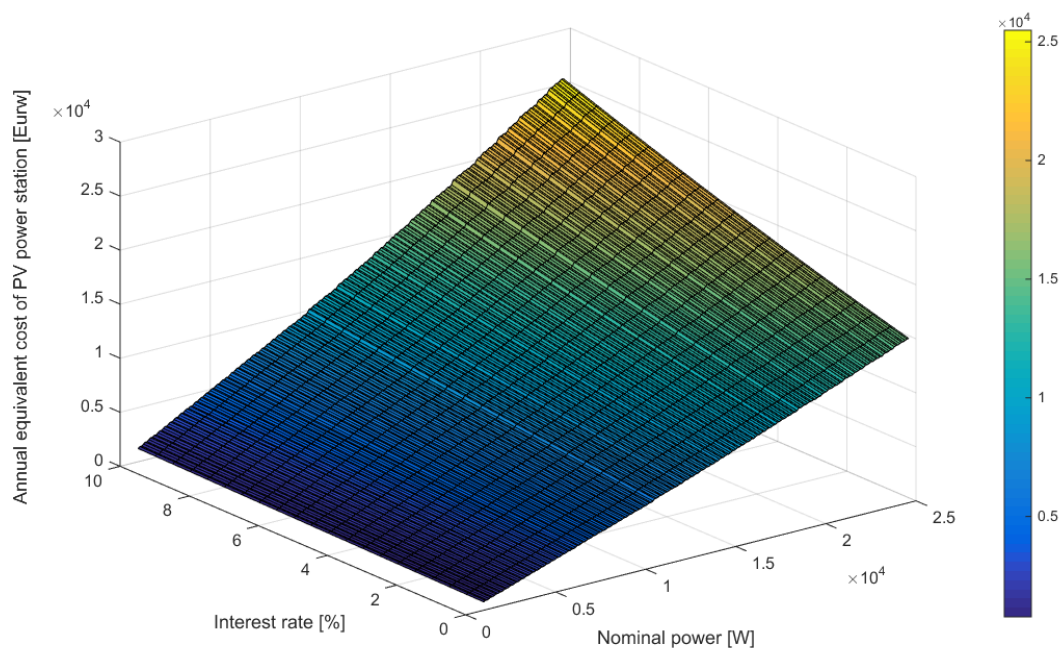
Ως προς την επιλογή του αναστροφέα παρατηρείται μία μεταβολή του τύπου με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος μεταβαίνοντας ολόένα σε μεγαλύτερες ισχύες απορρίπτοντας κάποιους από αυτούς για οικονομικούς λόγους (οι τύπου Sunny Tripower 5.0-STP3.0AV40, Sunny Tripower 8000 TL, Sunny Tripower 9000 TL, Sunny Tripower 20000 TL παρουσιάζουν σχετικά μεγαλύτερες τιμές κόστους προμήθειας ανά kW σε σχέση με άλλους της ίδιας οικογένειας, με αποτέλεσμα να μην επιλέγονται ποτέ).



**Σχήμα 4.43:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα της ομάδας tripower της εταιρείας SMA του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, χωρίς αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Επιπλέον με βάση τα αποτελέσματα του σχήματος 4.43 λόγω της συμμετοχής του κόστους της απωλεσθείσας ενέργειας επιλέγονται μεγαλύτεροι αναστροφείς με καλύτερο βαθμό απόδοσης για μικρότερα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου παρά το μεγαλύτερο κόστος προμήθειάς τους. Επιπλέον στην παρούσα περίπτωση ο αλγόριθμος επιλέγει ως πλήθος ένα αναστρόφεια από τον εκάστοτε τύπο αναστροφέα.

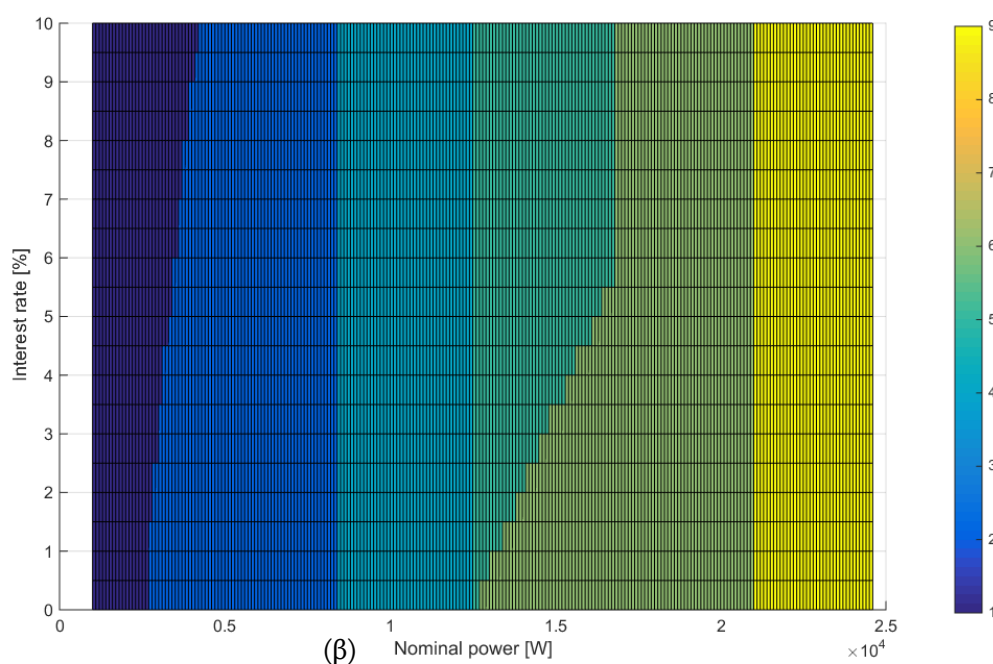
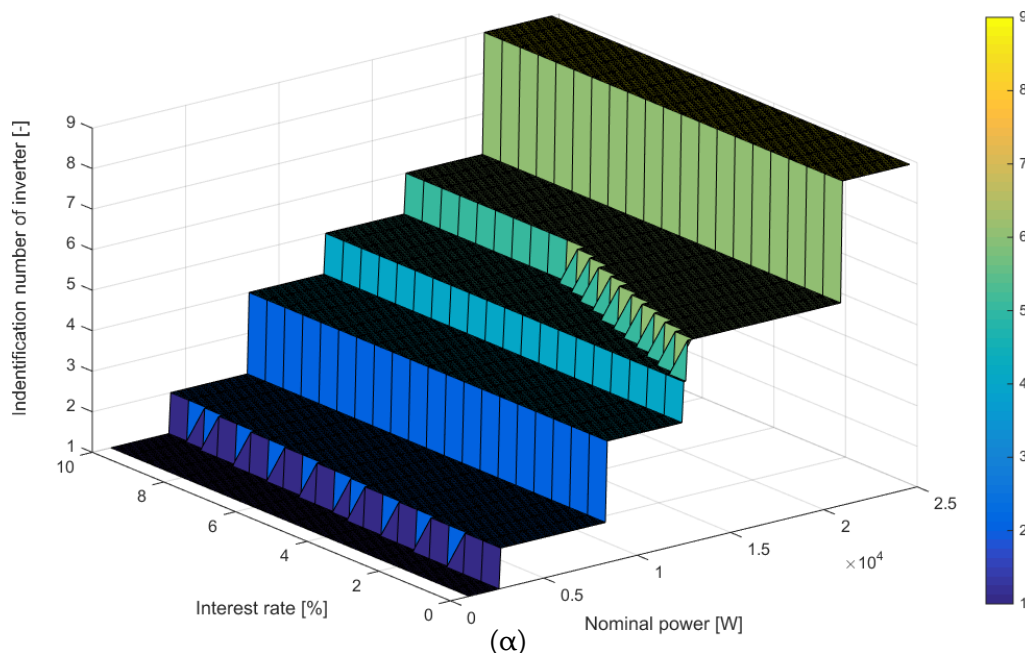
Οπότε συνολικά διαμορφώνεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής της φωτοβολταϊκής μονάδας σε συνάρτηση με την ονομαστική της ισχύ και το αντίστοιχο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.44.



**Σχήμα 4.44:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, χωρίς αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Αν η ίδια διαδικασία επαναληφθεί για το ίδιο είδος πλαισίου αλλά με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας χρησιμοποιώντας δύο τεμάχια τουλάχιστον ανά αναστρόφεια, τότε διαπιστώνεται ότι ως προς τις απαιτούμενες επεκτάσεις διαστάσεων και εμβαδού ταράτσας δεν υπάρχει κάποια μεταβολή. Ως προς την επιλογή του αναστροφέα παρατηρείται μία μεταβολή του τύπου με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος μεταβαίνοντας ολοένα πιο αργά σε μεγαλύτερες ισχύες απορρίπτοντας κάποιους από αυτούς για οικονομικούς λόγους (οι τύπου Sunny Tripower 5.0-STP3.0AV40). Επιπλέον με βάση τα αποτελέσματα του σχήματος 4.45 λόγω της συμμετοχής του κόστους της απωλεσθείσας ενέργειας επιλέγονται μεγαλύτεροι αναστροφείς με καλύτερο βαθμό απόδοσης για μικρότερα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου παρά το μεγαλύτερο κόστος προμήθειάς τους. Οι μεταβολές αυτές όμως γίνονται πιο αργά σε σχέση με τις μεταβολές του σχήματος 4.43. Άλλωστε στην παρούσα περίπτωση ο αλγόριθμος επιλέγει ως πλήθος δύο αναστροφείς από τον εκάστοτε τύπο πραγματοποιώντας την αλλαγή τύπου αναστροφέα πιο αργά. Γι' αυτό το λόγο για το ίδιο εύρος ονομαστικής ισχύος οι τύποι

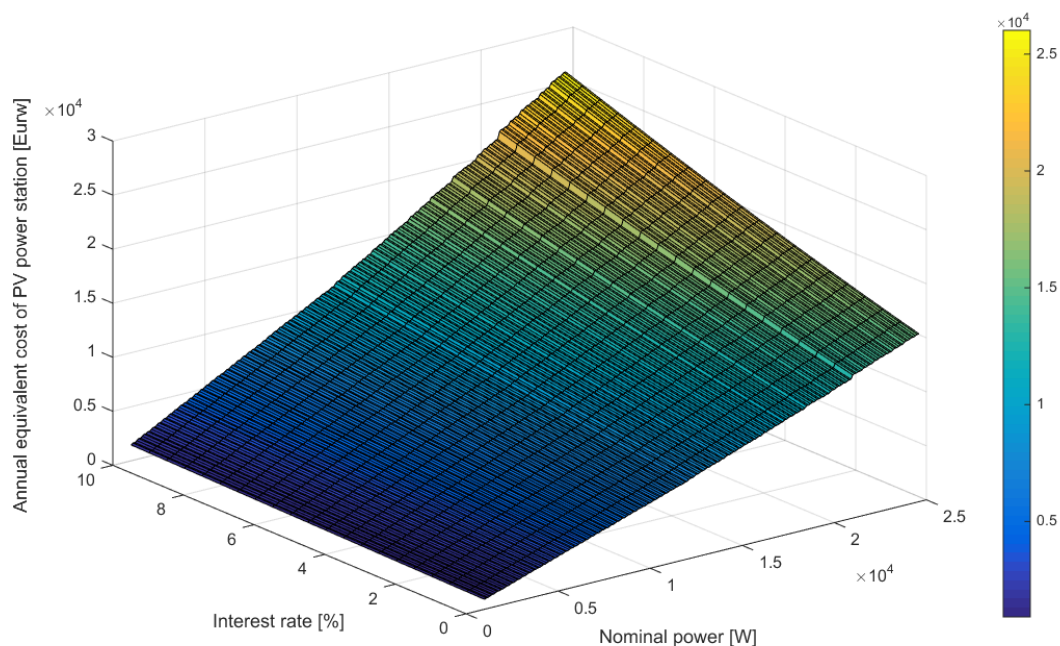
αναστροφών που εμπλέκονται στη βέλτιστη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας είναι λιγότεροι σε σχέση με τη βασική περίπτωση.



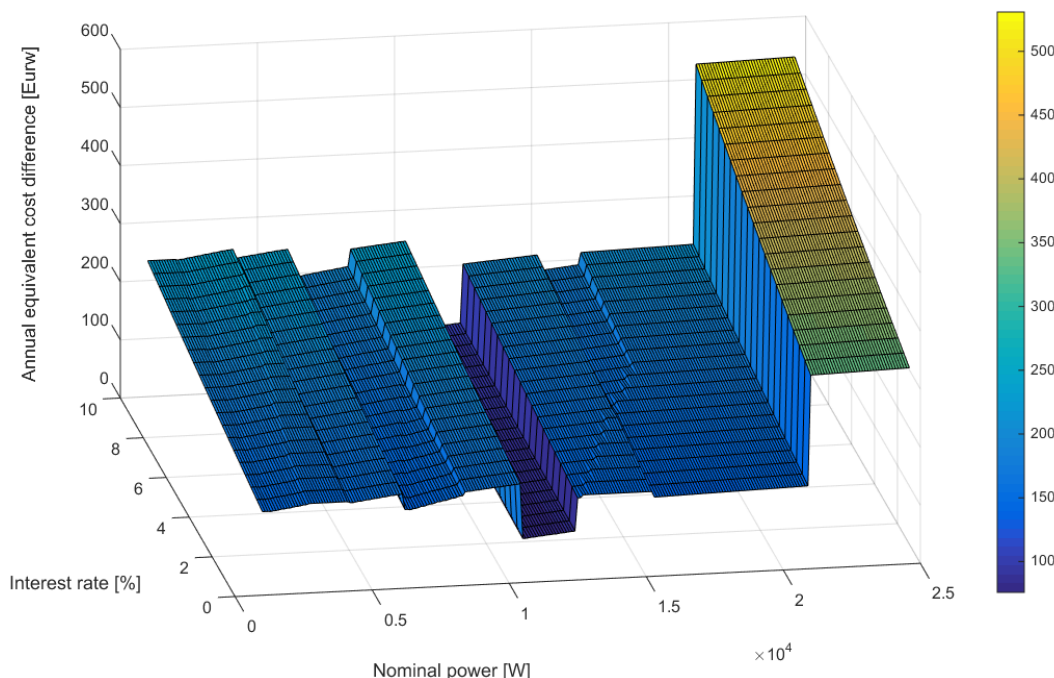
**Σχήμα 4.45:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση, (β) διδιάστατη προβολή της του άξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα της ομάδας tripower της SMA του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση  $\Phi/B$  μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας (χρήση δύο τουλάχιστον αναστροφών).

Οπότε συνολικά διαμορφώνεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής της φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας σε συνάρτηση με την

ονομαστική της ισχύ και το αντίστοιχο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.46, το οποίο είναι σημαντικά πιο αυξημένο σε σχέση με του σχήματος 4.44.



**Σχήμα 4.46:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας (χρήση δύο τουλάχιστον αναστροφών).



**Σχήμα 4.47:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της διαφοράς ετήσιου ισοδύναμου κόστους της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας από πλαίσια τύπου Sxp154Q της εταιρείας SOLBIAN με αυξημένη και χωρίς αυξημένη αξιοπιστία σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.

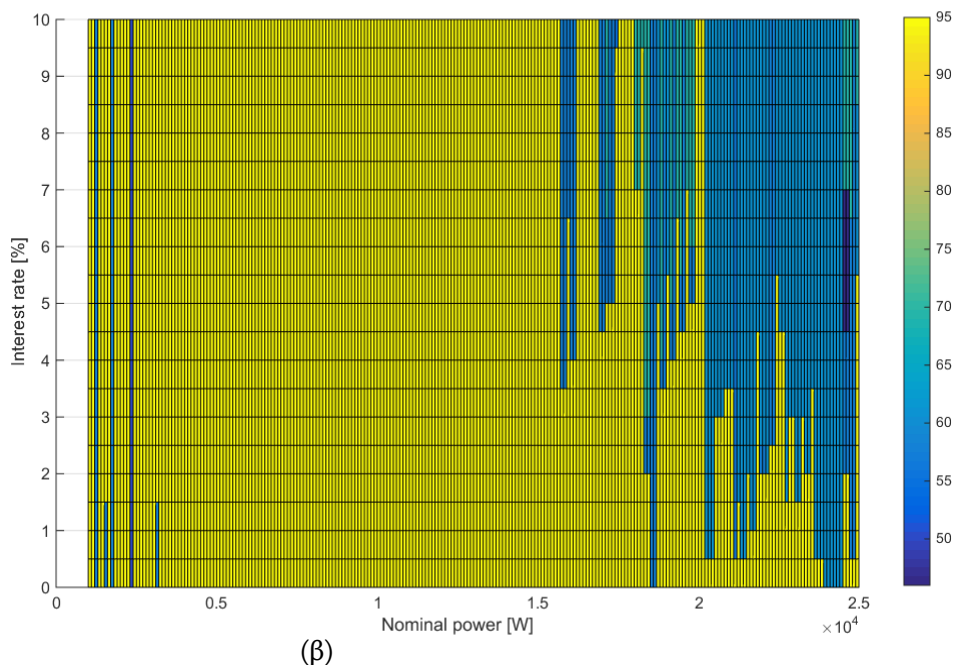
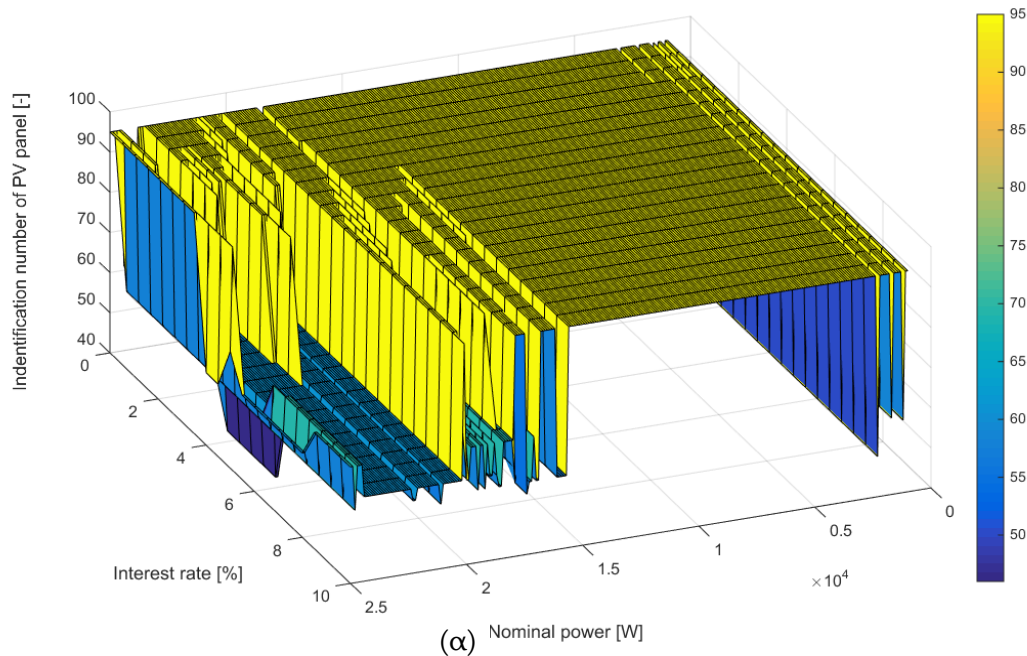
Συγχρόνως υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ των ετήσιων κοστών διαμόρφωσης της Φ/Β μονάδας με και χωρίς αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.47. Από την τελευταία παράσταση προκύπτει ότι το ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυξάνεται με τη μετάβαση σε αυξημένα επίπεδα αξιοπιστίας (επιθυμώντας δύο αναστροφείς), αλλά πέρα των μικρών ονομαστικών ισχύων παρατηρείται μικρή αύξηση του κόστους, ειδικά στην παρούσα περίπτωση μεταξύ των 10,5 ως 20,9 kW, καθώς υπάρχουν οι τύποι αναστροφέων ισχύος των 6, 8 και 10 kW με ανταγωνιστικές τιμές σε ευρώ / kW και πολύ καλές αποδόσεις σε σχέση με τους αντίστοιχους αναστροφείς μεταξύ των 15 και 20 kW.

#### *4.6.3. Εκτέλεση αλγορίθμου προς εύρεση βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας*

Στην παρούσα περίπτωση για τη βέλτιστη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας εξετάζονται 133 τύποι πλαισίων των εταιρειών SOLBIAN [Ε37], LG, REC, BenQ, Sharp, Trina, Panasonic, Axitec, Luxor, SunPower, Victron [Ε84] και 205 τύποι αναστροφέων των εταιρειών SMA, Fronius, Kaco, Kostal, Sungrow, Solax, Huawei, ABB, Goodwe, DELTA [Ε85] εξαιρώντας τύπους που απαιτούν συγκεκριμένο είδος συσσωρευτή ή που περιέχουν ενσωματωμένο φορτιστή (λόγω των ειδικών απαιτήσεων της υπάρχουσας διάταξης) ή που έχουν ξεχωριστές μονάδες αναστροφέων και μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση με διάταξη βέλτιστης παραγωγής ισχύος (που ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης πρέπει να υπάρχει διαφορετικός συνδυασμός κατασκευής αναστροφέα, μετατροπέα dc/dc ανά σύνολο εγκαθιστεμένων Φ/Β πλαισίων), όπως της εταιρείας SolarEdge. Τα στοιχεία των εμπλεκόμενων Φ/Β πλαισίων καταγράφονται στην παράγραφο Π.2.1 του 2<sup>ου</sup> παραρτήματος και των αναστροφέων στην παράγραφο Π.2.2 του 2<sup>ου</sup> παραρτήματος. Πρακτικά εξετάζονται 27625 συνδυασμοί τύπων Φ/Β πλαισίων και τύπων μετατροπέων και αν ληφθούν υπόψη και τα διαφορετικά επίπεδα επιτοκίων (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) ανέρχονται σε 572.565 διαφορετικές οικονομικές αξιολογήσεις. Λόγω της ιδιαίτερης διαμόρφωσης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του αυτόνομου συστήματος απαιτούνται αυξημένα επίπεδα αξιοπιστίας, οπότε εκτελείται ο σχετικός αλγόριθμος (της παραγράφου Π.1.6), προκειμένου να προσδιοριστούν οι τύποι των Φ/Β πλαισίων και το πλήθος τους, οι τύποι των αναστροφέων και το πλήθος τους, οι διαστάσεις επέκτασης της ταράτσας και το συνολικό ετήσιο ισοδύναμο κόστος. Ως προς την επιλογή του τύπου πλαισίου εμφανίζονται οι ακόλουθοι τύποι σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του σχήματος 4.48, που έχει τη γραφική παράσταση των τύπων των πλαισίων σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου:

- $\alpha/\alpha=46$ , τύπος = ND-BA385 της εταιρείας SHARP ονομαστικής ισχύος 385 W,
- $\alpha/\alpha=50$ , τύπος = ND-AF330C της εταιρείας SHARP ονομαστικής ισχύος 330 W,
- $\alpha/\alpha=55$ , τύπος = HoneyM TSM-335DE06M.08(II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 335 W,
- $\alpha/\alpha=56$ , τύπος = HoneyM TSM-330DE06M.08(II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 330 W,
- $\alpha/\alpha=58$ , τύπος = Honey M+ TSM-310DD05A.08(II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 310 W,
- $\alpha/\alpha=59$ , τύπος = Honey TSM-285PE06H της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 285 W,

- $\alpha/\alpha=61$ , τύπος = HoneyM TSM-340DE06M.08(II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 340 W,
- $\alpha/\alpha=69$ , τύπος = Axitec AXIpremium AC-300M/156-60S της εταιρείας Axitec ονομαστικής ισχύος 330 W,
- $\alpha/\alpha=95$ , τύπος = ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W.



**Σχήμα 4.48:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του άξοντα αριθμού τύπου φωτοβολταϊκού πλαισίου σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.

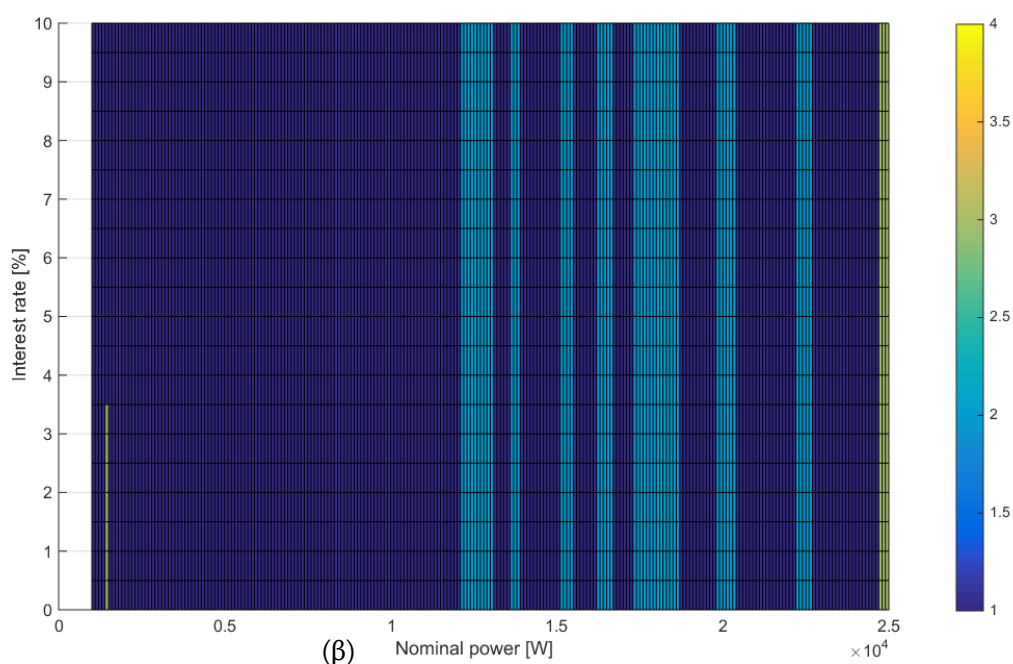
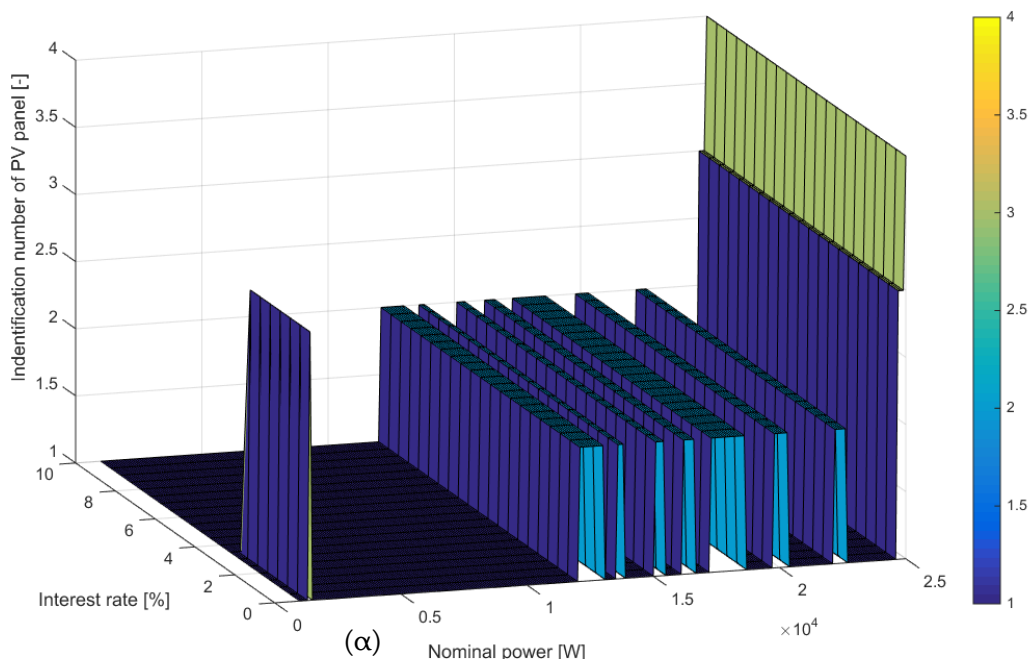
Από την αντίστοιχη μελέτη διαπιστώνεται η συντριπτική κυριαρχία του φωτοβολταϊκού πλαισίου με α/α 95 τύπου ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR με ονομαστική ισχύ 280 W για ισχύες ως 20 kW και μεγαλύτερες τιμές για μικρά επιτόκια ως 3% σε ποσοστό 75,1% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, όπως καταγράφεται και σε πίνακα 4.21. Αυτό οφείλεται στο μικρό του κόστος, τη μεγάλη του ισχύ, παρά το γεγονός ότι έχει θεωρηθεί ότι θα αντικατασταθεί σε 5 έτη ! Επίσης παρουσιάζεται μία μικρή διαφοροποίηση στην επιλογή πλαισίου για την ίδια ισχύ ως προς τα επιτόκια, το οποίο οφείλεται σε οριακές διαφοροποιήσεις που λόγω της συμμετοχής ιδανικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου και αναστροφέα συγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών για κάθε πλαίσιο οδηγεί σε μικρές διαφοροποιήσεις του αντίστοιχου ετήσιου ισοδύναμου κόστους και της αντίστοιχης επιλογής. Συγχρόνως παρατηρείται ότι επιλέγονται φωτοβολταϊκά πλαίσια μεγάλων γεωμετρικών διαστάσεων και μεγάλης ονομαστικής ισχύος εκτοπίζοντας τα πλαίσια της SOLBIAN, τα οποία όμως είναι εξειδικευμένα για ναυπηγικές εφαρμογές και με εγγύηση 5 έτων σε περιβάλλον με αλάτι, ενώ τα άλλα πλαίσια υπό αυτές τις συνθήκες έχουν μηδενική εγγύηση.

**Πίνακας 4.21:** Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή φωτοβολταϊκής μονάδας ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων παραρτήματος 2.

Πλήθος Επιτόκιο [%]	Αύξων αριθμός φωτοβολταϊκού πλαισίου								
	46	50	55	56	58	59	61	69	95
0,0	0	1	0	0	5	1	6	0	228
0,5	0	1	0	1	7	1	14	0	217
1,0	0	1	0	1	7	1	16	0	215
1,5	0	1	0	1	5	1	20	0	213
2,0	0	1	0	1	11	1	24	0	203
2,5	0	1	0	1	11	1	26	0	201
3,0	0	1	0	1	9	1	32	2	195
3,5	0	1	0	1	13	1	36	2	187
4,0	0	1	0	1	17	1	36	3	182
4,5	2	1	0	1	19	1	39	3	175
5,0	2	1	0	1	22	1	40	5	169
5,5	2	1	0	1	21	1	44	5	166
6,0	2	1	0	1	19	1	44	7	166
6,5	2	1	0	1	18	1	44	10	164
7,0	0	1	0	1	18	1	44	15	161
7,5	0	1	0	1	18	1	44	15	161
8,0	0	1	0	1	17	1	45	15	161
8,5	0	1	0	1	17	1	43	17	161
9,0	0	1	0	1	17	1	43	17	161
9,5	0	1	1	1	17	1	43	18	159
10,0	0	1	1	1	17	1	45	18	157
Σύνολο: 5061	10	21	2	20	305	21	728	152	3802
Σύνολο: 100%	0,198	0,415	0,040	0,395	6,026	0,415	14,385	3,003	75,123

Σε περίπτωση που η ίδια διαδικασία επαλαμβάνοταν μόνο για τα εξειδικευμένα πλαίσια της SOLBIAN, τότε, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.49, θα κυριαρχούσαν μόνο τα Sxp154Q και Sxp154L που είχαν προεπιλεγεί με α/α 1 και 2 αντίστοιχα, χωρίς να υπάρχει πρακτικά διαφοροποίηση λόγω επιτοκίου, αφού άλλωστε έχουν το ίδιο κόστος ανά

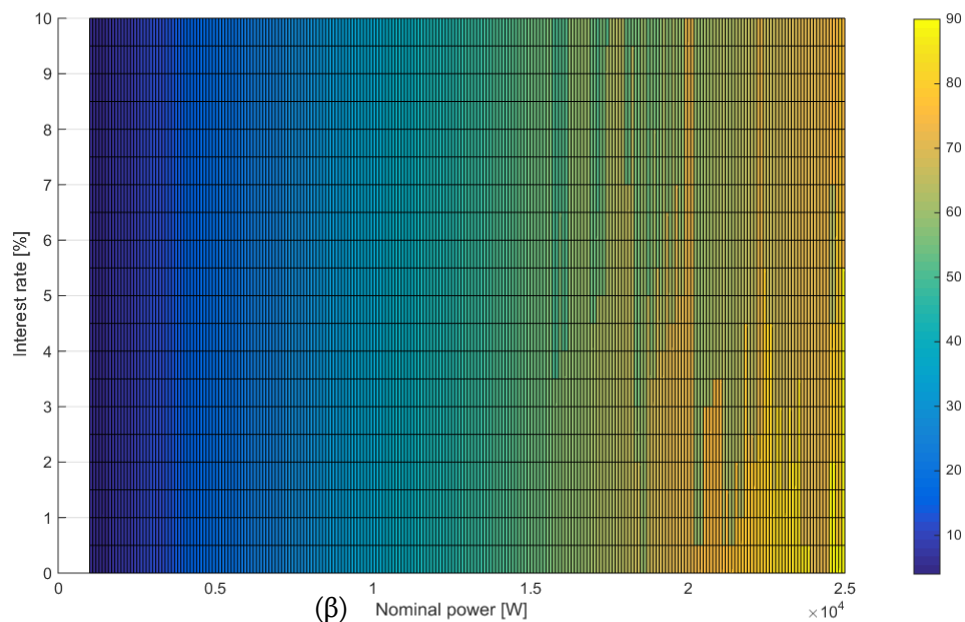
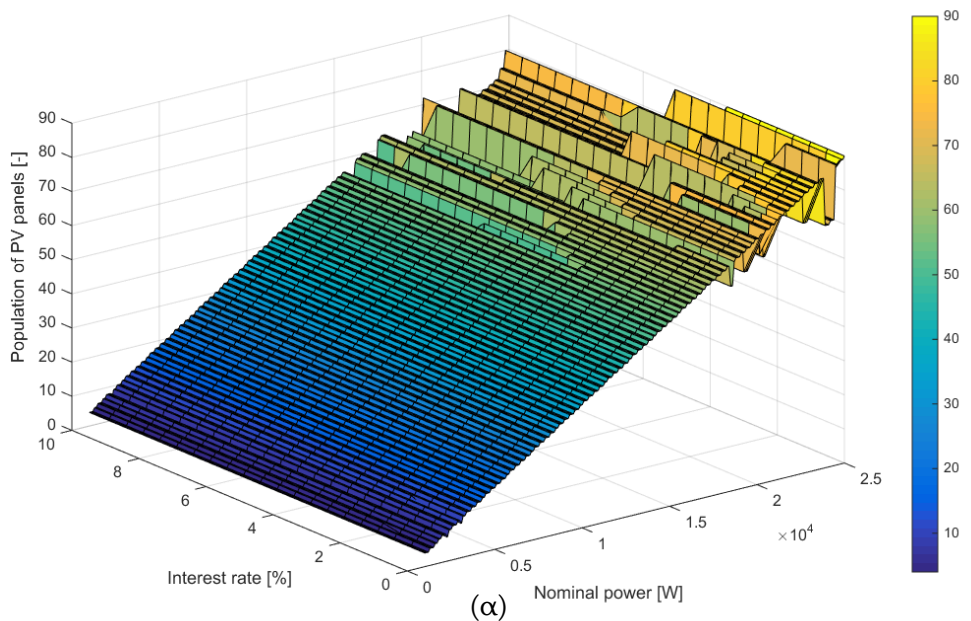
τεμάχιο με ποσοστά 78,70% και 19,50%, ενώ οι υπόλοιπες περιπτώσεις καλύπτονται από τα SX108 και SX160Q με α/α 3 και 4 με ποσοστά 1,38% και 0,42% αντίστοιχα, που καλύπτουν περιπτώσεις μεγάλης ισχύος που πλησιάζουν τα 25 kW και δεν μπορούν να καλυφθούν από τα δύο πρώτα λόγω διαστάσεων ταράτσας.



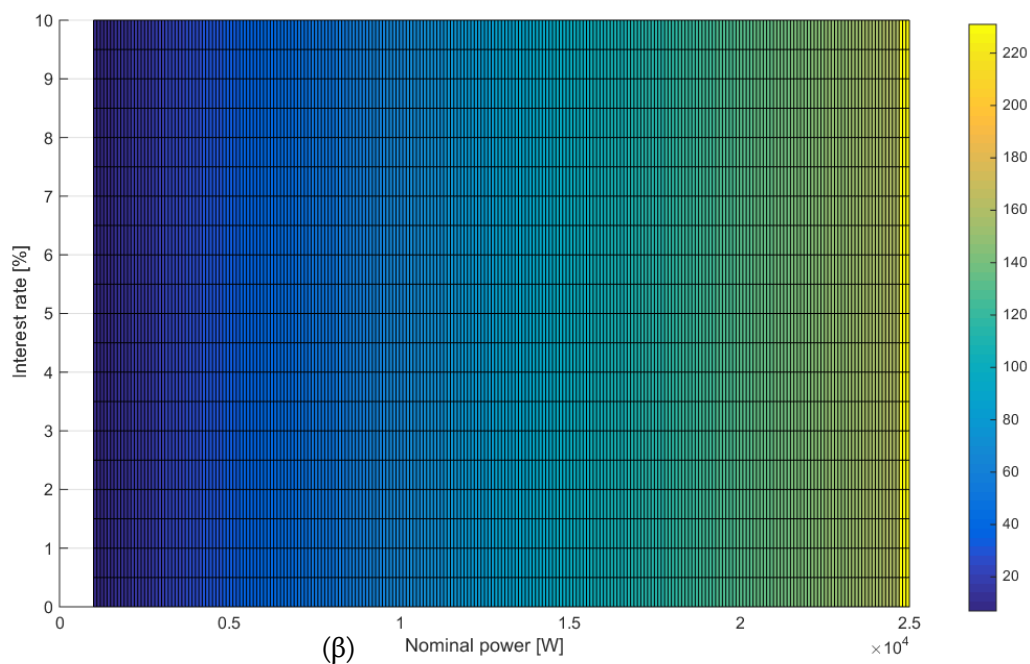
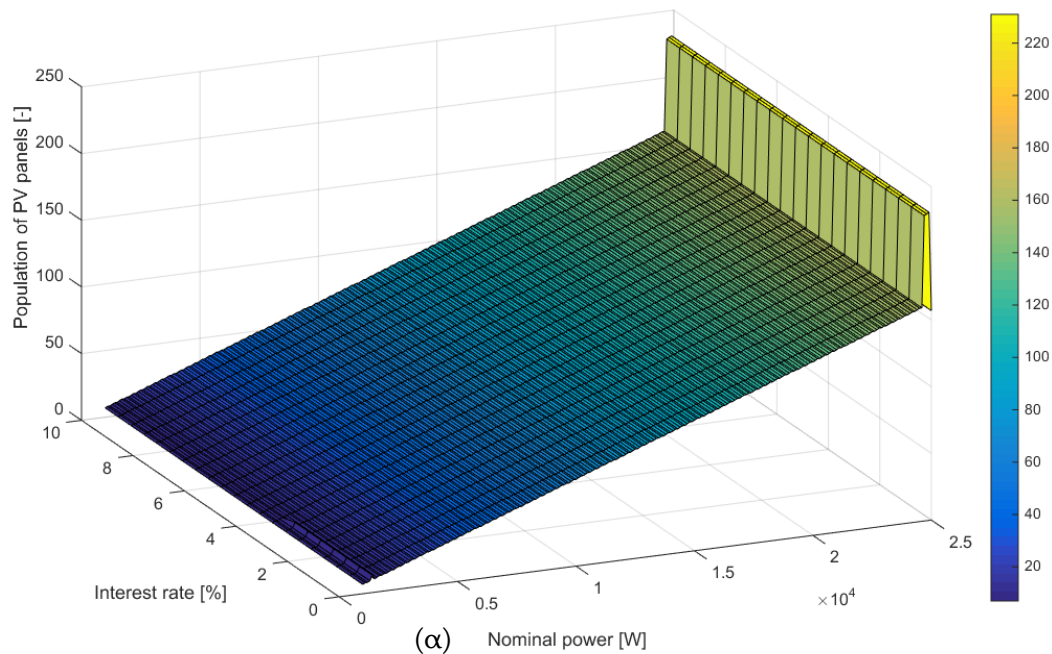
**Σχήμα 4.49:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2.



Ως προς την επιλογή του πλήθους του εκάστοτε πλαισίου παρουσιάζεται μία αυξητική τάση του πλήθους των χρησιμοποιούμενων πλαισίων όσο αυξάνεται η ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής μονάδας, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.50 και 4.51 με χρήση του συνόλου των τύπων των πλαισίων και μόνο της εταιρείας SOLBIAN αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση η διαφοροποίηση των τιμών ανά επιτόκιο οφείλεται αποκλειστικά στην αλλαγή τύπου φωτοβολταϊκού πλαισίου, ενώ για την περίπτωση της SOLBIAN λόγω του μικρότερου μεγέθους και της κυριαρχίας όμοιων τύπων έχει γενικά πιο ομαλή μορφή.



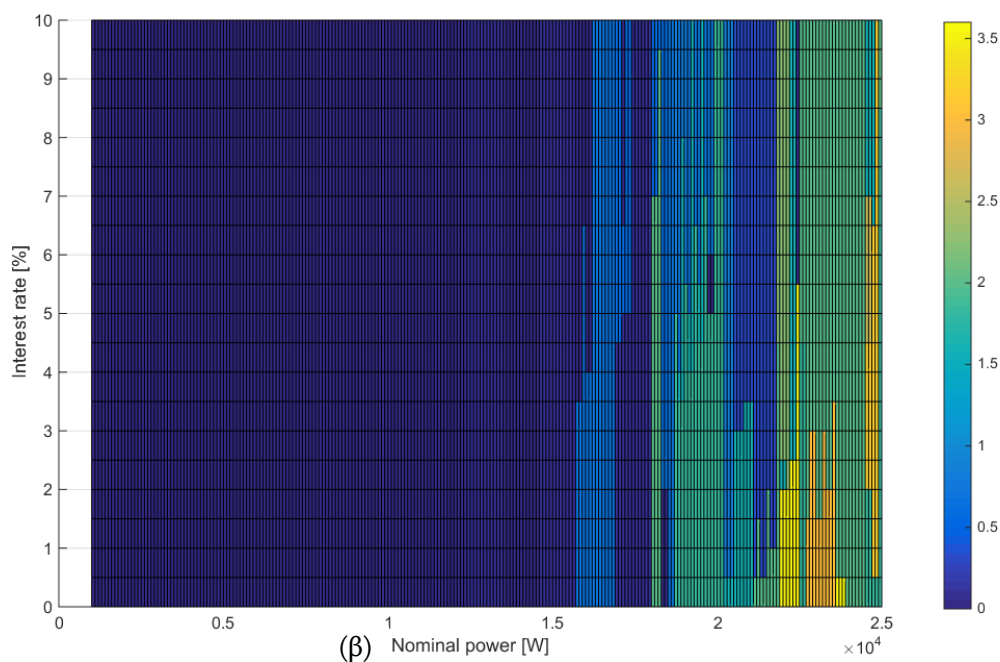
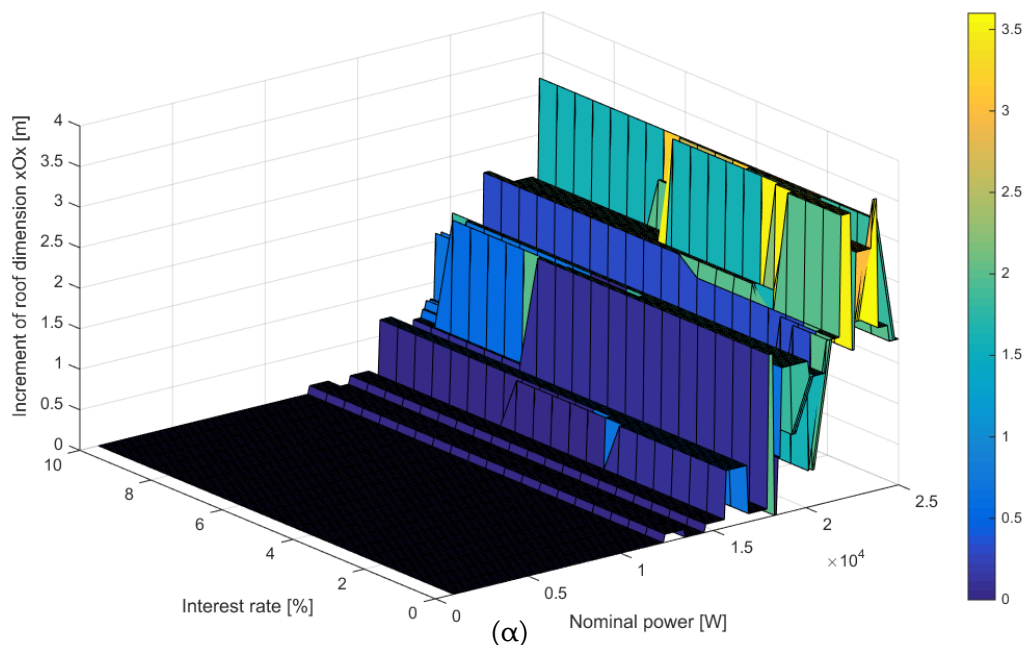
**Σχήμα 4.50:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με τον αντίστοιχο τύπο σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.



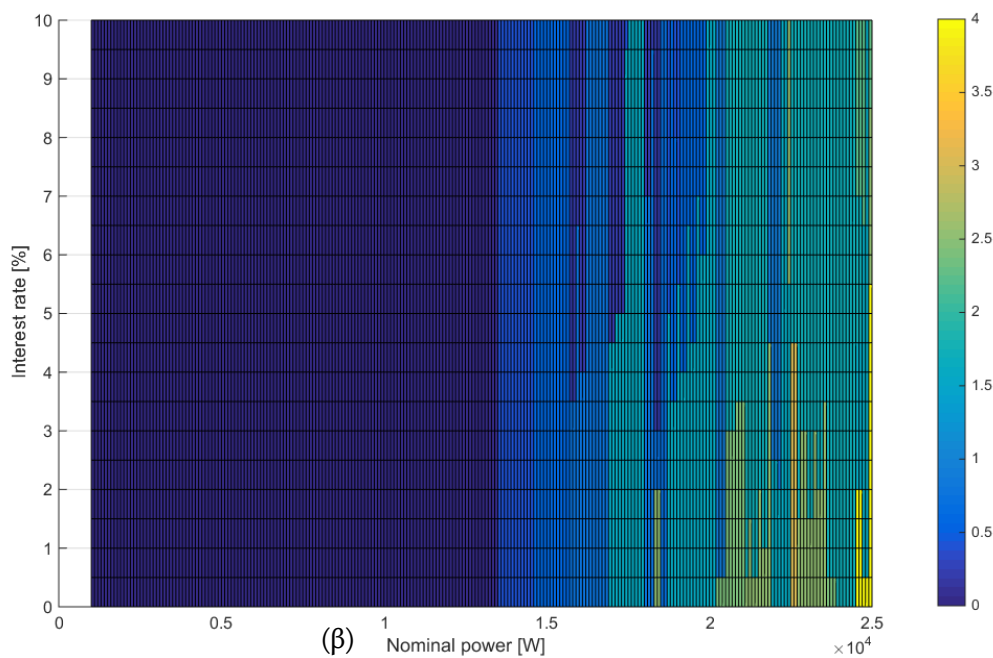
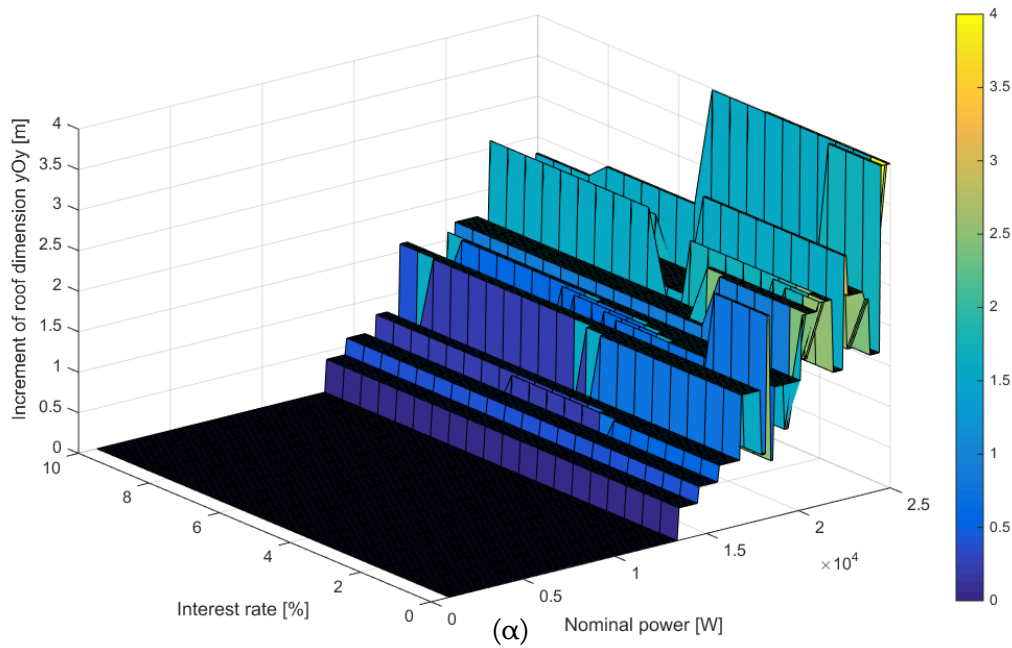
**Σχήμα 4.51:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με τον αντίστοιχο τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφών παραρτήματος 2.

Ως προς τη μεταβολή των διαστάσεων της ταράτσας διαπιστώνεται ότι μέχρι τα 12,3 kW δε χρειάζεται κάποιος πρόβολος, ενώ για μεγαλύτερες ισχύες η βέλτιστη επέκταση της ταράτσας προς ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής της οδηγεί σε μη αύξουσα

μεταβολή των αντίστοιχων διαστάσεων της, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.52 για τον άξονα  $xOx'$  και 4.53 για τον άξονα  $yOy'$  με χρήση του συνόλου των τύπων των πλαισίων. Οι οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις στις διαστάσεις για το ίδιο επιτόκιο οφείλονται στις αλλαγές των διαστάσεων των επιλεγμένων πλαισίων κατά τη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής μονάδας αντίστοιχης ισχύος και μόνο.



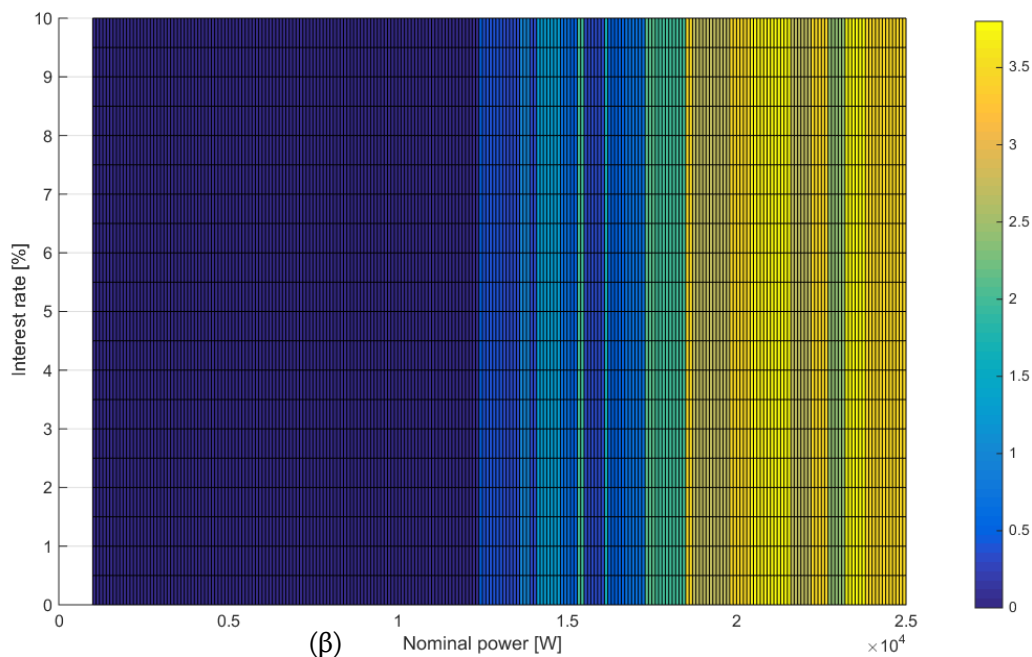
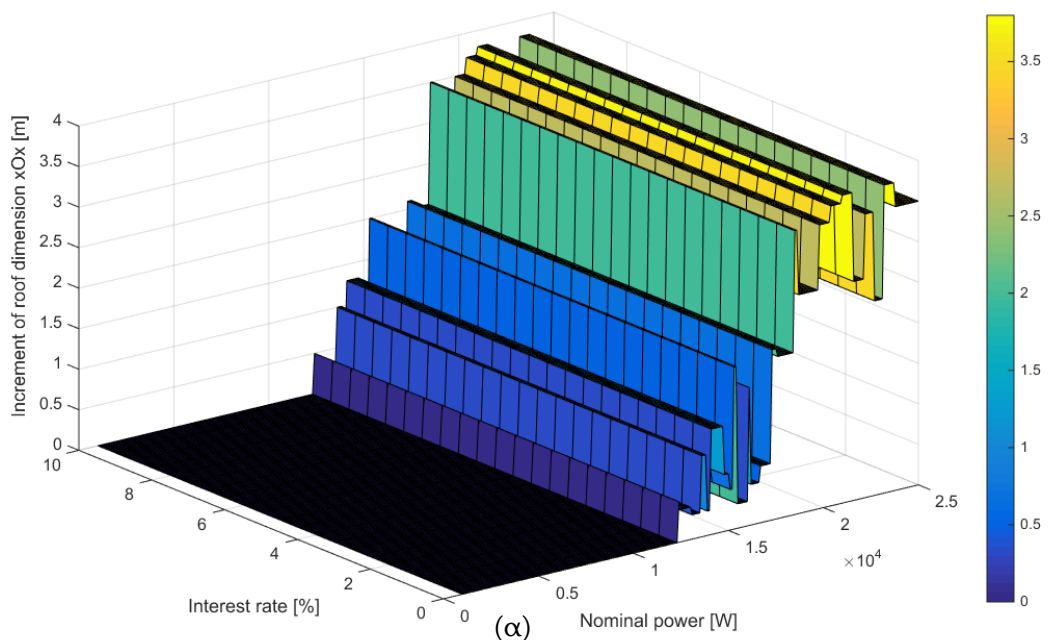
**Σχήμα 4.52:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $xOx'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.



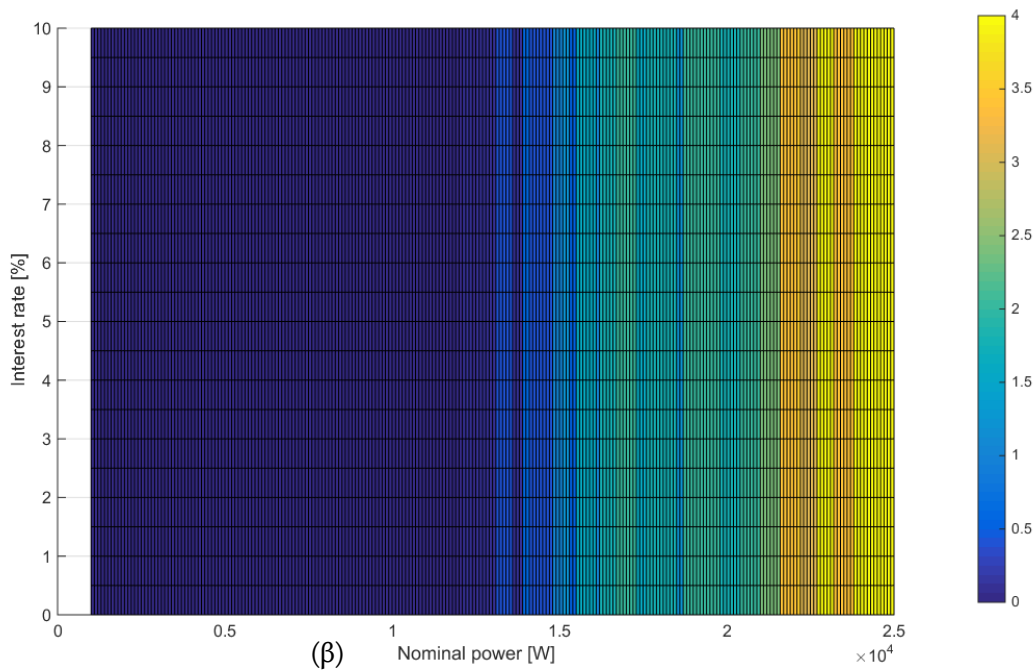
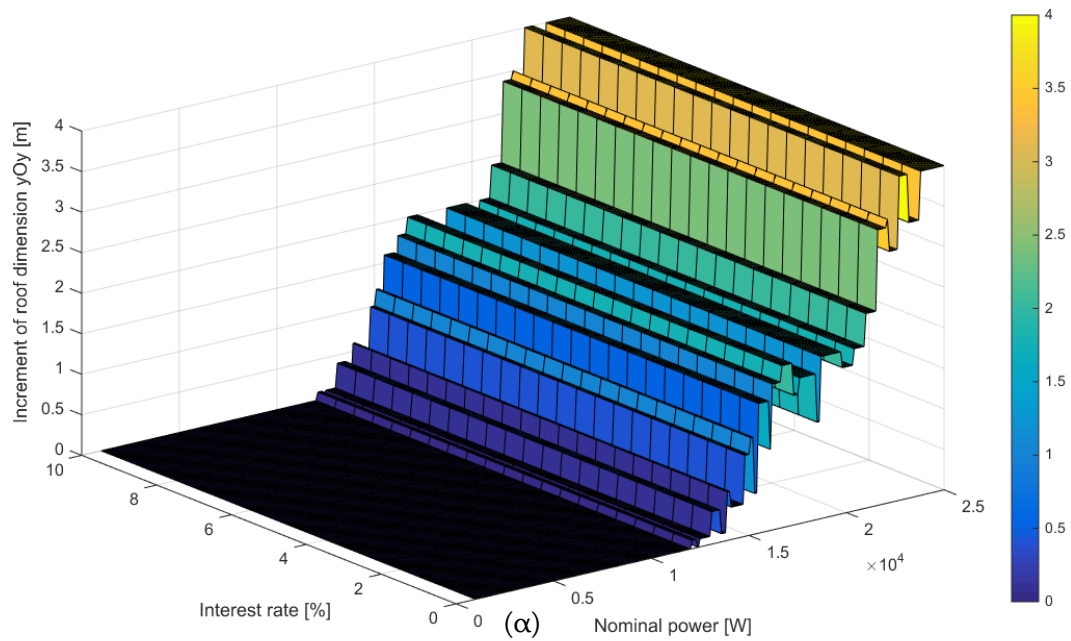
**Σχήμα 4.53:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξησης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $yOy'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.

Ομοίως διαπιστώνεται ότι μέχρι τα 12 kW δε χρειάζεται κάποιος πρόβολος και για την περίπτωση μελέτης του συνόλου των τύπων των πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN, ενώ για μεγαλύτερες ισχύες η βέλτιστη επέκταση της ταράτσας προς ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής της οδηγεί σε μη αύξουσα μεταβολή των αντίστοιχων διαστάσεων

της, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.54 για τον άξονα  $xOx'$  και 4.55 για τον άξονα  $yOy'$  αντίστοιχα. Πέρα της απαίτησης ύπαρξης προβόλου για ελαφρώς μικρότερη ισχύ (12 αντί 12,3 kW) στην παρούσα περίπτωση χρήσης μόνο πλαισίων της SOLBIAN δεν υπάρχει διαφοροποίηση των τιμών ανά επιτόκιο λόγω των πολύ λιγότερων αλλαγών τύπου πλαισίου για το ίδιο επιτόκιο (που συνέβη σε σημείο μη επέκτασης ταράτσας).



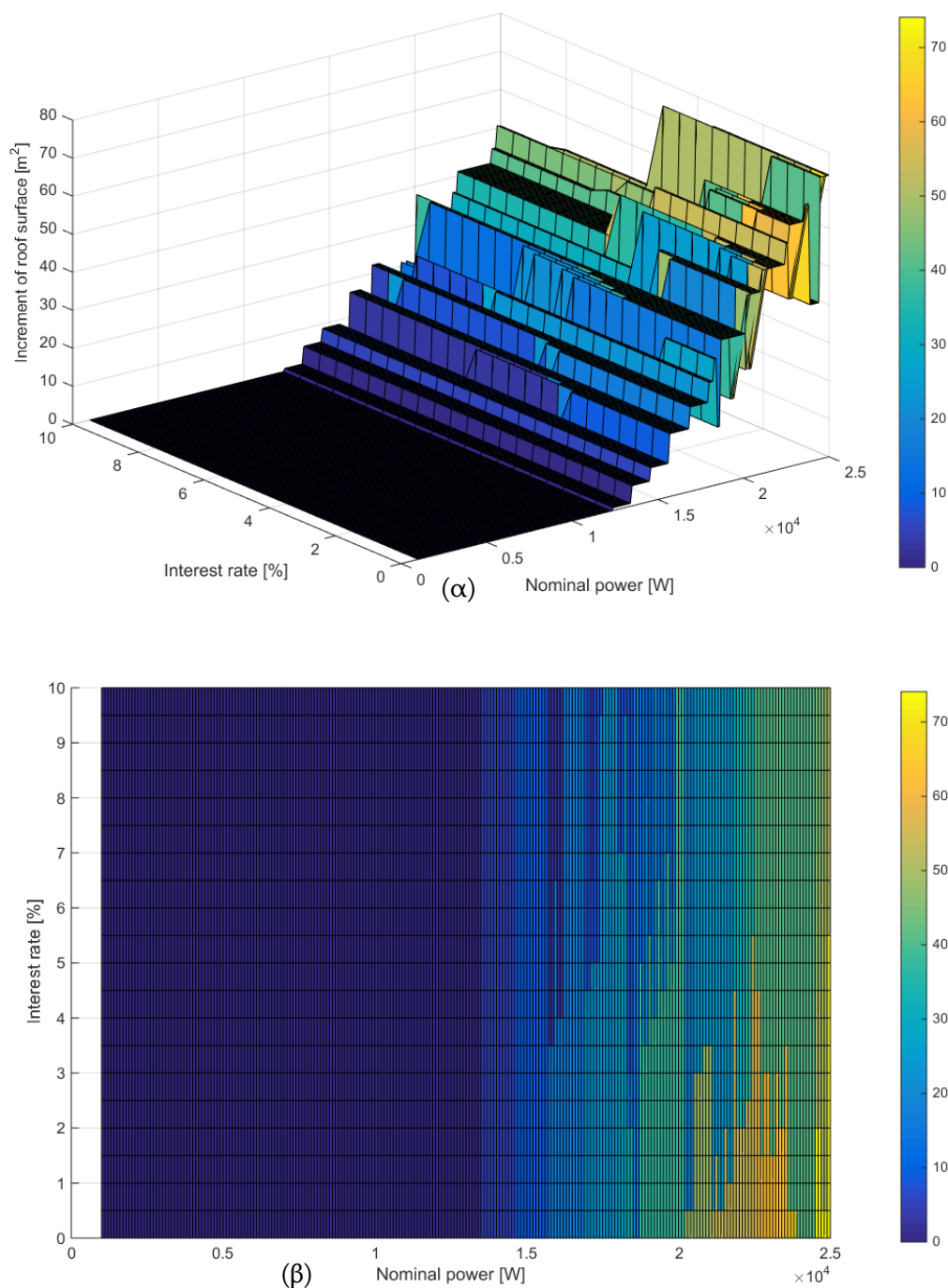
**Σχήμα 4.54:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $xOx'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2.



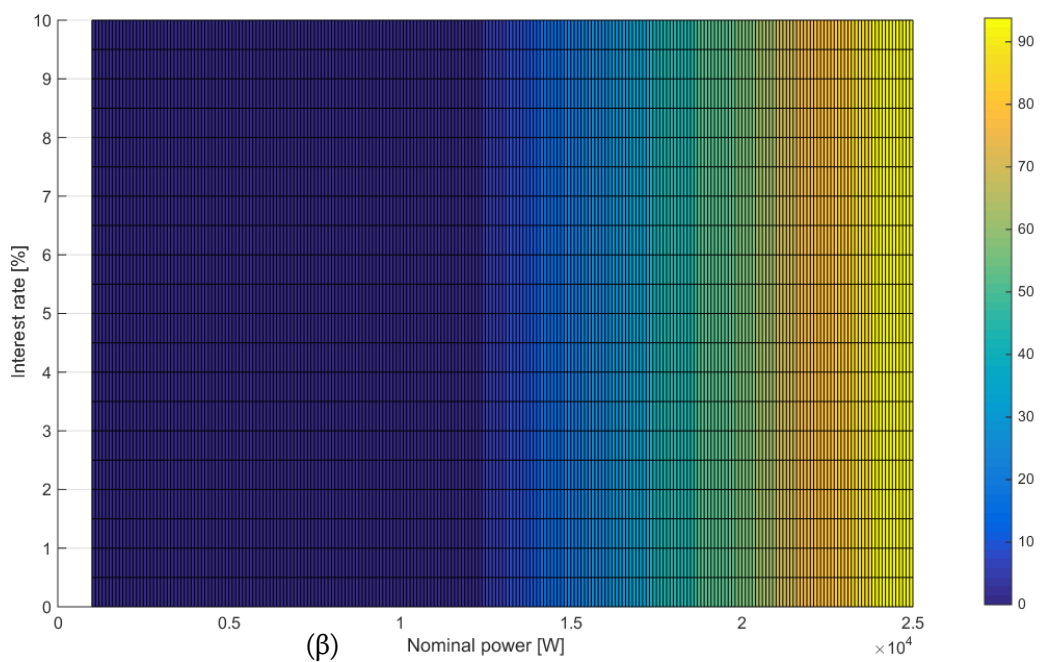
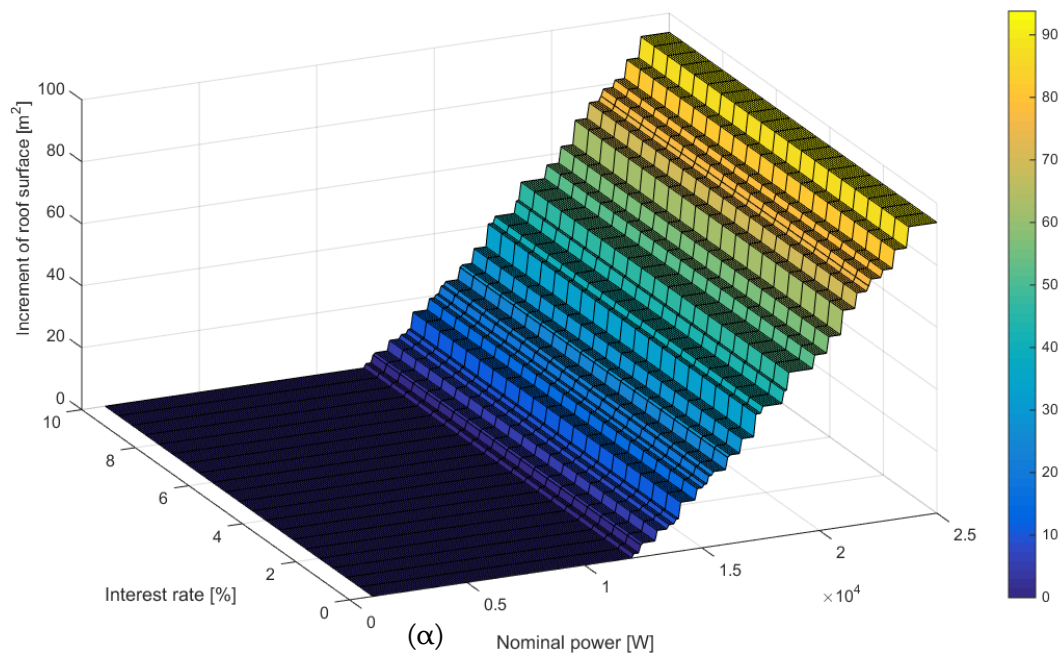
**Σχήμα 4.55:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξης της διάστασης της ταράτσας ως προς τον άξονες  $yOy'$  σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2.

Οι μεταβολές των διαστάσεων της ταράτσας οδηγούν σε μεταβολή του εμβαδού επέκτασης της ταράτσας, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.56 και 4.57 με χρήση του συνόλου των τύπων των πλαισίων και μόνο της εταιρείας SOLBIAN αντίστοιχα. Συνήθως με την αύξηση του εμβαδού τοποθετούνται ο αναγκαίος αριθμός πλαισίων

προς επίτευξη της ζητούμενης ονομαστικής ισχύος, εκτός αν αλλάξει ο τύπος του χρησιμοποιούμενου πλαισίου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση του εμβαδού, όπως στο σχήμα 4.56 (σύνολο των τύπων πλαισίων παραρτήματος 2). Διαπιστώνεται ότι οι διαφοροποιήσεις στη μεταβολή του εμβαδού για την ίδια ισχύ για διαφορετικά επιτόκια οφείλονται αποκλειστικά στις αλλαγές των διαστάσεων των επιλεγμένων πλαισίων κατά τη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής μονάδας αντίστοιχης ισχύος και μόνο.



**Σχήμα 4.56:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξης του εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.

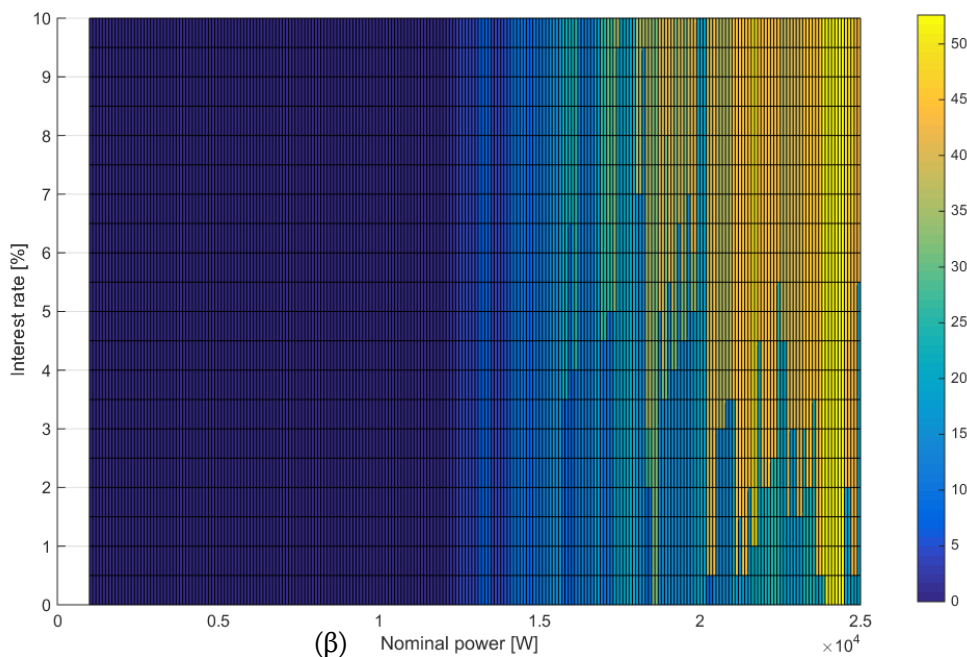
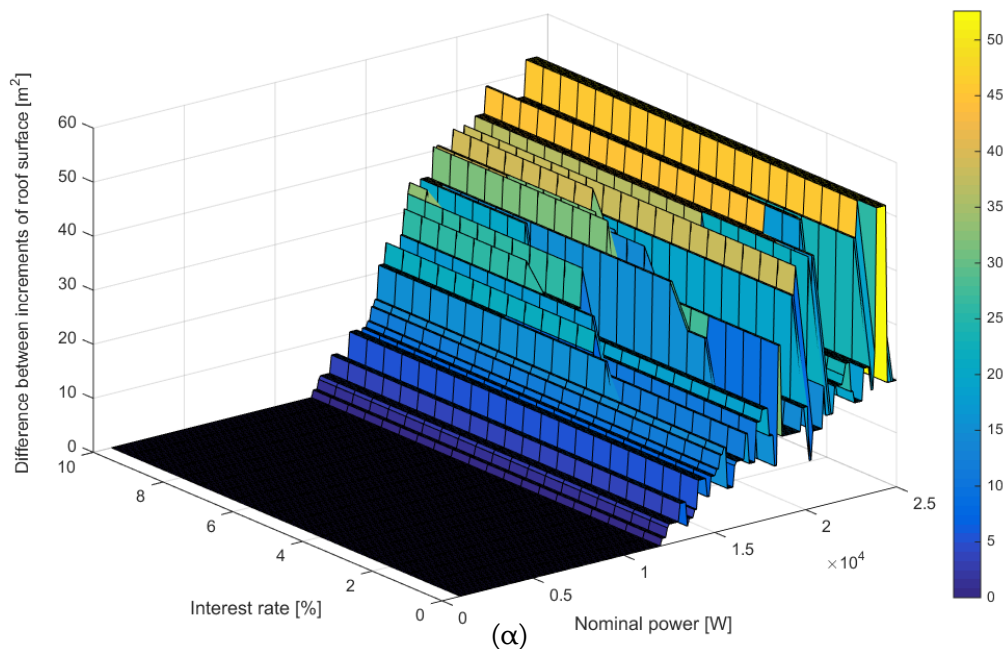


**Σχήμα 4.57:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της προσαύξησης του εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια μόνο της εταιρείας SOLBIAN και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των αναστροφών του παραρτήματος 2.

Στην περίπτωση χρήσης τύπων πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN σύμφωνα με το σχήμα 4.57 παρατηρείται μόνο αύξηση του εμβαδού όσο τοποθετούνται ο αναγκαίος αριθμός πλαισίων προς επίτευξη της ζητούμενης ονομαστικής ισχύος, παρά την αλλαγή τύπων. Το ίδιο είχε παρατηρηθεί και με τις διαστάσεις της ταράτσας, καθώς δεν υπάρχει



διαφοροποίηση των τιμών ανά επιτόκιο λόγω των πολύ λιγότερων αλλαγών τύπου πλαισίου για το ίδιο επιτόκιο (που συνέβη σε σημείο μη επέκτασης ταράτσας). Ωστόσο, αν συγκριθούν τα αναγκαία εμβαδά των σχημάτων 4.56 και 4.57 η χρήση πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN οδηγεί σε σημαντικές αυξήσεις του εμβαδού επέκτασης της ταράτσας για μεγάλες ονομαστικές ισχύες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.58.



**Σχήμα 4.58:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της διαφοράς προσαύξησης εμβαδού της ταράτσας σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας μεταξύ των πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN και του συνόλου πλαισίων του παραρτήματος 2, καθώς και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Ως προς την επιλογή του τύπου αναστροφέα εμφανίζονται οι ακόλουθοι τύποι σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πίνακα 4.22 και του σχήματος 4.59 που παρουσιάζει τη γραφική παράσταση των τύπων των αναστροφέων για την περίπτωση του συνόλου των φωτοβολταϊκών πλαισίων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου:

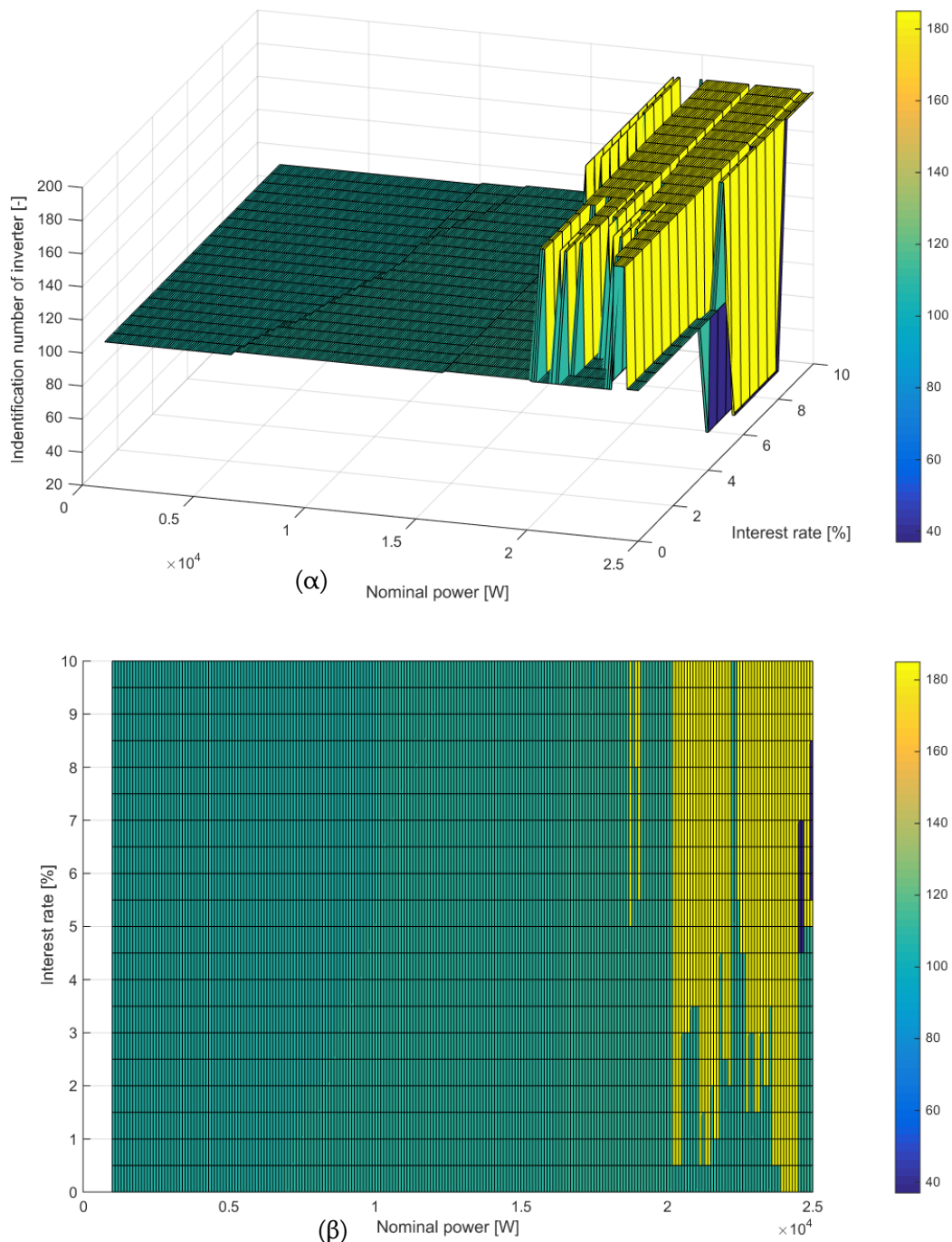
- $\alpha/\alpha=37$ , τύπος=Symo 15-3-M της εταιρείας Fronius ονομαστικής ισχύος εξόδου 15 kW,
- $\alpha/\alpha=104$ , τύπος = SG3K-S Residential single phase inverter της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 3,5 kW,
- $\alpha/\alpha=108$ , τύπος = SG5KTL-MT-V14 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 5 kW,
- $\alpha/\alpha=109$ , τύπος = SG6KTL-MT-V13 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 6 kW,
- $\alpha/\alpha=110$ , τύπος = SG8KTL-MT-V13 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW,
- $\alpha/\alpha=111$ , τύπος =SG10KTL-MT-V15 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 10 kW,
- $\alpha/\alpha=183$ , τύπος = GW12KN-DT της εταιρείας GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 12 kW,
- $\alpha/\alpha=184$ , τύπος = GW15KN-DT της GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 15 kW,
- $\alpha/\alpha=185$ , τύπος = GW17KN-DT της GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 17 kW.

**Πίνακας 4.22:** Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή τύπου αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων παραρτήματος 2.

Πλήθος Επιτόκιο [%]	Αύξων αριθμός αναστροφέα								
	37	104	108	109	110	111	183	184	185
0,0	0	0	58	0	132	45	0	0	6
0,5	0	0	61	0	120	45	0	0	15
1,0	0	0	63	0	116	45	0	0	17
1,5	0	0	66	0	109	45	0	0	21
2,0	0	0	72	0	99	45	0	0	25
2,5	0	0	75	0	94	45	0	0	27
3,0	0	0	77	0	86	45	0	0	33
3,5	0	0	80	0	79	45	0	0	37
4,0	0	0	83	0	76	45	0	0	37
4,5	2	0	86	0	70	43	0	0	40
5,0	2	0	89	0	67	39	3	0	41
5,5	4	0	91	0	64	37	2	0	43
6,0	4	0	91	0	64	37	2	0	43
6,5	4	0	91	0	64	37	2	0	43
7,0	2	0	91	3	61	37	4	0	43
7,5	2	0	91	6	58	37	4	0	43
8,0	2	0	91	9	55	36	4	0	44
8,5	0	0	91	14	50	36	4	2	44
9,0	0	0	91	17	47	36	4	2	44
9,5	0	1	91	20	44	35	4	2	44
10,0	0	1	91	20	44	33	4	2	46
Σύνολο: 5061	22	2	1720	89	1599	848	37	8	736
Σύνολο: 100%	0,435%	0,040%	33,985%	1,759%	31,595%	16,756%	0,731%	0,158%	14,543%

Από την αντίστοιχη μελέτη διαπιστώνεται η κυριαρχία του αναστροφέα με  $\alpha/\alpha$  108 τύπου SG5KTL-MT-V14 της ίδιας εταιρείας Sungrow με ονομαστική ισχύ εξόδου 5 kW

σε ποσοστό 33,99% και ακολούθως εκείνου με α/α 110 τύπου SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow με ονομαστική ισχύ εξόδου 8 kW σε ποσοστό 31,59% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, όπως καταγράφεται και στον πίνακα 4.22. Ουσιαστικά η εταιρεία Sungrow καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων σε ποσοστό 84,13% λόγω του μεγάλου χρόνου βασικής εγγύησης που ανέρχεται στα 10 έτη, με συνέπεια τυπικά να θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής των αντίστοιχων υλικών είναι 15 έτη.



**Σχήμα 4.59:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του άξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.

Ο τύπος SG5KTL-MT-V14 με α/α 108 κυριαρχεί για ισχύες ως 6,7 kW για μικρά επιτόκια μέχρι 13,7 kW για μεγάλα επιτόκια. Ακολουθεί ο τύπος SG8KTL-MT-V13 με α/α 110 μέχρι τα 16,2 kW, έπειτα ο τύπος SG10KTL-MT-V15 τ με α/α 111 μέχρι τα 20,1 kW, ο τύπος GW17KN-DT με α/α 185 μεταξύ των 23,8 kW και 24,4 kW, ενώ οι υπόλοιποι άλλοι αναστροφείς παρεμβάλλεται σε ενδιάμεσα τμήματα. Οι διαφοροποιήσεις στην επιλογή αναστροφέα για την ίδια ονομαστική ισχύ φωτοβολταϊκής μονάδας ως προς τα επιτόκια οφείλονται σε οριακές μεταβολές που λόγω της συμμετοχής ιδανικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων και αναστροφέων συγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών οδηγεί σε μικρές αλλαγές του αντίστοιχου ετήσιου ισοδύναμου κόστους και της αντίστοιχης επιλογής τόσο τύπου πλαισίου, όσο και τύπου αναστροφέα. Συγχρόνως παρατηρείται ότι επιλέγονται αναστροφείς σχετικά μεγάλης ονομαστικής ισχύος.

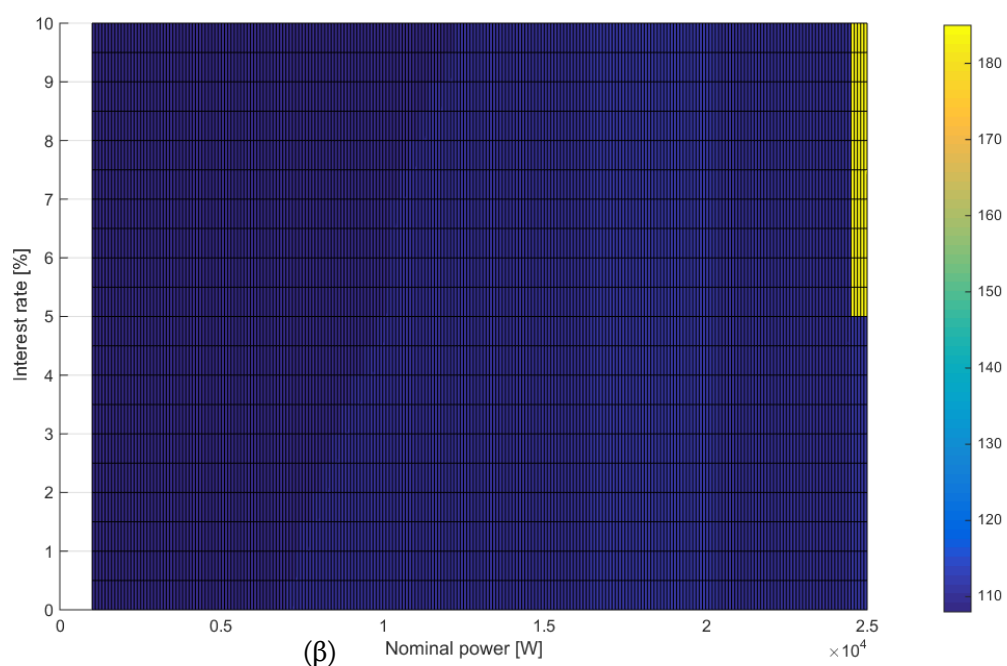
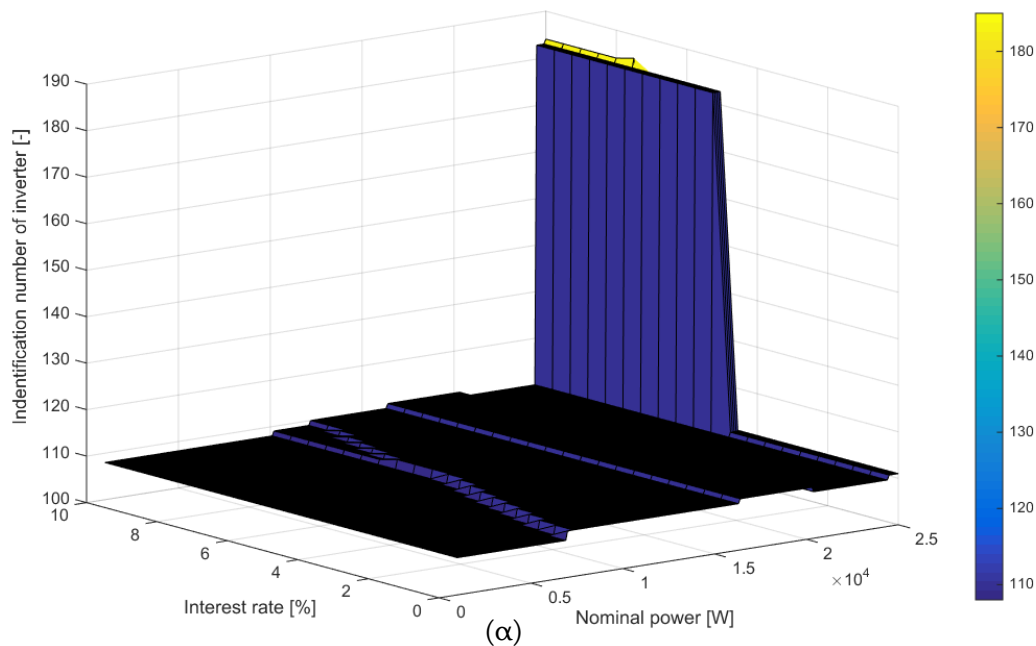
Αν η αντίστοιχη μελέτη περιοριστεί στη χρήση πλαισίων μόνο της εταιρείας SOLBIAN, τότε εμφανίζονται οι ακόλουθοι τύποι σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πίνακα 4.23 και του σχήματος 4.60 που παρουσιάζει τη γραφική παράσταση των τύπων των αναστροφέων σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου:

- α/α=108, τύπος = SG5KTL-MT-V14 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 5 kW,
- α/α=109, τύπος = SG6KTL-MT-V13 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 6 kW,
- α/α=110, τύπος = SG8KTL-MT-V13 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW,
- α/α=111, τύπος =SG10KTL-MT-V15 της Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 10 kW,

**Πίνακας 4.23:** Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή τύπου αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN του παραρτήματος 2.

Πλήθος Επιτόκιο [%]	Αύξων αριθμός αναστροφέα						
	108	109	110	111	183	184	185
0,0	60	0	135	46	0	0	0
0,5	63	0	132	46	0	0	0
1,0	64	0	131	46	0	0	0
1,5	68	0	127	46	0	0	0
2,0	71	0	124	46	0	0	0
2,5	74	0	121	46	0	0	0
3,0	77	0	118	46	0	0	0
3,5	80	0	115	46	0	0	0
4,0	84	0	111	46	0	0	0
4,5	88	0	107	46	0	0	0
5,0	91	0	104	41	5	0	0
5,5	92	0	103	41	5	0	0
6,0	92	0	103	41	5	0	0
6,5	92	0	103	41	5	0	0
7,0	92	3	100	41	5	0	0
7,5	92	6	97	40	5	0	1
8,0	92	9	94	40	5	1	0
8,5	92	12	91	40	5	1	0
9,0	92	17	86	40	5	1	0
9,5	92	20	83	40	5	1	0
10,0	92	20	83	40	5	1	0
Σύνολο: 5061	1740	87	2268	905	55	5	1
Σύνολο: 100%	34,381%	1,719%	44,813%	17,882%	1,087%	0,099%	0,020%

- $\alpha/\alpha=183$ , τύπος = GW12KN-DT της εταιρείας GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 12 kW,
- $\alpha/\alpha=184$ , τύπος = GW15KN-DT της GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 15 kW,
- $\alpha/\alpha=185$ , τύπος = GW17KN-DT της GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 17 kW.



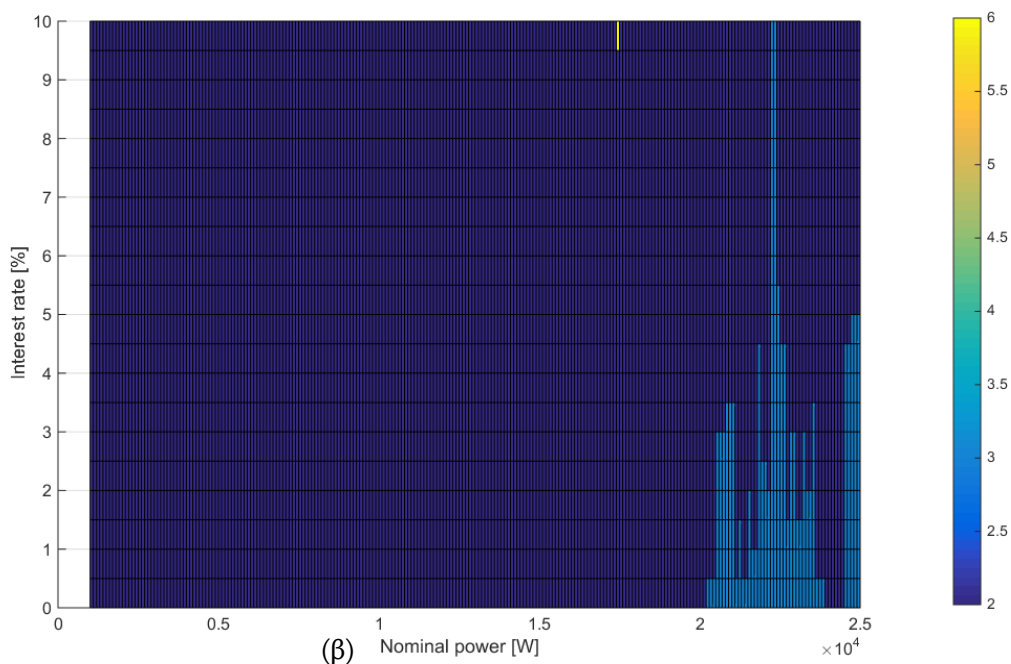
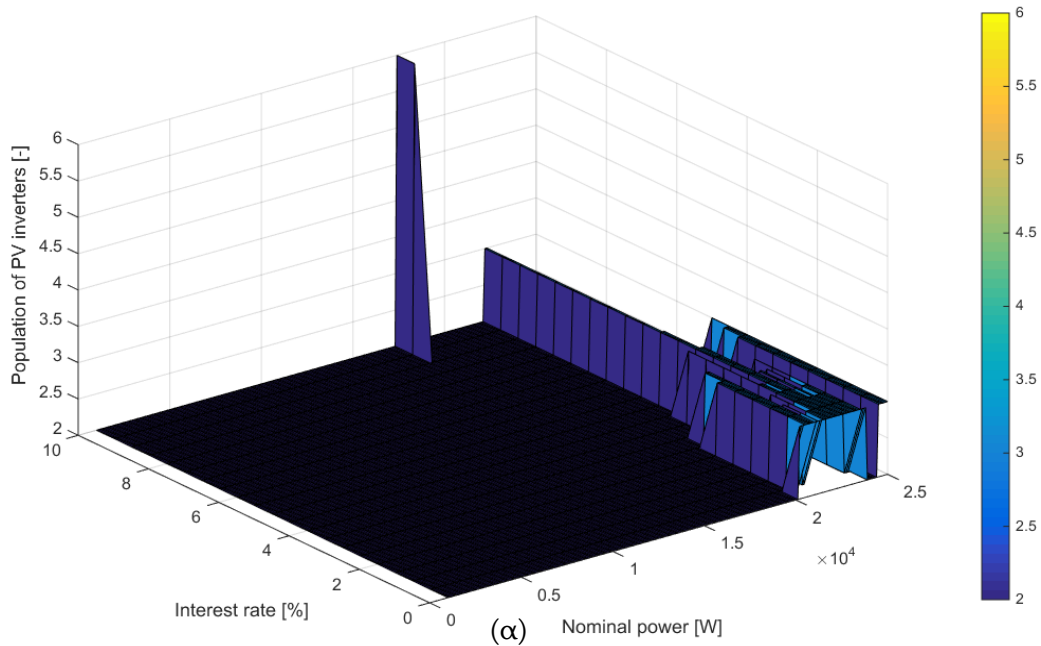
**Σχήμα 4.60:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του αύξοντα αριθμού τύπου αναστροφέα για επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφέων παραρτήματος 2.

Από την αντίστοιχη μελέτη διαπιστώνεται η κυριαρχία του αναστροφέα με α/α 110 τύπου SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow με ονομαστική ισχύ εξόδου 8 kW σε ποσοστό 44,81% και ακολούθως εκείνου με α/α 108 τύπου SG5KTL-MT-V14 της ίδιας εταιρείας Sungrow με ονομαστική ισχύ εξόδου 5 kW σε ποσοστό 34,38% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, όπως καταγράφεται και στον πίνακα 4.23. Ουσιαστικά η εταιρεία Sungrow καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων σε ποσοστό 98,79% λόγω του μεγάλου χρόνου βασικής εγγύησης που ανέρχεται στα 10 έτη, με συνέπεια τυπικά να θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής των αντίστοιχων υλικών είναι 15 έτη. Το ίδιο έχει συμβεί και κατά την εξέταση του συνόλου των τύπων των πλαισίων. Επιπλέον ο τύπος SG5KTL-MT-V14 με α/α 108 κυριαρχεί για ισχύες ως 6,9 kW για μικρά επιτόκια μέχρι 10,1 kW για μεγάλα επιτόκια. Ακολουθεί ο τύπος SG8KTL-MT-V13 με α/α 110 μέχρι τα 25 kW με μία παρεμβολή του SG10KTL-MT-V15 με α/α 111 μεταξύ των 16,4 kW και 20 kW, ενώ οι αναστροφείς της GoodWe επιλέγονται για πολύ μεγάλα επιτόκια και μεγάλες ισχύες. Επίσης πάλι επιλέγονται αναστροφείς σχετικά μεγάλης ονομαστικής ισχύος.

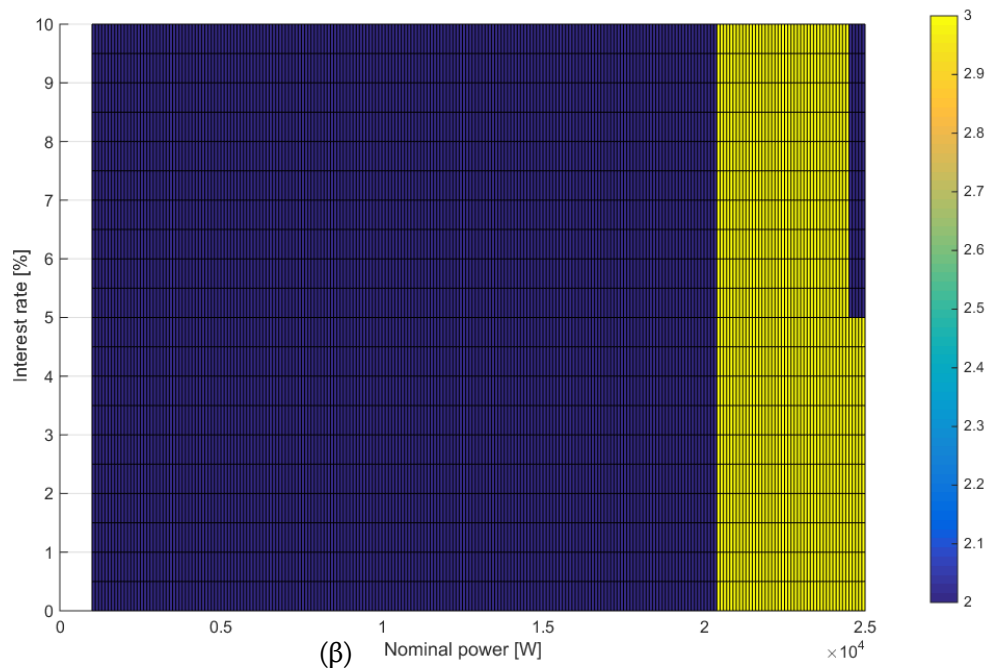
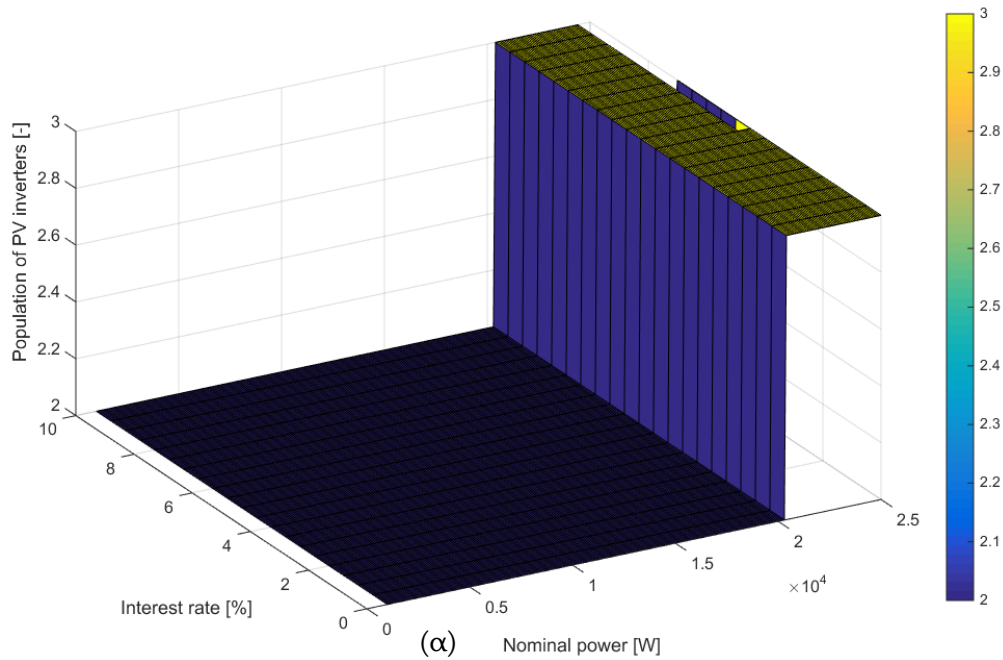
Ως προς το πλήθος των απαιτούμενων αναστροφέων η επιλογή στηρίζεται τόσο είδος τύπου αναστροφέα, όσο και στην ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας. Για την περίπτωση του συνόλου των φωτοβολταϊκών πλαισίων του παραρτήματος 2 η αντίστοιχη γραφική παράσταση του πλήθους αναστροφέων σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου καταγράφεται στο σχήμα 4.61, ενώ τα αντίστοιχα αριθμητικά αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 4.24. Σ' αυτήν την περίπτωση διαπιστώνεται μία συντριπτική κυριαρχία του ελάχιστου πληθυσμού αναστροφέων ίσου με 2, όπου εμφανίζεται στο 94,94% των εξετασμένων περιπτώσεων, ενώ η εμφάνιση 3 αναστροφέων είναι μόλις στο 5,02% (για ορισμένες περιπτώσεις πολύ μεγάλης ισχύος της τάξης των 23 kW και πολύ μικρών επιτοκίων) και η εμφάνιση 6 αναστροφέων μόλις 0,02% (για ορισμένες περιπτώσεις πολύ μεγάλης ισχύος της τάξης των 25 kW και κυρίως πολύ υψηλών επιτοκίων από 9,5% και άνω). Η τελευταία περίπτωση αφορά συγκεκριμένα τη χρήση των αναστροφέων με α/α 104 (SG3K5-S Residential single phase inverter της εταιρείας Sungrow) ονομαστικής ισχύος εξόδου αναστροφέα 3,5 kW. Άλλες τιμές πλήθους αναστροφέων δεν εμφανίζονται.

Για την περίπτωση εξέτασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN του παραρτήματος 2 η αντίστοιχη γραφική παράσταση του πλήθους αναστροφέων σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου καταγράφεται στο σχήμα 4.62, ενώ τα αντίστοιχα αριθμητικά αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 4.24. Σ' αυτήν την περίπτωση διαπιστώνεται η απόλυτη πλειοψηφία του ελάχιστου πληθυσμού αναστροφέων να εμφανίζεται για την τιμή 2 με ποσοστό ίσο με 81,70% των εξετασμένων περιπτώσεων, ενώ η εμφάνιση 3 αναστροφέων αφορά το υπόλοιπο 18,30%, ξεκινώντας από ονομαστική ισχύ φωτοβολταϊκής μονάδας από 20,4 kW ως 24,4 kW κυριαρχώντας σε όλο το φάσμα επιτοκίων από 0% ως 10% και για ισχύες των 24,5 kW και άνω για επιτόκια ως 4,5%. Εδώ παρουσιάζεται στην περιοχή των σχημάτων 4.60 και 4.62 (με την αντίστοιχη «κίτρινη» περιοχή) ένα «δόντι» που οφείλει την ύπαρξή του στην επιλογή του αναστροφέα με α/α=110 (τύπος = SG8KTL-MT-V13 της Sungrow) με ονομαστική ισχύ εξόδου 8 kW και με α/α=111 (τύπος = SG10KTL-MT-V15 της Sungrow) με ονομαστική ισχύ εξόδου 10

kW για τον οποίο το αντίστοιχο πλήθος είναι 3. Αντίθετα, σε όλες τις άλλες περιπτώσεις κυριαρχούν το πλήθος 2 αναστροφών για όλους τους άλλους τύπους αναστροφών συμπεριλαμβανομένου και του τύπου SG8KTL-MT-V13 της Sungrow (με  $\alpha/\alpha=110$ ) που στην παρούσα περίπτωση κυριαρχεί.



**Σχήμα 4.61:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους αναστροφών σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2.



**Σχήμα 4.62:** (α) Τρισδιάστατη γραφική παράσταση και (β) διδιάστατη προβολή της του πλήθους αναστροφένων για επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου εταιρείας SOLBIAN (με αντοχή σε θαλασσινό περιβάλλον) σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου, με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας για το σύνολο των δεδομένων αναστροφένων παραρτήματος 2.

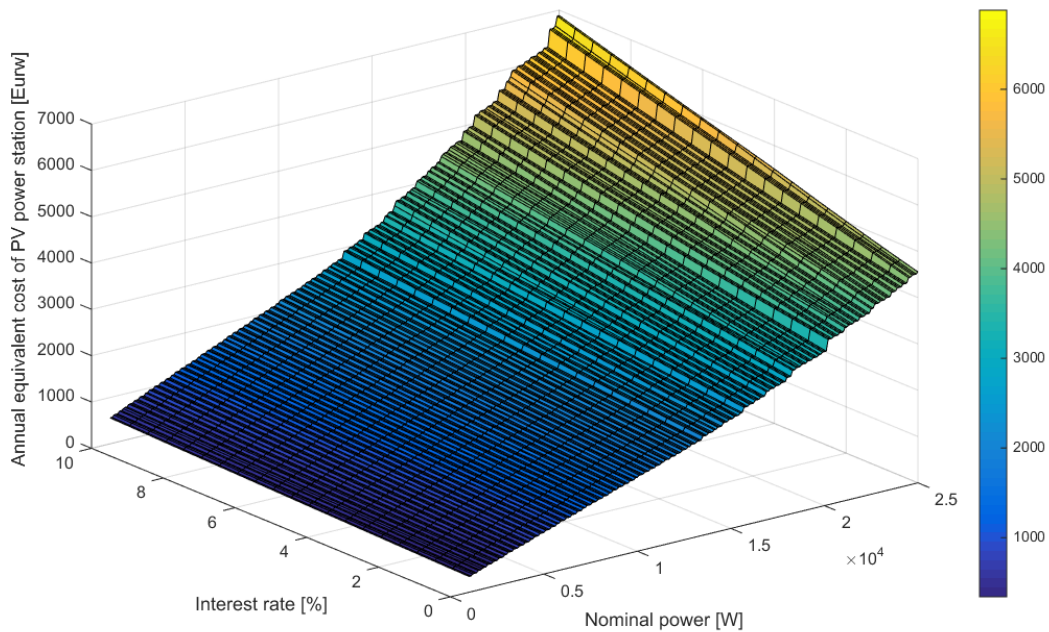
Ανεξάρτητα του τρόπου επιλογής φωτοβολταϊκών πλαισίων (είτε από το σύνολο πλαισίων του παραρτήματος 2, είτε μόνο από την εταιρεία SOLBIAN) συνήθως επιλέγεται πλήθος ίσο με 2 (το ελάχιστο δυνατό για αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας).



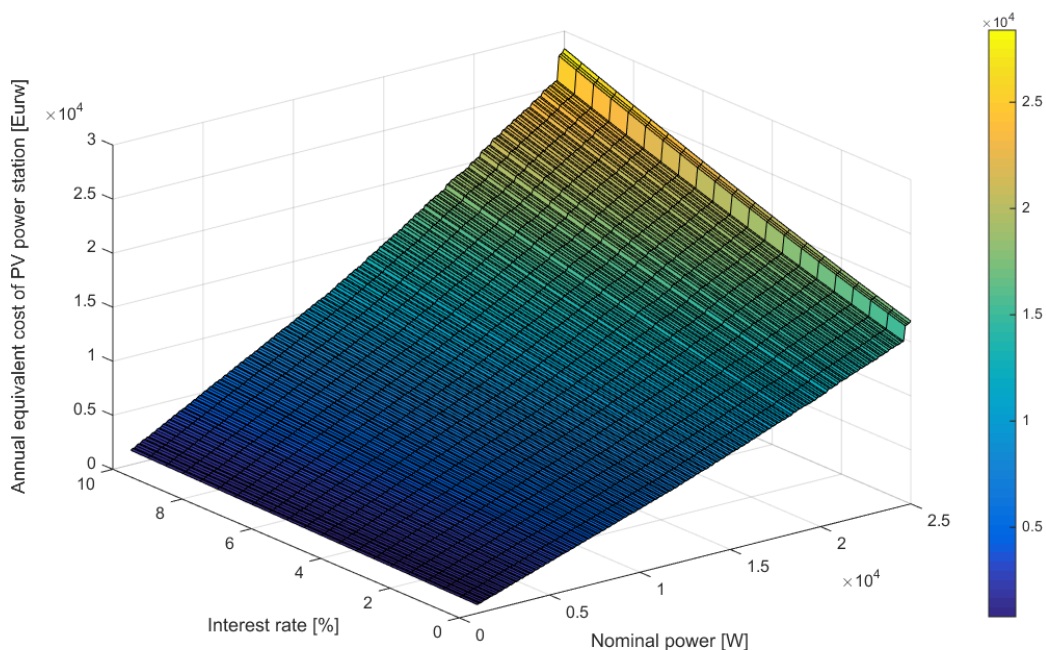
**Πίνακας 4.24:** Πλήθος και βέλτιστη ποσοστιαία επιλογή πλήθους αναστροφέα ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια για δύο περιπτώσεις (α) για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών παραρτήματος 2, (β) για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλασιών εταιρείας SOLBIAN παραρτήματος 2.

Πλήθος Επιτόκιο [%]	Περίπτωση (α): Πλήθος αναστροφέων			Περίπτωση (β): Πλήθος αναστροφέων	
	2	3	6	2	3
0,0	198	43	0	194	47
0,5	207	34	0	194	47
1,0	209	32	0	194	47
1,5	213	28	0	194	47
2,0	217	24	0	194	47
2,5	219	22	0	194	47
3,0	225	16	0	194	47
3,5	229	12	0	194	47
4,0	229	12	0	194	47
4,5	234	7	0	194	47
5,0	237	4	0	199	42
5,5	239	2	0	199	42
6,0	239	2	0	199	42
6,5	239	2	0	199	42
7,0	239	2	0	199	42
7,5	239	2	0	200	41
8,0	239	2	0	200	41
8,5	239	2	0	200	41
9,0	239	2	0	200	41
9,5	238	2	1	200	41
10,0	238	2	1	200	41
Σύνολο: 5061	4805	254	2	4135	926
Σύνολο: 100%	94,942%	5,019%	0,040%	81,703%	18,297%

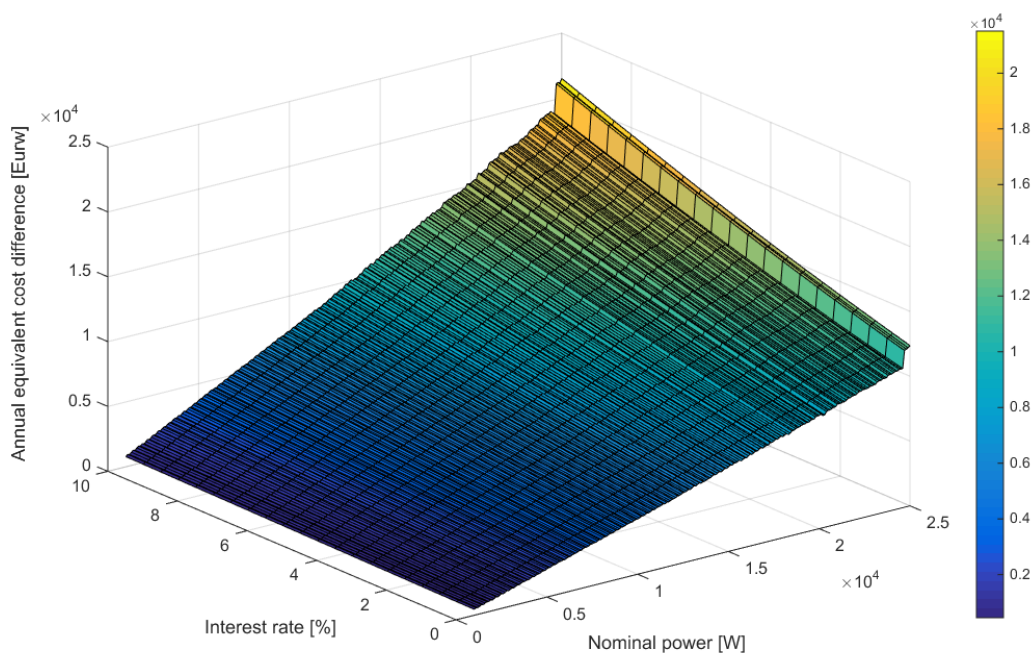
Ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής της φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας σε συνάρτηση με την ονομαστική της ισχύ και το αντίστοιχο αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου καταγράφονται τα αποτελέσματα στο σχήμα 4.63 για την περίπτωση του συνόλου των φωτοβολταϊκών πλασιών του παραρτήματος 2 και στο σχήμα 4.64 για την περίπτωση μόνο χρήσης πλασιών από την εταιρεία SOLBIAN. Συγχρόνως υπολογίζεται η αντίστοιχη διαφορά μεταξύ των ετήσιων κοστών διαμόρφωσης της φωτοβολταϊκής μονάδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.65. Διαπιστώνεται άμεσα ότι η χρήση φωτοβολταϊκών πλασιών της εταιρείας SOLBIAN οδηγεί σε πολύ ακριβότερες λύσεις σε σχέση με τη βέλτιστη οικονομικά λύση του σχήματος 4.63. Η δε διαφορά εις βάρος της λύσης της SOLBIAN έναντι των απλών φωτοβολταϊκών πλασιών γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η ισχύς του υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και όσο αυξάνεται το επιτόκιο κεφαλαίου, όπως (άλλωστε φαίνεται και στο σχήμα 4.65). Τέλος, αν συγκριθεί η λύση με επιλογή πλασιών της SOLBIAN έναντι της αρχικής λύσης της παραγράφου 4.6 θα προκύψουν μηδενικές διαφορές εκτός της περιοχής που δεν χωρούν να τοποθετηθούν τα αναγκαία πλαίσια τύπου Sxp154L ή Sxp154Q επί της ταράτσας (για ισχύες μεγαλύτερες των 24,6 kW).



**Σχήμα 4.63:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας εξετάζοντας το σύνολο των δεδομένων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.



**Σχήμα 4.64:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας εξετάζοντας το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN και το σύνολο όλων των αναστροφών του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.



**Σχήμα 4.65:** Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της διαφοράς ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας SOLBIAN και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλαισίων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας και το επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.

#### 4.7. Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

##### 4.7.1. Τρόπος σύγκρισης

Ένας τρόπος σύγκρισης θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω της εκτέλεσης της μεθοδολογίας της παραγράφου 4.4 με τον τρόπο που έχει υλοποιηθεί στην παράγραφο 4.5 για το σύνολο των τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων και αναστροφένων διαφορετικών εταιρειών για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς. Αυτό όμως θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρο. Εναλλακτικά επειδή η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή εξαρτάται πρακτικά από την ισχύ του αυτόνομου συστήματος φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της παραγράφου 4.5 ως προς τα ελάχιστα ετήσια ισοδύναμα κόστη κατασκευής και λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια της Solbian και συσσωρευτές και να αφαιρεθεί η διαφορά μεταξύ ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας Solbian και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλαισίων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας για τα διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου. Η μοναδική τροποποίηση που απαιτείται να γίνει είναι η

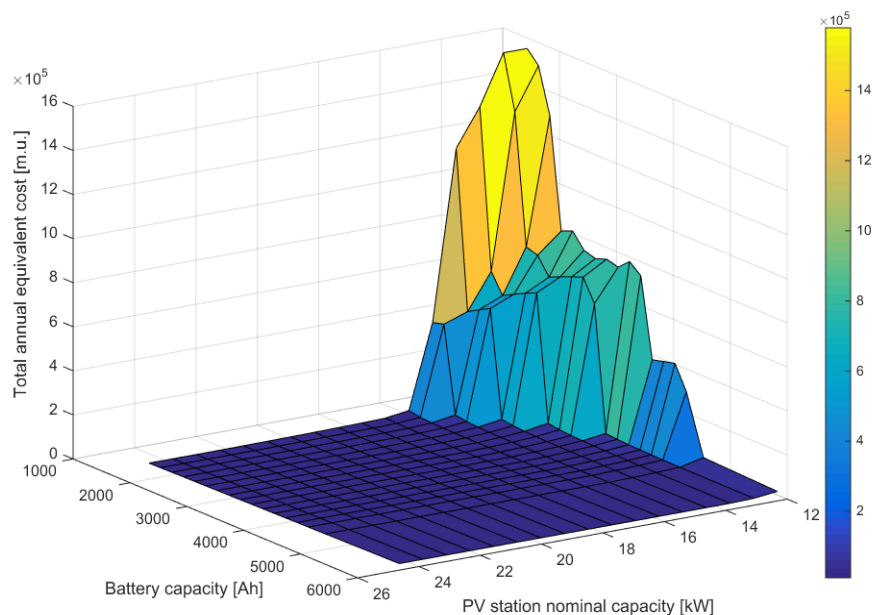
μετατροπή της συνάρτησης κόστους ως προς το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων του τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN στην αντίστοιχη καμπύλη ως προς την ονομαστική ισχύ του φωτοβολταϊκού σταθμού (πολλαπλασιάζοντας με την ονομαστική ισχύ των 154 W του ενός πλαισίου) και μέσω των αριθμητικών αποτελεσμάτων του σχήματος 4.65 για τα διάφορα επιτόκια να γίνει η αντίστοιχη διόρθωση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους του αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού επιλέγοντας τα αντίστοιχα βήματα ισχύος (άλλωστε το βήμα της προσέγγισης της παραγράφου 4.5 είναι  $5 \cdot 154 \text{ W} = 770 \text{ W}$  έναντι των κβαντισμένων αποτελεσμάτων ανά 100 W της παραγράφου 4.6). Απλώς επισημαίνεται ότι σε κάθε συνδυασμό επιτοκίου-ισχύος αντιστοιχεί και διαφορετικός συνδυασμός τύπου φωτοβολταϊκών πλαισίων – πλήθους πλαισίων – τύπου μετατροπέα – πλήθους μετατροπέων – διαστάσεων επέκτασης ταράτσας. Επιπλέον οι μικροδιαφορές στην απόδοση των μετατροπέων έχουν ληφθεί υπόψη κοστολογώντας την απώλεια παραγόμενης ενέργειας από τα φ/β πλαίσια λόγω απόδοσης αναστροφέα μέσω της σχέσης (4.91).

**Πίνακας 4.25:** Διαφορά ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από τα πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN (πλήθους από 80 ως 160) και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλαισίων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φ/β μονάδας και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.

Επιτόκιο [%]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L της Solbian [-] με ονομαστική ισχύς υπό συνθήκες STC [W] / Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
	12320	13090	13860	14630	15400	16170	16940	17710	18480	19250	20020	20790	21560	22330	23100	23870	24640
	12400	13100	13900	14700	15400	16200	17000	17800	18500	19300	20100	20800	21600	22400	23100	23900	24700
0,0	5326	5718	6020	6355	6689	7077	7386	7790	8065	8433	8816	9074	9494	9870	10035	10515	10726
0,5	5493	5898	6209	6554	6901	7300	7619	8039	8331	8700	9097	9362	9798	10186	10354	10872	11067
1,0	5662	6080	6400	6757	7117	7528	7856	8291	8602	8971	9384	9654	10124	10507	10679	11234	11414
1,5	5834	6266	6595	6964	7336	7758	8097	8548	8877	9247	9675	9952	10456	10834	11011	11604	11767
2,0	6009	6454	6793	7173	7559	7993	8341	8810	9157	9528	9970	10253	10795	11167	11363	11980	12135
2,5	6186	6645	6993	7386	7786	8231	8589	9075	9442	9812	10271	10560	11139	11504	11722	12363	12514
3,0	6366	6839	7197	7602	8015	8473	8841	9344	9731	10101	10576	10871	11489	11847	12086	12752	12900
3,5	6549	7036	7403	7820	8248	8718	9097	9618	10025	10395	10885	11202	11845	12195	12456	13147	13291
4,0	6734	7236	7613	8042	8485	8967	9356	9895	10323	10692	11199	11539	12206	12548	12832	13549	13689
4,5	6921	7438	7825	8267	8724	9219	9620	10176	10626	10994	11518	11881	12573	12906	13213	13957	14094
5,0	7111	7643	8040	8495	8967	9474	9895	10461	10933	11299	11840	12228	12945	13269	13600	14371	14506
5,5	7303	7851	8258	8726	9214	9733	10173	10750	11244	11609	12167	12580	13323	13637	13992	14791	14922
6,0	7498	8061	8479	8960	9463	9995	10456	11043	11559	11923	12499	12937	13706	14025	14390	15217	15343
6,5	7696	8274	8702	9197	9715	10261	10741	11339	11879	12251	12834	13299	14094	14418	14793	15648	15770
7,0	7895	8490	8928	9436	9971	10529	11031	11639	12202	12587	13174	13665	14487	14816	15202	16086	16204
7,5	8097	8708	9156	9679	10230	10801	11324	11943	12530	12928	13518	14036	14885	15219	15615	16528	16647
8,0	8301	8928	9388	9924	10491	11076	11620	12250	12861	13273	13866	14411	15288	15627	16033	16976	17094
8,5	8508	9151	9621	10172	10756	11354	11920	12560	13196	13621	14217	14791	15696	16040	16457	17430	17548
9,0	8716	9377	9858	10422	11023	11635	12223	12874	13535	13974	14573	15175	16108	16457	16885	17889	18006
9,5	8927	9604	10096	10675	11293	11919	12529	13192	13878	14330	14932	15563	16525	16879	17318	18352	18470
10,0	9140	9834	10338	10931	11566	12206	12839	13512	14224	14690	15295	15955	16946	17306	17755	18821	18938

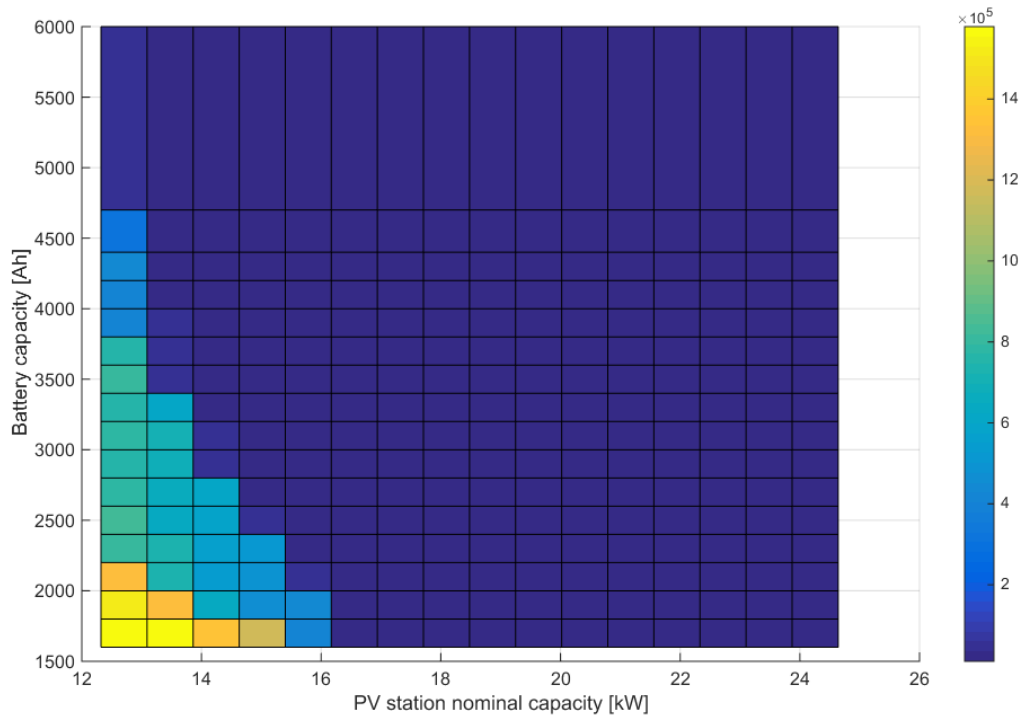
**4.7.2. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA**  
 Όπως ήδη έχει διαπιστωθεί στο σχήμα 4.20 από τη μελέτη του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας συσσωρευτή για διαφορετικές τιμές ισχύος φ/β πλαισίων και διαφορετικές τιμές χωρητικότητας συσσωρευτή τύπου AGM VRLA έχει προκύψει ότι ως τα 1400 Ah για οποιοδήποτε πλήθος φ/β πλαισίων το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Από εκεί

και πέρα ξεκινά μια σημαντική βελτίωση του χρόνου ομαλής λειτουργίας όσο αυξάνεται είτε η χωρητικότητα του συσσωρευτή, είτε η ισχύς των φ/β πλαισίων, φτάνοντας στον κορεσμό κοντά στις 1385 ημέρες ή 3,8 έτη στη νοητή καμπύλη του σχήματος 4.20β η οποία εκτείνεται για μεγάλες τιμές πλήθους φ/β πλαισίων που αντιστοιχούν σε ισχύ 22,33 kW για χωρητικότητα 1600 Ah, για ενδιάμεσες τιμές ισχύος φ/β πλαισίων υπάρχει μία γραμμική μεταβολή από το σημείο 22,33 kW χωρητικότητας συσσωρευτή 1600 Ah ως το σημείο 15,4 kW και 4000 Ah χωρητικότητας συσσωρευτή και μετά πρακτικά σχεδόν ευθυγραμμίζεται στα 14,63 kW όσο και εάν μεγαλώνει η χωρητικότητα. Ακολούθως πραγματοποιείται η μελέτη του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής του αυτόνομου σταθμού εξετάζοντας διαφορετικές χωρητικότητες συσσωρευτών AGM VRLA της εταιρείας Narada ονομαστικής τάσης 108 V {1600 Ah, 1800 Ah, 2000 Ah, 2200 Ah, 2400 Ah, 2600 Ah, 2800 Ah, 3000 Ah, 3200 Ah, 3400 Ah, 3600 Ah, 3800 Ah, 4000 Ah, 4200 Ah, 4400 Ah, 4700 Ah, 6000 Ah} και διαφορετικά επίπεδα ισχύος που εκτείνονται από 12,32 kW ως 24,64 kW με βήμα 770 W που αντιστοιχούν σε πλήθος από 80 ως 160 με βήμα 5 φ/β πλαίσια τύπου Sxp154Q της Solbian, σχηματίζοντας για τις ανωτέρω 289 διαφορετικές περιπτώσεις φ/β πλαισίων και συσσωρευτών για διαφορετικά αποπληθωρισμένα επιτόκια. Στα σχήματα 4.66, 4.67 και 4.68 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αντίστοιχες παραστάσεις για 0%, 3% και 10%, ενώ τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες 4.26, 4.27 και 4.28 με κβαντισμένες τιμές ονομαστικής ισχύος αυτόνομου συστήματος, όπως διαμορφώνεται με τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.6.

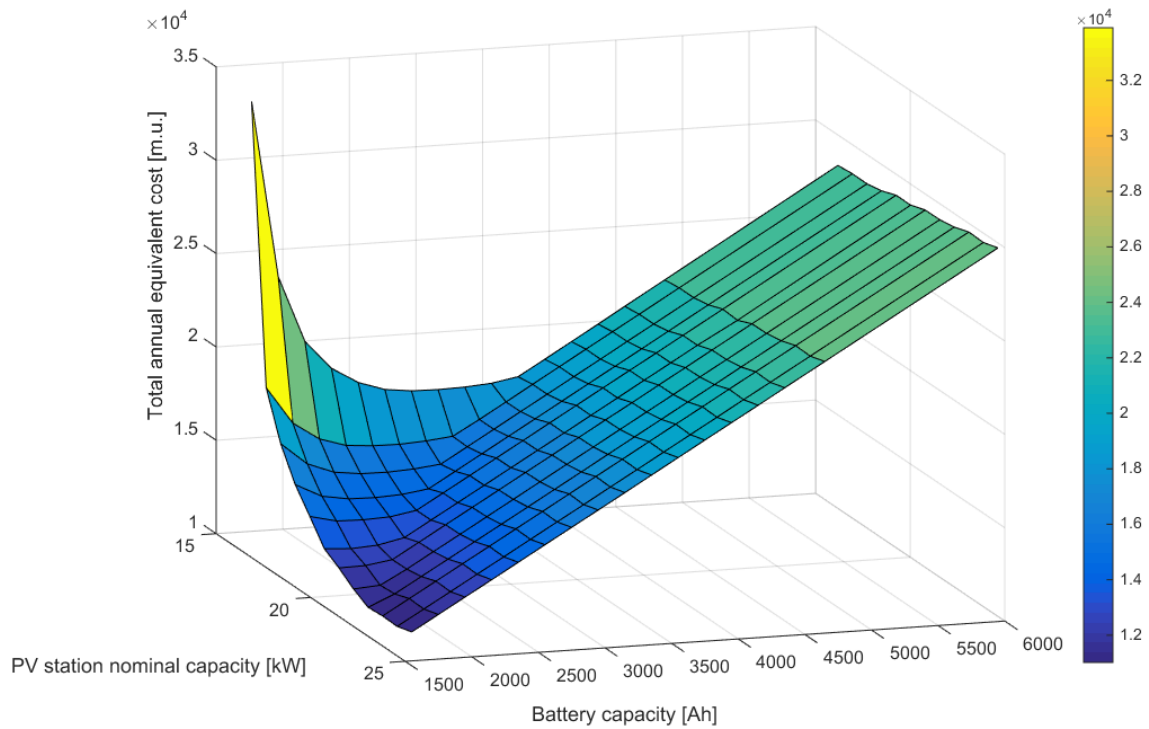


(α)-τριδιάστατη παράσταση

**Σχήμα 4.66(α):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

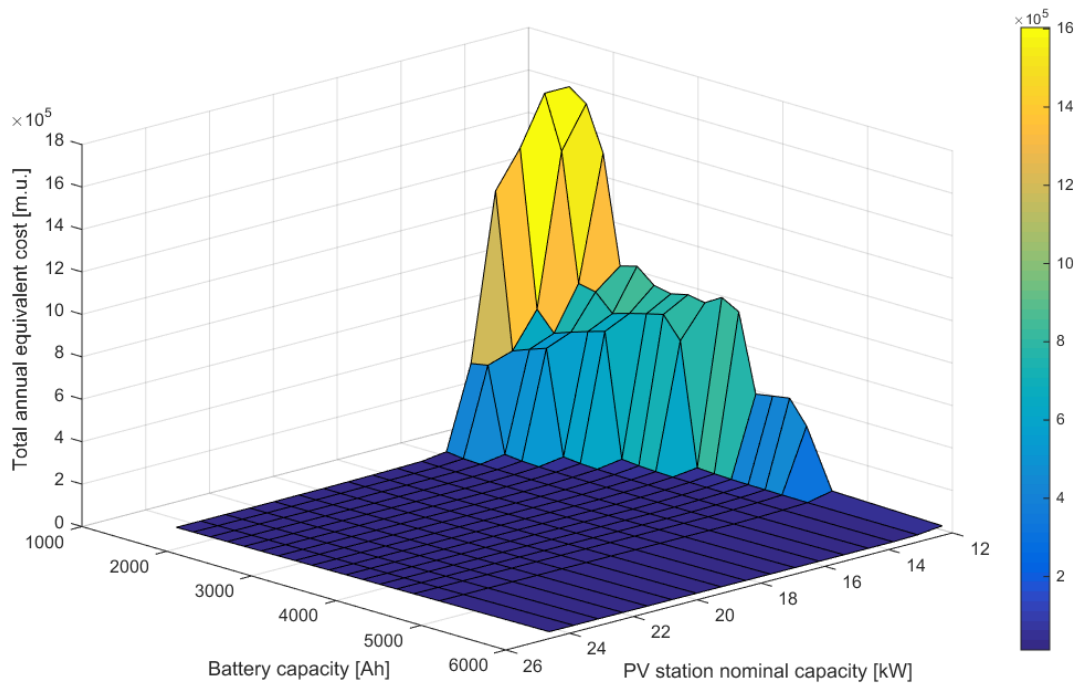


(β)-δισδιάστατη προβολή

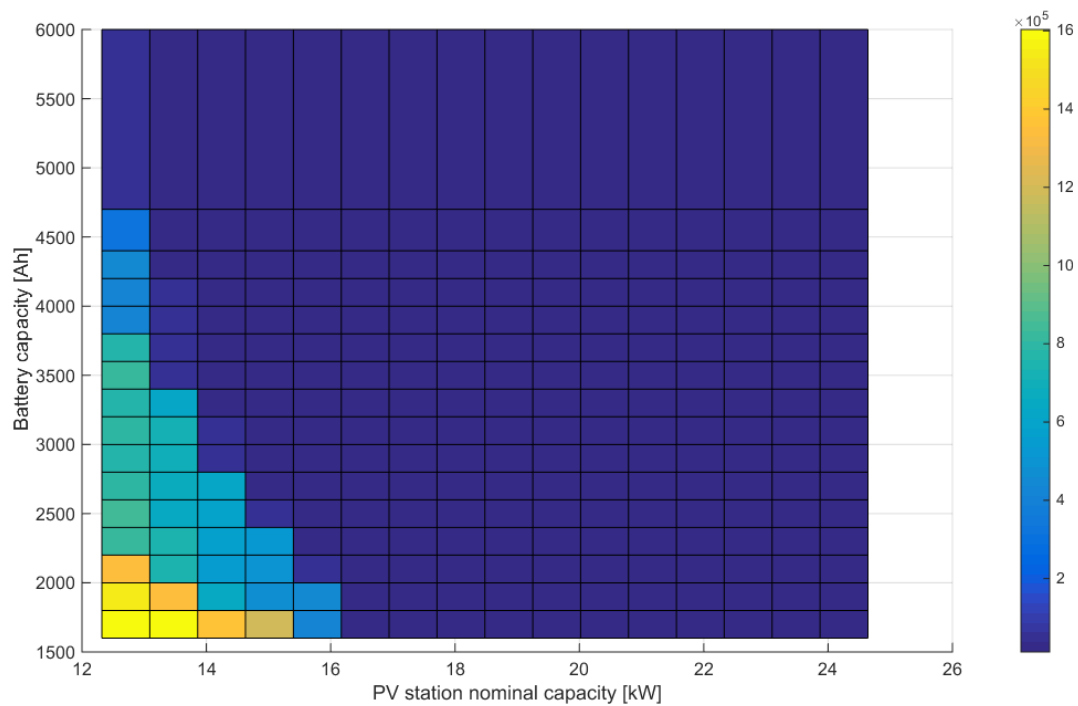


(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.66(β,γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα

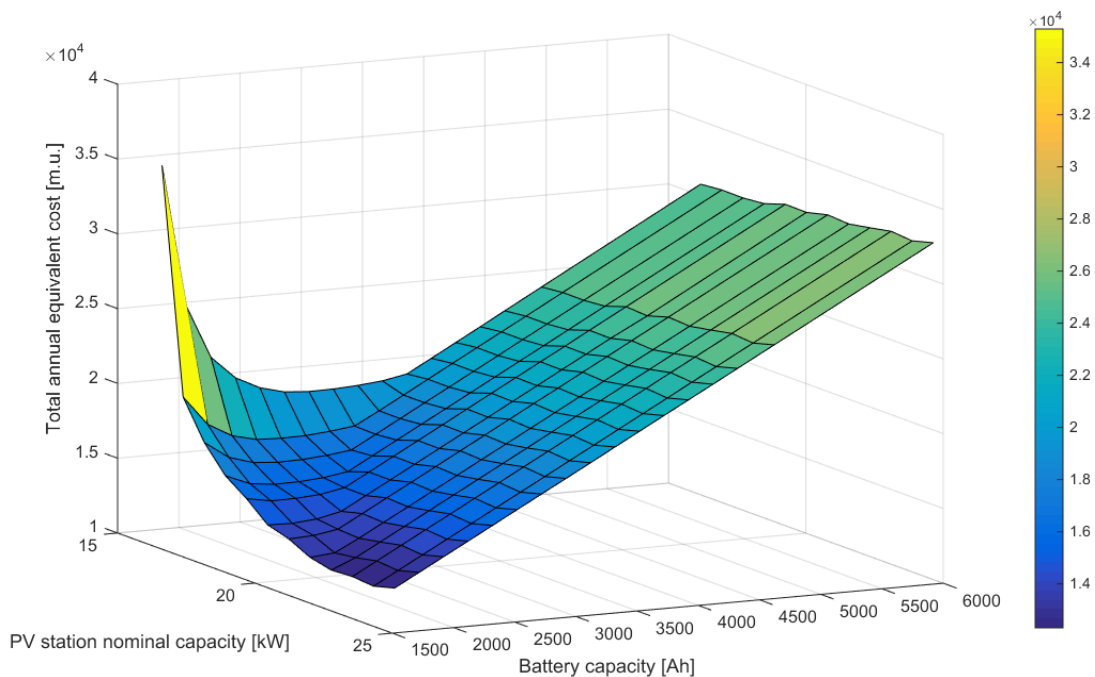


(α)-τρισεδιάστατη παράσταση



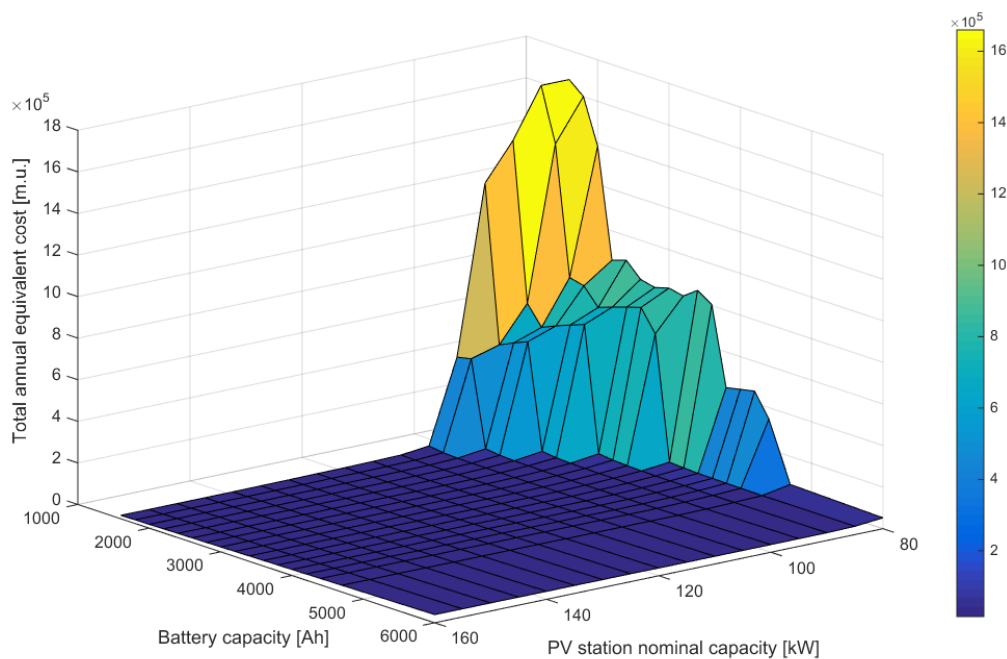
(β)-δισεδιάστατη προβολή

**Σχήμα 4.67(α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληρωρισμένο επιτόκιο.



(γ)- μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

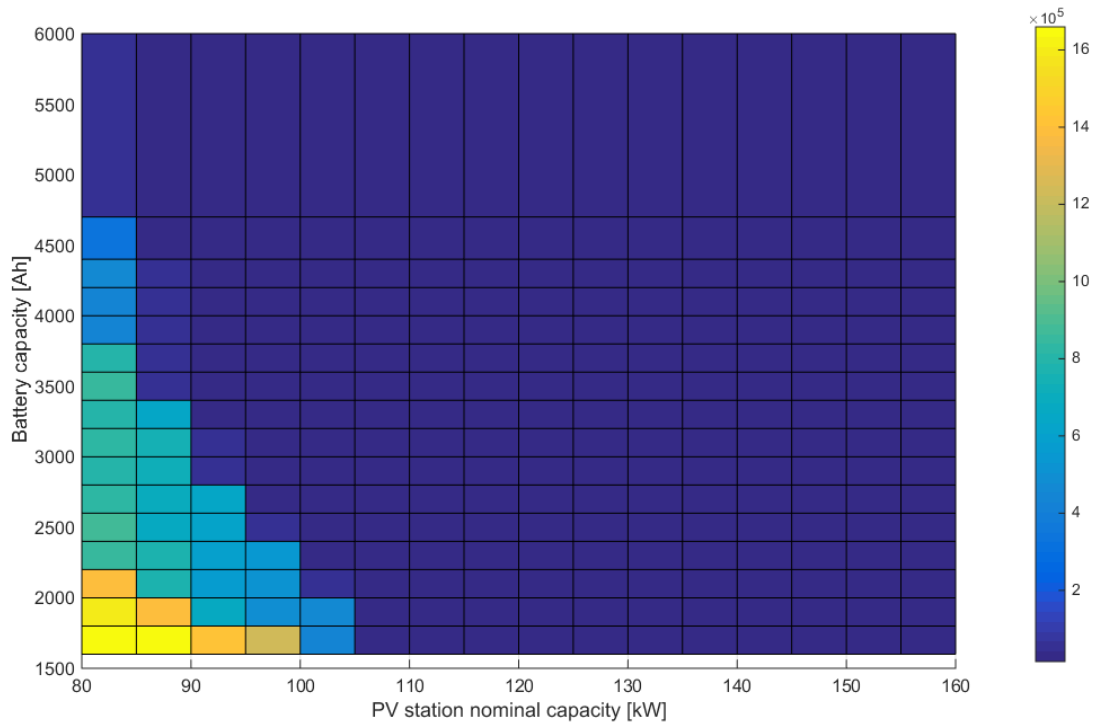
Σχήμα 4.67(γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα



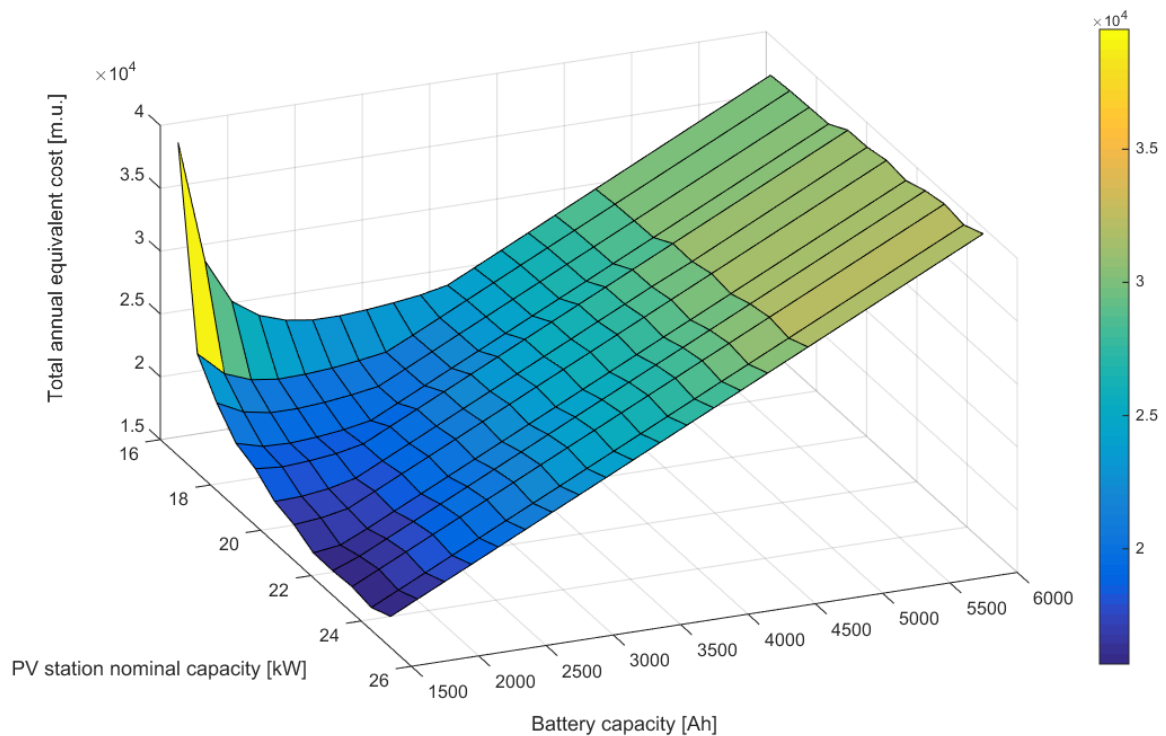
(α)-τρισδιάστατη παράσταση

Σχήμα 4.68(α): Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών για μεταβλητή χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V (200, 400, ..., 4200, 4400, 4700, 6000 Ah) με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.





(β)-δισδιάστατη προβολή



(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.68(β,γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα.

Για την περίπτωση αποπληθωρισμένου επιτοκίου 0% διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο σημείο από πλευράς ισχύος παρουσιάζεται σε ισχύ ίση με 22,4 kW και χωρητικότητα

συσσωρευτή 1600 Ah, για 3% 23,9 kW και 1600 Ah, 10% 23,9 kW και 1600 Ah, έχοντας αλλάξει ουσιαστικά η βέλτιστη ονομαστική ισχύς σε σχέση με τα φ/β πλαίσια Sxp154Q της εταιρείας Solbian για τα επιτόκια 3% και 10%.

**Πίνακας 4.26:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικό- τητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1600	1578987	1578991	1353828	1184947	413748	33899	19097	16620	14956	13781	12576	12076	11474	11020	11083	11049	11279
1800	1522672	1332616	628368	465103	428145	24413	17105	15448	14241	13440	12487	12108	11580	11643	11918	11884	12119
2000	1316187	741316	539831	495097	36988	20859	16159	14904	14004	13408	12578	12328	12349	12479	12753	12719	12955
2200	815224	724891	567876	522691	28849	19318	15718	14732	13976	13470	12886	13162	13189	13312	13593	13559	13787
2400	836963	647245	593585	41334	25115	18466	15604	14713	14049	13722	13727	14003	14022	14152	14426	14391	14627
2600	770877	670617	617237	33531	23411	17996	15585	14792	14254	14558	14563	14838	14865	14986	15267	15233	15469
2800	754750	692041	46554	29623	22261	17826	15670	14951	15094	15396	15401	15675	15702	15823	16104	16070	16305
3000	773447	711751	38710	27473	21586	17799	15823	15788	15939	16240	16243	16517	16544	16664	16946	16902	17137
3200	759051	612565	34520	26268	21199	17838	16629	16630	16781	17079	17082	17355	17383	17502	17783	17749	17974
3400	806355	45426	32025	25402	21041	17944	17470	17480	17618	17926	17917	18201	18217	18347	18617	18583	18819
3600	762429	40476	30630	24825	21016	18200	18319	18316	18464	18770	18760	19044	19060	19189	19459	19425	19660
3800	403426	37409	29521	24506	21025	19038	19165	19160	19307	19612	19601	19872	19899	20029	20299	20264	20500
4000	417134	35503	28771	24349	21106	19884	20009	20001	20147	20451	20451	20722	20737	20866	21135	21101	21337
4200	430369	34739	28263	24305	21237	20728	20851	20854	20985	21288	21288	21558	21585	21701	21983	21949	22171
4400	323387	33349	27918	24284	21624	21584	21690	21691	21834	22136	22135	22405	22418	22548	22816	22781	23017
4700	56360	32300	27758	24386	22904	22857	22959	22957	23099	23398	23324	23666	23678	23808	24074	24040	24276
6000	43297	31463	28722	28530	28419	28364	28446	28433	28585	28877	28871	29136	29145	29274	29537	29503	29738

**Πίνακας 4.27:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικό- τητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1600	1603418	1603413	1374904	1203503	420784	35290	20314	17793	16084	15069	13827	13405	12689	12358	12438	12311	12688
1800	1546312	1353409	638664	472964	435445	25712	18342	16654	15409	14773	13787	13488	12846	13040	13334	13208	13600
2000	1336793	753332	548854	503453	38500	22155	17432	16151	15218	14790	13929	13761	13676	13938	14232	14105	14497
2200	828402	736711	577367	531508	30290	20641	17034	16027	15240	14903	14291	14657	14579	14833	15134	15007	15392
2400	850514	657955	603508	43017	26549	19827	16968	16058	15364	15209	15195	15560	15474	15735	16028	15902	16294
2600	783490	681724	627562	35148	24870	19400	16999	16188	15622	16107	16092	16457	16378	16631	16932	16805	17197
2800	767171	703516	48412	31231	23753	19277	17136	16399	16525	17008	16992	17356	17278	17530	17831	17704	18096
3000	786196	723569	40502	29099	23118	19300	17341	17299	17432	17913	17897	18260	18182	18433	18734	18598	18990
3200	771633	622951	36298	27926	22775	19390	18209	18203	18335	18814	18798	19160	19082	19333	19634	19508	19889
3400	819692	47400	33817	27098	22665	19547	19112	19115	19235	19723	19695	20068	19979	20240	20530	20404	20796
3600	775159	42427	32450	26562	22690	19857	20023	20013	20142	20630	20600	20973	20883	21145	21434	21307	21699
3800	410846	39364	31375	26288	22749	20757	20932	20919	21047	21533	21503	21864	21785	22046	22335	22209	22601
4000	424808	37480	30664	26179	22881	21665	21838	21823	21950	22435	22415	22776	22685	22946	23234	23108	23500
4200	438289	36754	30198	26184	23065	22571	22741	22737	22850	23333	23314	23673	23595	23843	24144	24017	24396
4400	329759	35393	29898	26213	23507	23489	23643	23637	23761	24244	24223	24582	24490	24751	25038	24912	25304
4700	58826	34404	29811	26392	24880	24856	25005	24996	25119	25599	25504	25936	25843	26104	26390	26264	26656
6000	45893	33880	31115	30921	30800	30767	30895	30875	31009	31481	31456	31810	31713	31975	32257	32130	32522

**Πίνακας 4.28:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή AGM VRLA ονομαστικής τάσης 108 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή AGM VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1600	1659833	1659797	1423612	1246421	437234	38805	23362	20847	19012	18378	17160	16705	15854	15823	15944	15674	16348
1800	1600910	1401461	662617	491320	452502	29028	21448	19794	18439	18198	17245	16917	16144	16650	16992	16722	17402
2000	1384426	781229	569886	522952	42282	25476	20632	19400	18367	18341	17518	17325	17123	17699	18040	17770	18450
2200	858976	764158	599474	552066	33919	24036	20347	19397	18516	18585	18018	18372	18177	18746	19093	18823	19496
2400	881947	682854	626610	47214	30178	23319	20405	19555	18772	19027	19073	19426	19223	19799	20138	19869	20548
2600	812771	707538	651588	39204	28566	23004	20563	19817	19165	20076	20121	20474	20279	20846	21194	20924	21603
2800	796013	730178	53020	35280	27536	23003	20831	20162	20218	21128	21172	21524	21329	21896	22243	21974	22653
3000	815793	751020	44967	33201	27006	23153	21170	21212	21277	22184	22228	22580	22385	22951	23298	23018	23698
3200	800850	647117	40747	32113	26778	23372	22188	22268	22331	23237	23280	23631	23436	24002	24349	24079	24748
3400	850643	52285	38307	31382	26790	23662	23242	23331	23382	24297	24329	24690	24484	25060	25396	25126	25806
3600	804720	47269	37019	30954	26941	24109	24305	24380	24441	25355	25385	25746	25539	26115	26451	26181	26861
3800	428217	44228	36033	30797	27129	25159	25365	25437	25497	26410	26439	26788	26593	27169	27504	27234	27914
4000	442762	42405	35424	30810	27393	26219	26422	26492	26551	27462	27503	27851	27643	28219	28554	28284	28964
4200	456811	41778	35068	30942	27709	27276	27477	27558	27602	28512	28552	28900	28705	29267	29615	29345	30011
4400	344730	40498	34884	31098	28292	28346	28529	28609	28665	29574	29613	29960	29751	30327	30660	30390	31070
4700	64880	39664	34983	31473	29892	29939	30118	30195	30249	31156	31119	31541	31331	31907	32239	31969	32649
6000	52324	39942	37149	36951	36795	36834	36992	37057	37122	38021	38056	38398	38184	38760	39088	38818	39498

Συνοπτικά τα αντίστοιχα αποτελέσματα ως προς την ισχύ καταγράφονται στον πίνακα 4.29, όπου η τυπική ισχύς της βέλτιστα σχεδιασμένης φωτοβολταϊκής μονάδας μεταβάλλεται από 22,4 σε 23,9 kW ανάλογα με την αύξηση του αποπληθωρισμένου επιτοκίου, δηλαδή παρατηρείται μία σημαντική διαφοροποίηση στην ονομαστική ισχύ της βέλτιστης φωτοβολταϊκής μονάδας ως προς τα αποτελέσματα του πίνακα 4.12 για επιτόκια άνω του 1%. Αντίθετα η χωρητικότητα του συσσωρευτή AGM VRLA εταιρείας Narada ονομαστικής τάσης 108 V είναι σταθερή και ίση με 1600 Ah, δηλαδή από πλευράς τιμών δεν έχει κάποια ουσιαστική μεταβολή σε σχέση με τα αποτελέσματα του πίνακα 4.12. Σε κάθε περίπτωση διαπιστώνεται όμως μία σημαντική εξοικονόμηση κόστους εγκατάστασης ως προς τη συνολική επένδυση. Οι αντίστοιχοι συνδυασμοί για τη βέλτιστα σχεδιασμένη μονάδα ανά αποπληθωρισμένο επιτόκιο είναι οι εξής:

- Από 0,0% ως 1,0%: τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=95$ )= ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W, πλήθος πλαισίων 80, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=110$ )= SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW, πλήθος αναστροφέων= 3, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=3,5$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=1,6$  m,
- Από 1,5% ως 10%: τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=61$ )= Honey M TSM-340DE06 M.08 (II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 340 W, πλήθος πλαισίων 71, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=185$ ) = GW17KN-DT της εταιρείας GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 17 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=2,0$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=1,7$  m.

Δηλαδή δεν επιλεγείται σε όλες τις περιπτώσεις ο ίδιος τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ή ο ίδιος τύπος αναστροφέα. Επιπλέον μεταβάλλεται όχι μόνο ο αριθμός των πλαισίων, αλλά και των αναστροφέων λόγω της διαφορετικής ονομαστικής ισχύος αυτόνομου

φωτοβολταϊκού σταθμού. Αντίστοιχα μεταβάλλεται το μέγεθος της ταράτσας, ειδικά ως προς τη διάσταση xOx'.

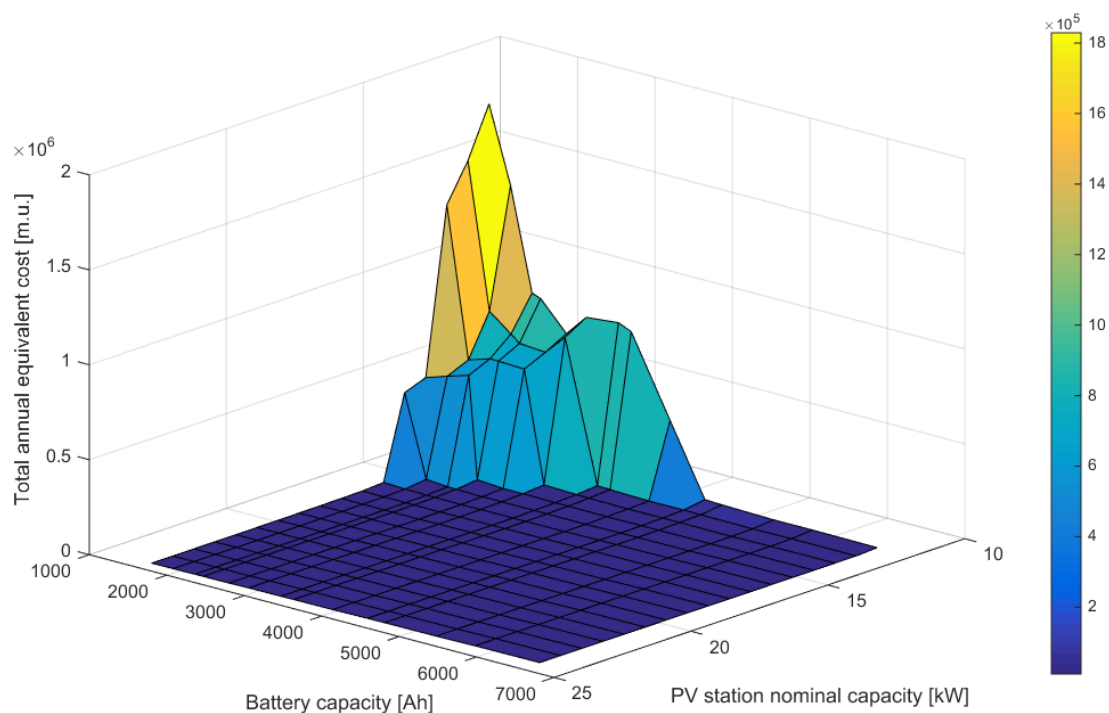
**Πίνακας 4.29:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές την τυπική ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 με βέλτιστη διαμόρφωσή της κατά την παράγραφο 4.6, το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά, και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή AGM VRLA σε ονομαστική τάση 108 V.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Ισοδύναμο πλήθος πλαισίων Sxp154Q	Τυπική ονομαστική ισχύς φ/β μονάδας παρ. 4.6 [kW]	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής [€]
1	0,0%	145	22,4	1600	11020
2	0,5%	145	22,4	1600	11233
3	1,0%	145	22,4	1600	11450
4	1,5%	155	23,9	1600	11665
5	2,0%	155	23,9	1600	11877
6	2,5%	155	23,9	1600	12093
7	3,0%	155	23,9	1600	12311
8	3,5%	155	23,9	1600	12533
9	4,0%	155	23,9	1600	12758
10	4,5%	155	23,9	1600	12986
11	5,0%	155	23,9	1600	13217
12	5,5%	155	23,9	1600	13450
13	6,0%	155	23,9	1600	13687
14	6,5%	155	23,9	1600	13927
15	7,0%	155	23,9	1600	14169
16	7,5%	155	23,9	1600	14413
17	8,0%	155	23,9	1600	14661
18	8,5%	155	23,9	1600	14911
19	9,0%	155	23,9	1600	15163
20	9,5%	155	23,9	1600	15417
21	10%	155	23,9	1600	15674

*4.7.3. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA*  
 Όπως ήδη έχει διαπιστωθεί στο σχήμα 4.28 από τη μελέτη του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας συσσωρευτή για διαφορετικές τιμές ισχύος φ/β πλαισίων και διαφορετικές τιμές χωρητικότητας συσσωρευτή τύπου GEL VRLA έχει προκύψει ότι ως τα 1400 Ah για οποιοδήποτε πλήθος φ/β πλαισίων το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Από εκεί και πέρα ξεκινά μια σημαντική βελτίωση του χρόνου ομαλής λειτουργίας όσο αυξάνεται είτε η χωρητικότητα του συσσωρευτή, είτε η ισχύς των φ/β πλαισίων, φτάνοντας στον κορεσμό κοντά στις 1720 ημέρες ή 4,7 έτη στη νοητή καμπύλη του σχήματος 4.28β, η οποία εκτείνεται για μεγάλες τιμές πλήθους φ/β πλαισίων που αντιστοιχούν σε ισχύ 22,33 kW για χωρητικότητα 1600 Ah, για ενδιάμεσες τιμές ισχύος φ/β πλαισίων υπάρχει μία γραμμική μεταβολή από το σημείο 22,33 kW χωρητικότητας συσσωρευτή 1600 Ah

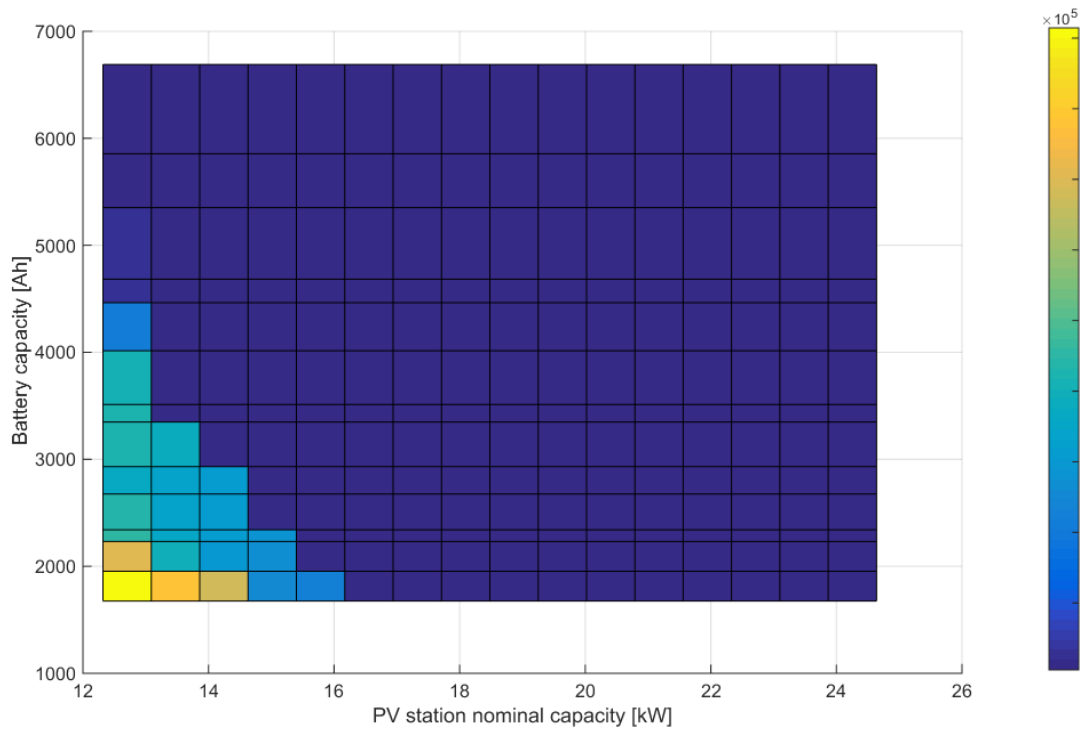
ως το σημείο 13,86 kW και 6000 Ah χωρητικότητας συσσωρευτή και μετά πρακτικά σχεδόν ευθυγραμμίζεται στα 13,09 kW, όσο και εάν μεγαλώνει η χωρητικότητα.

Ακολουθώς πραγματοποιείται η μελέτη του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής του αυτόνομου σταθμού εξετάζοντας διαφορετικές χωρητικότητες συσσωρευτών GEL VRLA τύπου RES SOPzV της εταιρείας Sunlight ονομαστικής τάσης 110 V {1676 Ah, 1954 Ah, 2232 Ah, 2342 Ah, 2676 Ah, 2931 Ah, 3348 Ah, 3513 Ah, 4014 Ah, 4464 Ah, 4684 Ah, 5352 Ah, 5855 Ah, 6690 Ah} και διαφορετικά επίπεδα ισχύος που εκτείνονται από 12,32 kW ως 24,64 kW με βήμα 770 W που αντιστοιχούν σε πλήθος από 80 ως 160 με βήμα 5 φ/β πλαίσια τύπου Sxp154Q της Solbian, σχηματίζοντας για τις ανωτέρω 238 διαφορετικές περιπτώσεις φ/β πλαισίων και συσσωρευτών για διαφορετικά αποπληθωρισμένα επιτόκια. Στα σχήματα 4.69, 4.70 και 4.71 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αντίστοιχες παραστάσεις για 0%, 3% και 10%, ενώ τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες 4.30, 4.31 και 4.32 με κβαντισμένες τιμές ονομαστικής ισχύος αυτόνομου συστήματος, όπως διαμορφώνεται με τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.6.

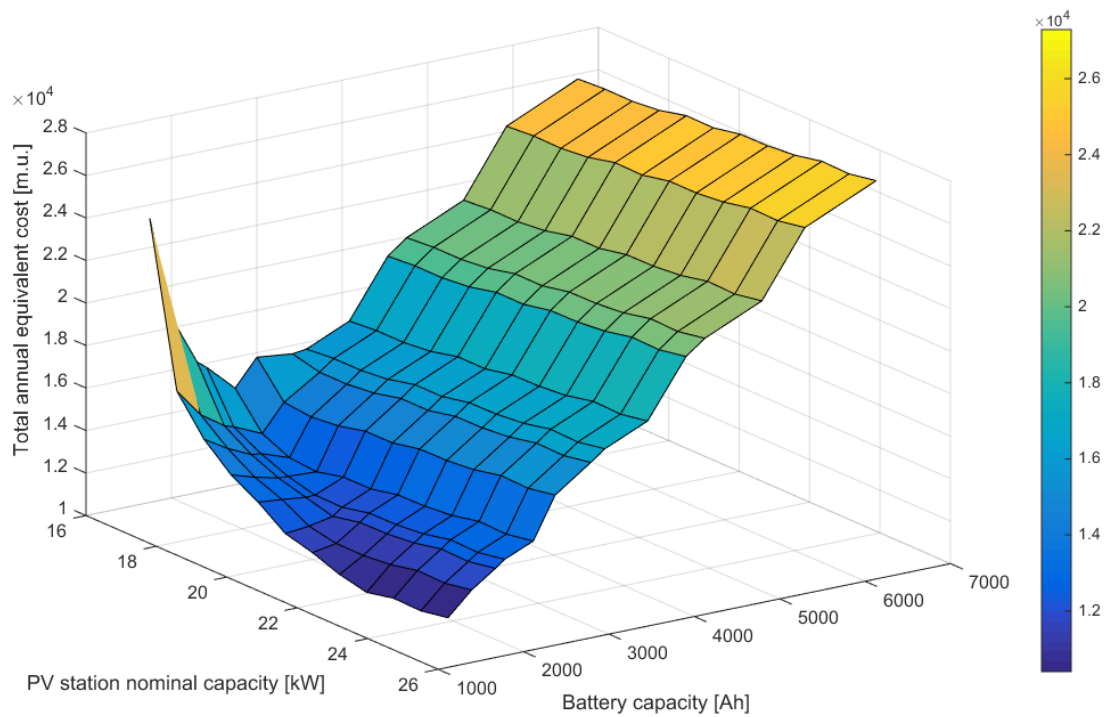


(α)-τρισεδιάστατη παράσταση

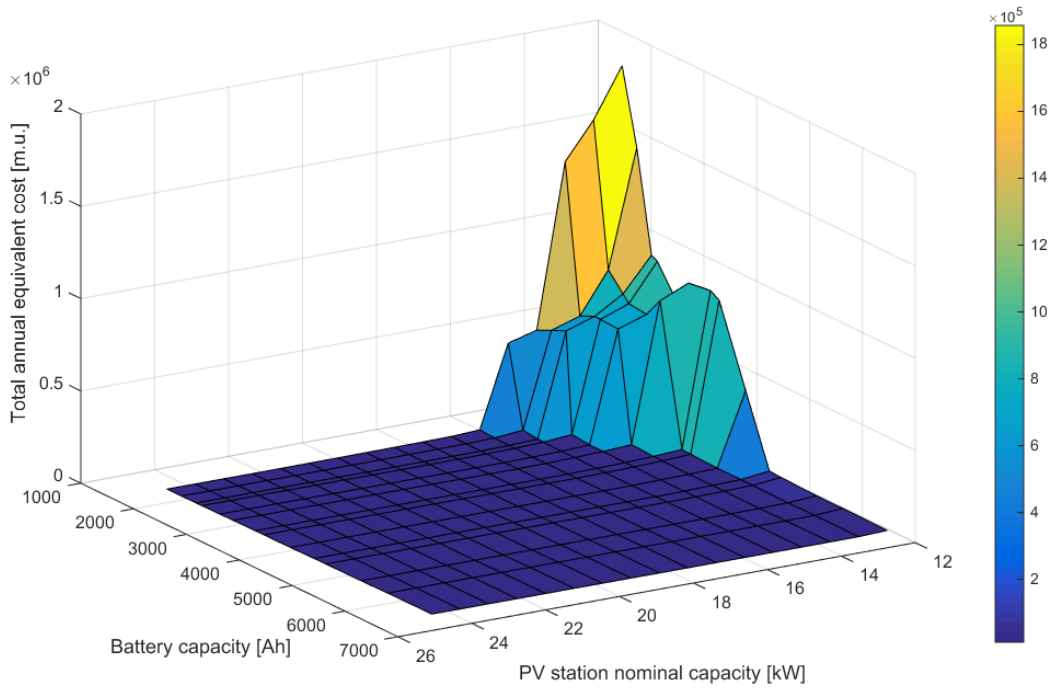
**Σχήμα 4.69(α):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



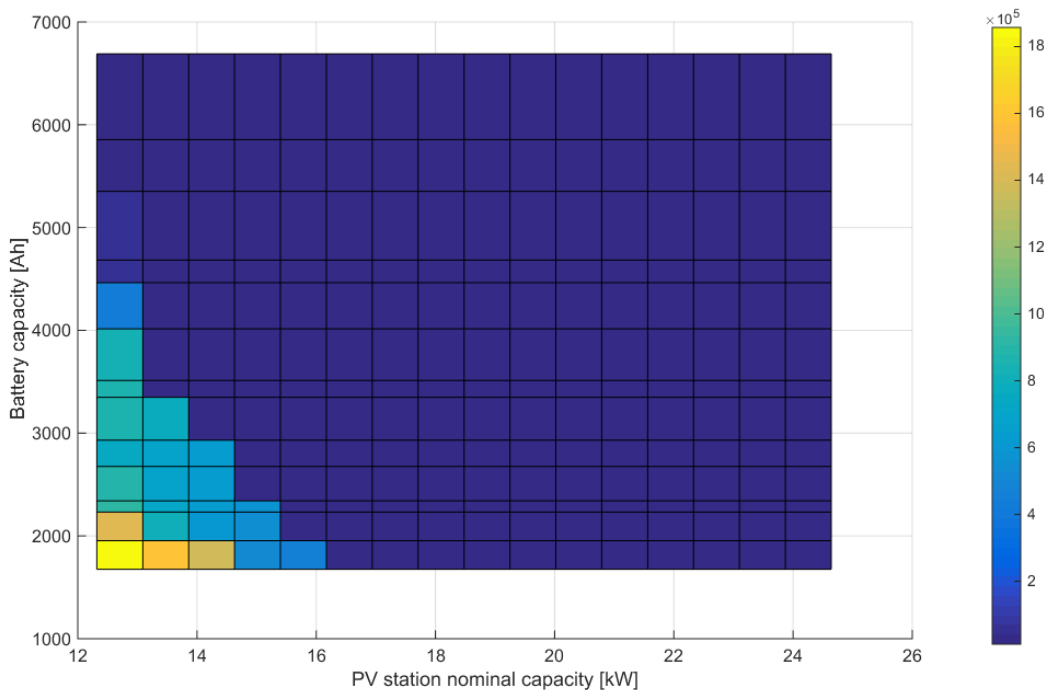
(β)-δισδιάστατη προβολή



(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου  
 Σχήμα 4.69(β,γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα

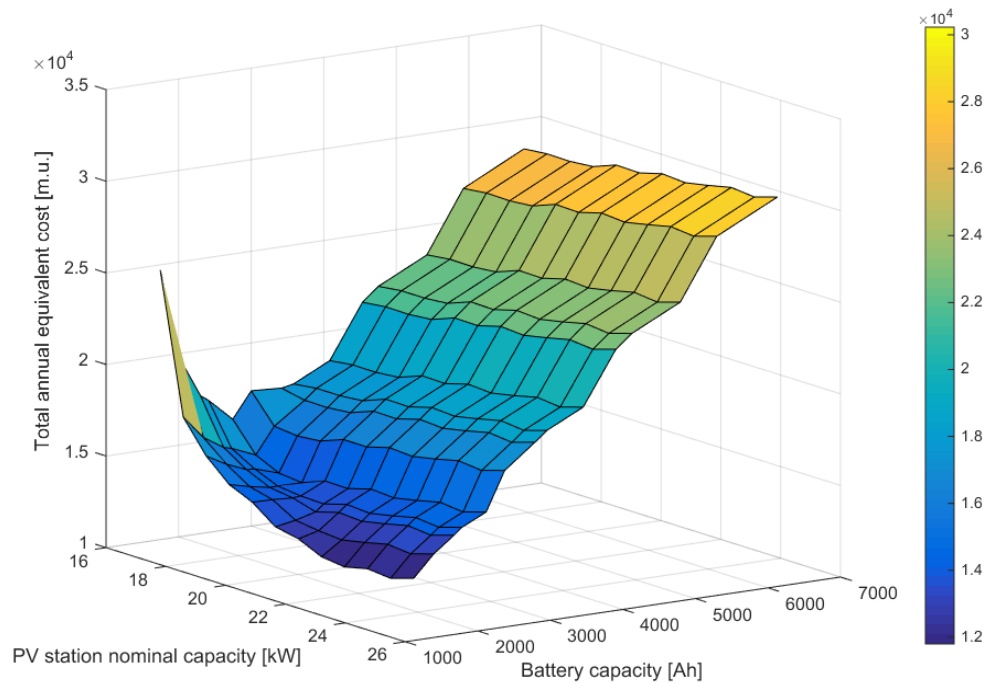


(α)-τρισεδιάστατη παράσταση

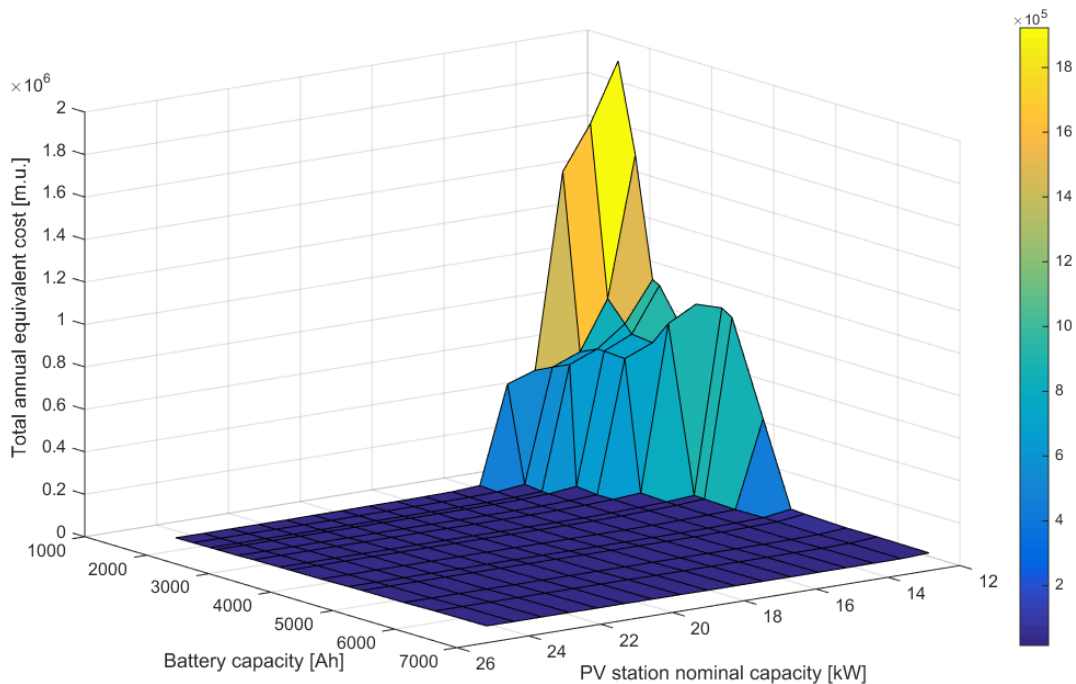


(β)-δισεδιάστατη προβολή

**Σχήμα 4.70(α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

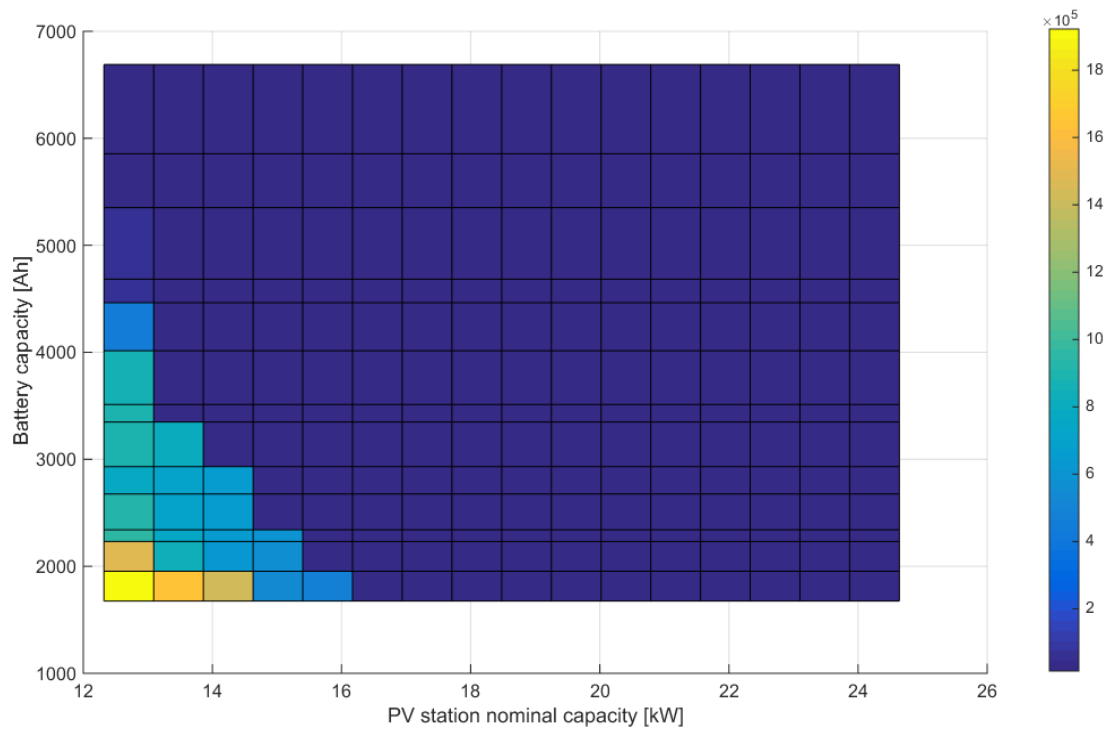


(γ)- μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου  
**Σχήμα 4.70(γ):** βλ. προηγούμενη λεζάντα

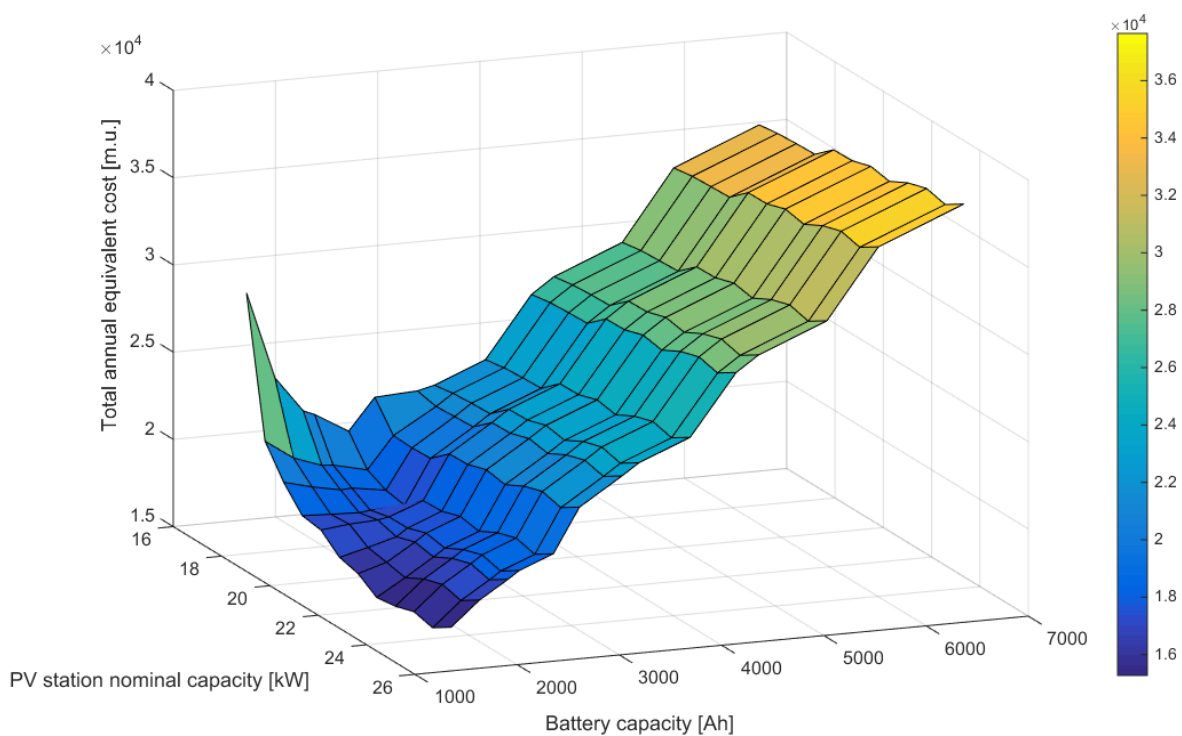


(α)-τρειςδιάστατη παράσταση  
**Σχήμα 4.71(α):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων & μετατροπέων παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με χρόνο αντικατάστασης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.





(β)-δισδιάστατη προβολή



(γ)-μεγέθυνση τρισδιάστατου σε περιοχή ελαχίστου

Σχήμα 4.71(β,γ): βλ. προηγούμενη λεζάντα.

Για την περίπτωση αποπληθωρισμένου επιτοκίου 0% διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο σημείο από πλευράς ισχύος παρουσιάζεται σε ισχύ ίση με 22,4 kW και χωρητικότητα συσσωρευτή 1676 Ah, για 3% 22,4 kW και 1676 Ah, 10% 21,6 kW και 1676 Ah, έχοντας

αλλάξει η βέλτιστη ονομαστική ισχύς σε σχέση με τα φ/β πλαίσια Sxp154Q της εταιρείας Solbian για το σύνολο των εξεταζόμενων επιτοκίων. Συνοπτικά τα αντίστοιχα αποτελέσματα καταγράφονται ως προς την ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή στον πίνακα 4.33 για εύρος επιτοκίων από 0% ως 10% με βήμα 0,5%. Από τον πίνακα 4.33 η τυπική ισχύς της βέλτιστα σχεδιασμένης φωτοβολταϊκής μονάδας μεταβάλλεται από 21,6 σε 22,4 kW ανάλογα με τη μείωση του αποπληθωρισμένου επιτοκίου, δηλαδή υπάρχει μία αύξηση στην ισχύ των φ/β μοναδων που τοποθετούνται σε σχέση με τα αποτελέσματα του πίνακα 4.20.

**Πίνακας 4.30:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για μηδενικό αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικό- τητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1676	1829012	1568041	1372404	500572	459115	23546	15978	14273	13149	12421	11504	11164	10693	10406	10683	10649	10884
1954	1429742	805191	586285	537680	32150	18487	14640	13602	12809	12318	11619	11361	11359	11484	11760	11726	11961
2232	893015	714853	621992	572477	22713	16319	13884	13083	12540	12191	11849	12122	12143	12268	12544	12510	12745
2342	876039	677441	621264	34294	21406	15985	13746	13039	12529	12206	12187	12465	12481	12605	12887	12847	13082
2676	726712	666339	615345	24302	18144	14729	13151	12575	12465	12772	12773	13051	13072	13196	13472	13432	13667
2931	840100	773071	32827	24025	19182	15973	14409	14282	14418	14720	14726	14996	15016	15139	15420	15379	15615
3348	857382	36020	26945	21801	18258	15788	15477	15474	15614	15913	15911	16187	16206	16328	16602	16568	16803
3513	827492	33140	25717	21279	18157	15875	15987	15990	16121	16427	16424	16692	16711	16841	17115	17072	17308
4014	414416	27279	22968	19735	17408	16776	16884	16885	17022	17326	17314	17589	17608	17729	18011	17968	18203
4464	45509	27989	23914	21126	19520	19456	19561	19554	19685	19985	19978	20242	20259	20389	20660	20626	20862
4684	41748	27200	23706	21116	20211	20142	20245	20246	20376	20674	20667	20930	20946	21066	21347	21303	21538
5352	34749	25158	22616	21516	21418	21353	21462	21450	21588	21884	21875	22137	22153	22272	22553	22508	22744
5855	35228	26802	24794	24612	24489	24417	24516	24494	24627	24931	24906	25176	25178	25308	25577	25542	25778
6690	32329	26578	26319	26137	26016	25949	26029	26017	26147	26449	26435	26692	26705	26821	27089	27055	27291

**Πίνακας 4.31:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για 3% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικό- τητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1676	1857237	1592361	1393819	508974	466890	24846	17212	15475	14315	13752	12803	12544	11961	11800	12096	11970	12362
1954	1452085	818203	596044	546714	33632	19792	15934	14875	14050	13728	13000	12824	12716	12973	13269	13142	13534
2232	907405	726574	632341	582088	24115	17651	15227	14408	13837	13659	13293	13655	13572	13828	14123	13997	14389
2342	890201	688628	631628	35901	22814	17337	15113	14389	13851	13701	13662	14029	13940	14196	14496	14365	14756
2676	738689	677405	625665	25807	19550	16110	14556	13965	13833	14320	14302	14669	14585	14841	15136	15004	15396
2931	853906	785867	34596	25666	20744	17513	15974	15838	15956	16438	16425	16784	16698	16953	17253	17120	17512
3348	871533	37909	28716	23498	19896	17416	17146	17136	17258	17737	17716	18081	17995	18249	18542	18415	18807
3513	841234	35024	27508	23007	19833	17543	17702	17698	17811	18297	18275	18632	18546	18807	19100	18966	19357
4014	422060	29147	24788	21511	19144	18525	18681	18674	18793	19278	19246	19611	19524	19777	20078	19943	20335
4464	47846	30061	25943	23117	21480	21439	21592	21577	21690	22170	22144	22497	22408	22670	22960	22834	23226
4684	44080	29312	25784	23158	22232	22186	22336	22330	22441	22920	22893	23245	23156	23407	23708	23571	23963
5352	37070	27334	24771	23658	23550	23506	23663	23643	23763	24239	24211	24562	24472	24723	25023	24886	25278
5855	37778	29225	27204	27021	26887	26837	26983	26954	27068	27553	27508	27868	27764	28025	28313	28187	28579
6690	34954	29114	28866	28682	28551	28506	28633	28614	28725	29208	29174	29520	29428	29675	29962	29836	30228

**Πίνακας 4.32:** Ελάχιστο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια & μετατροπείς παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτή GEL VRLA ονομαστικής τάσης 110 V ως προς την τυπική ονομαστική ισχύ και τη χωρητικότητα συσσωρευτή GEL VRLA για 10% αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Χωρητικότητα [Ah]	Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου φ/β συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]																
	12,4	13,1	13,9	14,7	15,4	16,2	17,0	17,8	18,5	19,3	20,1	20,8	21,6	22,4	23,1	23,9	24,7
1676	1922366	1648514	1443307	528577	485039	28166	20316	18613	17348	17183	16269	15985	15273	15418	15761	15491	16171
1954	1503709	848387	618767	567771	37355	23144	19199	18196	17278	17364	16680	16480	16256	16827	17169	16899	17579
2232	940765	753797	656423	604472	27672	21087	18624	17870	17215	17449	17136	17487	17286	17857	18199	17929	18609
2342	923037	714626	655742	39929	26393	20829	18573	17917	17296	17560	17580	17935	17729	18300	18647	18372	19051
2676	766510	703127	649680	29622	23146	19685	18122	17604	17399	18313	18355	18711	18510	19080	19421	19146	19825
2931	885935	815568	39026	29821	24727	21488	19942	19890	19939	20848	20895	21242	21039	21608	21956	21679	22359
3348	904356	42616	33181	27814	24086	21623	21375	21451	21504	22410	22448	22802	22599	23167	23507	23237	23917
3513	873120	39733	32032	27406	24120	21854	22044	22126	22170	23083	23120	23466	23262	23838	24178	23900	24580
4014	439946	33847	29409	26049	23597	23039	23225	23304	23354	24266	24294	24647	24443	25011	25358	25080	25759
4464	53620	35273	31090	28199	26497	26528	26711	26782	26826	27733	27766	28107	27902	28478	28815	28546	29225
4684	49860	34633	31059	28376	27400	27425	27606	27686	27728	28633	28666	29006	28801	29366	29714	29433	30113
5352	42867	32841	30264	29129	28987	29016	29203	29269	29320	30223	30254	30593	30387	30952	31299	31018	31698
5855	44152	35356	33336	33151	32983	33005	33181	33238	33283	34194	34209	34557	34336	34912	35246	34976	35656
6690	41547	35546	35337	35150	34985	35012	35169	35235	35278	36187	36213	36547	36338	36900	37233	36963	37643

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή GEL VRLA τύπου RES SopzV της εταιρείας Sunlight ονομαστικής τάσης 110 V είναι παντού 1676 Ah, δηλαδή μεταβάλλεται σε σχέση με τα αποτελέσματα του πίνακα 4.20 για επιτόκια άνω του 1,5%. Οι αντίστοιχοι συνδυασμοί για τη βέλτιστα σχεδιασμένη μονάδα ανά αποπληθωρισμένο επιτόκιο είναι οι εξής:

- Από 0,0% ως 5,0%: τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=95$ )= ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W, πλήθος πλαισίων 80, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=110$ )= SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW, πλήθος αναστροφέων= 3, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=3,5$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=1,6$  m,
- Στην περιοχή του 5,5%: τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=61$ )= Honey M TSM-340DE06 M.08 (II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 340 W, πλήθος πλαισίων 66, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=185$ ) = GW17KN-DT της εταιρείας GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 17 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=0,0$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=2,6$  m,
- Από 6,0% ως 10%: τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=61$ )= Honey M TSM-340DE06 M.08 (II) της εταιρείας Trina ονομαστικής ισχύος 340 W, πλήθος πλαισίων 64, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=185$ ) = GW17KN-DT της εταιρείας GoodWe ονομαστικής ισχύος εξόδου 17 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=0,3$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=1,7$  m.

Δηλαδή δεν επιλεγείται σε όλες τις περιπτώσεις ο ίδιος τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ή ο ίδιος τύπος αναστροφέα. Επιπλέον μεταβάλλεται όχι μόνο ο αριθμός των πλαισίων, αλλά και των αναστροφέων λόγω της διαφορετικής ονομαστικής ισχύος αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού. Αντίστοιχα μεταβάλλεται το μέγεθος της ταράτσας. Πρόσθετα παρατηρείται ότι για την περιοχή του επιτοκίου 5,5% ότι, ενώ η ισχύς της φ/β μονάδας είναι ίδια με την ισχύ των μικρότερων επιτοκίων (22,4 kW), μεταβάλλεται η διαμόρφωση της αλλάζοντας τύπο πλαισίων και αναστροφέων.

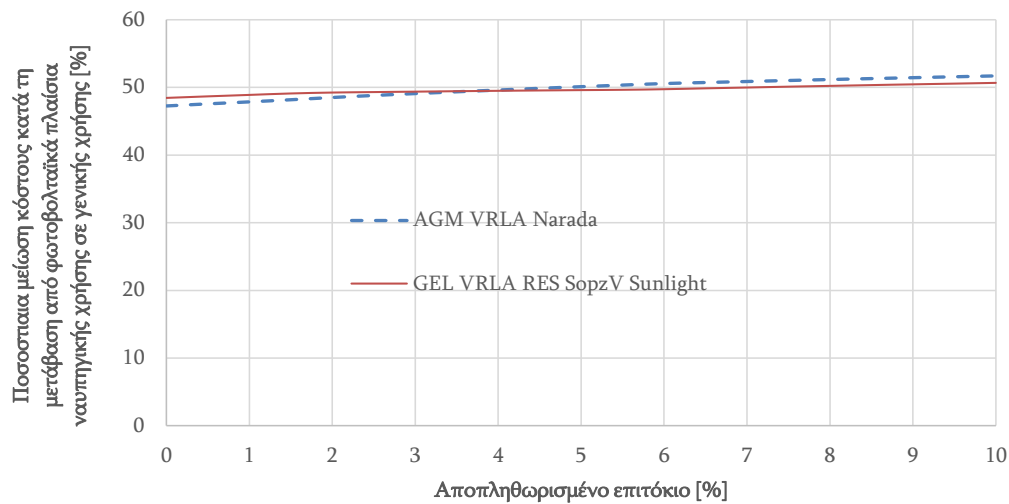
**Πίνακας 4.33:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου συστήματος ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια με μεταβλητές την τυπική ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 με βέλτιστη διαμόρφωσή της κατά την παράγραφο 4.6, το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά, και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή GEL VRLA σε ονομαστική τάση 110 V.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Ισοδύναμο πλήθος πλαισίων Sxp154Q	Τυπική ονομαστική ισχύς φ/β μονάδας παρ. 4.6 [kW]	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής [€]
1	0,0%	145	22,4	1676	10406
2	0,5%	145	22,4	1676	10628
3	1,0%	145	22,4	1676	10854
4	1,5%	145	22,4	1676	11084
5	2,0%	145	22,4	1676	11319
6	2,5%	145	22,4	1676	11557
7	3,0%	145	22,4	1676	11800
8	3,5%	145	22,4	1676	12046
9	4,0%	145	22,4	1676	12296
10	4,5%	145	22,4	1676	12550
11	5,0%	145	22,4	1676	12808
12	5,5%	145	22,4	1676	13069
13	6,0%	140	21,6	1676	13318
14	6,5%	140	21,6	1676	13554
15	7,0%	140	21,6	1676	13793
16	7,5%	140	21,6	1676	14033
17	8,0%	140	21,6	1676	14277
18	8,5%	140	21,6	1676	14522
19	9,0%	140	21,6	1676	14770
20	9,5%	140	21,6	1676	15021
21	10%	140	21,6	1676	15273

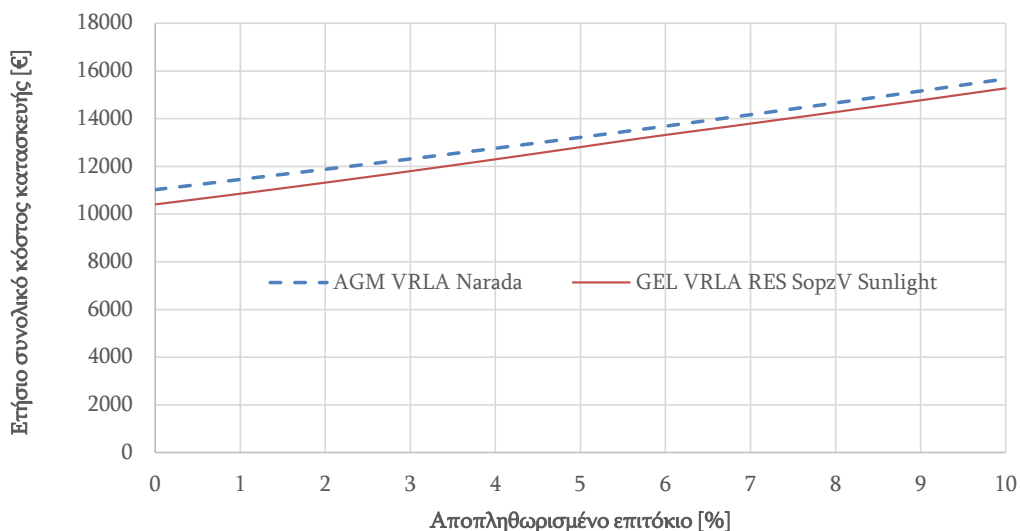
Από τη σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο σχεδιάσεων (με χρήση μόνο εξειδικευμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων εταιρείας Solbian για ναυπηγικές χρήσεις και με χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων γενικής χρήσης), όπως καταγράφονται στους πίνακες 4.20 και 4.33 και όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του σχήματος 4.72 πραγματοποιείται μία μείωση του συνολικού ισοδύναμου ετήσιου κόστους κατασκευής μεταξύ 47,4% και 51,7% για όλα τα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου με τις μεγαλύτερες τιμές για τα μεγαλύτερα επιτόκια.

#### *4.7.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων από τη χρήση διαφορετικού είδους συσσωρευτή κατά βελτιστοποιημένη διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας με πλαίσια γενικής χρήσης*

Από τη σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο ειδών συσσωρευτών όπως καταγράφονται στους πίνακες 4.29 και 4.33 και όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του σχήματος 4.73 πλεονεκτεί η χρήση του RES SOPzV για όλα τα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου.



**Σχήμα 4.72:** Ποσοστιαία μείωση ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκής μονάδας βέλτιστης διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 έναντι χρήσης φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών για διαφορετικούς τύπους συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight και AGM VRLA Narada ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



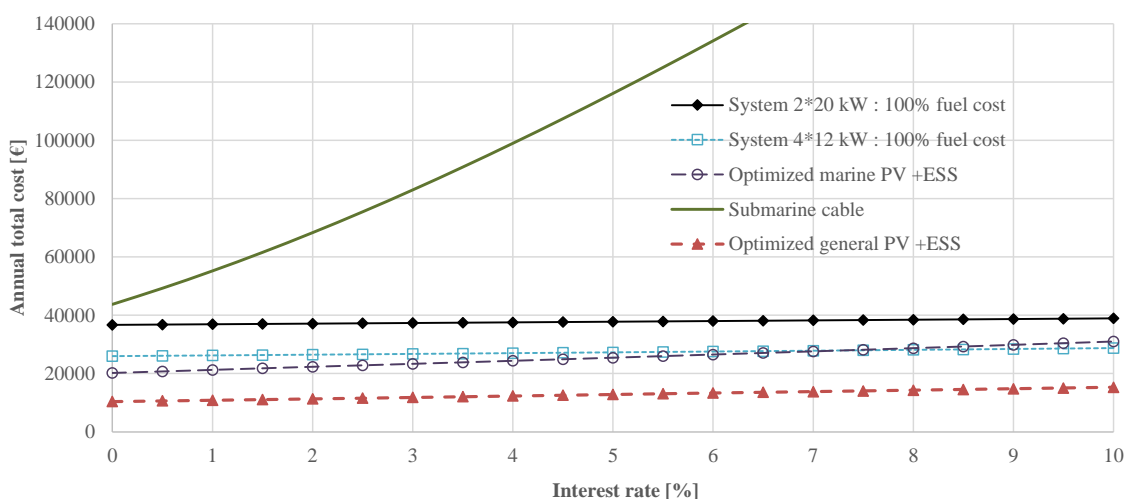
**Σχήμα 4.73:** Συγκριτική παράσταση ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκής μονάδας βέλτιστης διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 έναντι χρήσης φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών για διαφορετικούς τύπους συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight και AGM VRLA Narada ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Επιπλέον κατά τη μετάβαση από την αξιοποίηση μόνο εξειδικευμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων εταιρείας Solbian για ναυπηγικές χρήσεις στα φωτοβολταϊκά πλαίσια γενικής χρήσης διαπιστώνεται ότι η ποσοστιαία μείωση του κόστους είναι μεγαλύτερη κατά τη χρήση του συσσωρευτή GEL VRLA τύπου RES SOPzV της εταιρείας Sunlight έναντι AGM VRLA της εταιρείας Narada για τα αποπληθωρισμένα επιτόκια ως το 3,5%, ενώ για

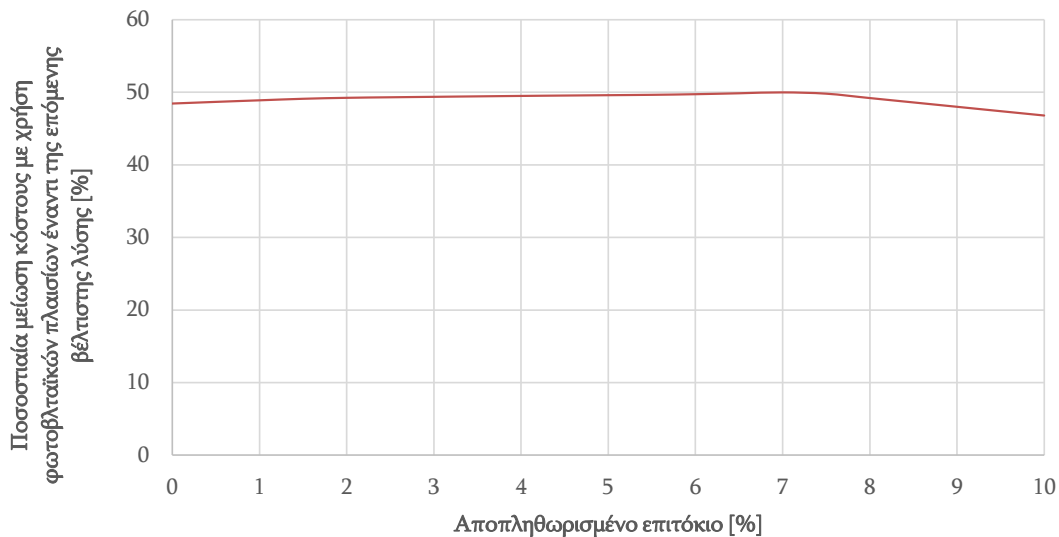
μεγαλύτερα επιτόκια αυτή η διαδοχή αντιστρέφεται, όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του σχήματος 4.72.

#### 4.8. Σύγκριση Βασικών Λύσεων με Βελτιστοποιημένη Διαμόρφωση Αυτόνομου Συστήματος με Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

Όμοια με τις παραγράφους 4.4.9 και 4.5.3 συγκρίνεται το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων και μετατροπέων του παραρτήματος 2 με χρήση συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.33 με όλες τις προηγούμενες λύσεις, δηλαδή το υποβρύχιο καλώδιο, το κλασικό θερμικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής είτε με χρήση 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW, είτε 4 ντιζελογεννητριών των 12 kW, και το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών κατά τον πίνακα 4.20. Διαπιστώνεται πλέον ότι πλεονεκτεί έναντι όλων των άλλων λύσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.74. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει κανείς μελετώντας την ποσοστιαία μείωση κόστους έναντι της επόμενης βέλτιστης λύσης στο σχήμα 4.75. Υπενθυμίζεται ότι το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών κατά τον πίνακα 4.20 πλεονεκτούσε έναντι των αρχικών λύσεων ως το επιτόκιο 7%, ενώ για μεγαλύτερα επιτόκια κερδίζει η χρήση των ντιζελογεννητριών 4\*12 kW, όπως αναλύθηκε στην παραγραφο 4.5.3, και είναι το σημείο του «γονάτου» στο σχήμα 4.75.



**Σχήμα 4.74:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη (“System 2\*20 kW: 100% fuel cost”), αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη (“System 4\*12 kW: 100% fuel cost”), υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη (“submarine cable”), βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20 (“optimized marine PV+ESS”), βέλτιστο αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης κατά την παραγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight (“optimized general PV+ESS”) ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



**Σχήμα 4.75:** Ποσοστιαία μείωση κόστους του βέλτιστου αυτόνομου συστήματος διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight έναντι του μικρότερου κόστους από οποιαδήποτε άλλη λύση (αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη και βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαίσιαων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20), ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Η προτεινόμενη λύση για τυπική τιμή επιτοκίου 3% θα έδινε μία φωτοβολταϊκή μονάδα των 22,4 kW με 80 φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W έκαστο, σε συνδυασμό με 3 αναστροφείς τύπου SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW με συσσωρευτές συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah / ονομαστικής τάσης 110V που απαρτιζόταν από δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά τύπου RES6SOPzV850 της εταιρείας Sunlight, ενώ συγχρόνως οι πρόβολοι / επέκταση της ταράτσας θα έπρεπε να έχουν μήκος κατά xOx' ίσο με 3,5 m και κατά yOy' ίσο με 1,6 m. Με αυτήν τη λύση το ετήσιο ισοδύναμο κόστος μειώνεται στα 11800 € αντί 23309 €, δηλαδή κατά 11509 €, που αντιστοιχεί σε 49,38% έναντι της λύσης χρήσης των ειδικευμένων φ/β πλαίσιαων για ναυπηγικές εφαρμογές της εταιρείας Solbian που απαρτιζόταν από μία φωτοβολταϊκή μονάδα των 17,71 kW με 115 φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου Sxp154Q ονομαστικής ισχύος 154 W, σε συνδυασμό με 2 αναστροφείς τύπου Sunny Tripower 10.0-STP10.0AV40 της εταιρείας SMA ονομαστικής ισχύος εξόδου 10 kW με συσσωρευτές συνολικής χωρητικότητας 2676 Ah / ονομαστικής τάσης 110V που απαρτιζόταν από δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά τύπου RES8SOPzV1360 της εταιρείας Sunlight, ενώ συγχρόνως οι πρόβολοι / επεκτάσεις της ταράτσας θα έπρεπε να έχουν μήκος κατά xOx' ίσο με 1,7 m και κατά yOy' ίσο με 2,0 m.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

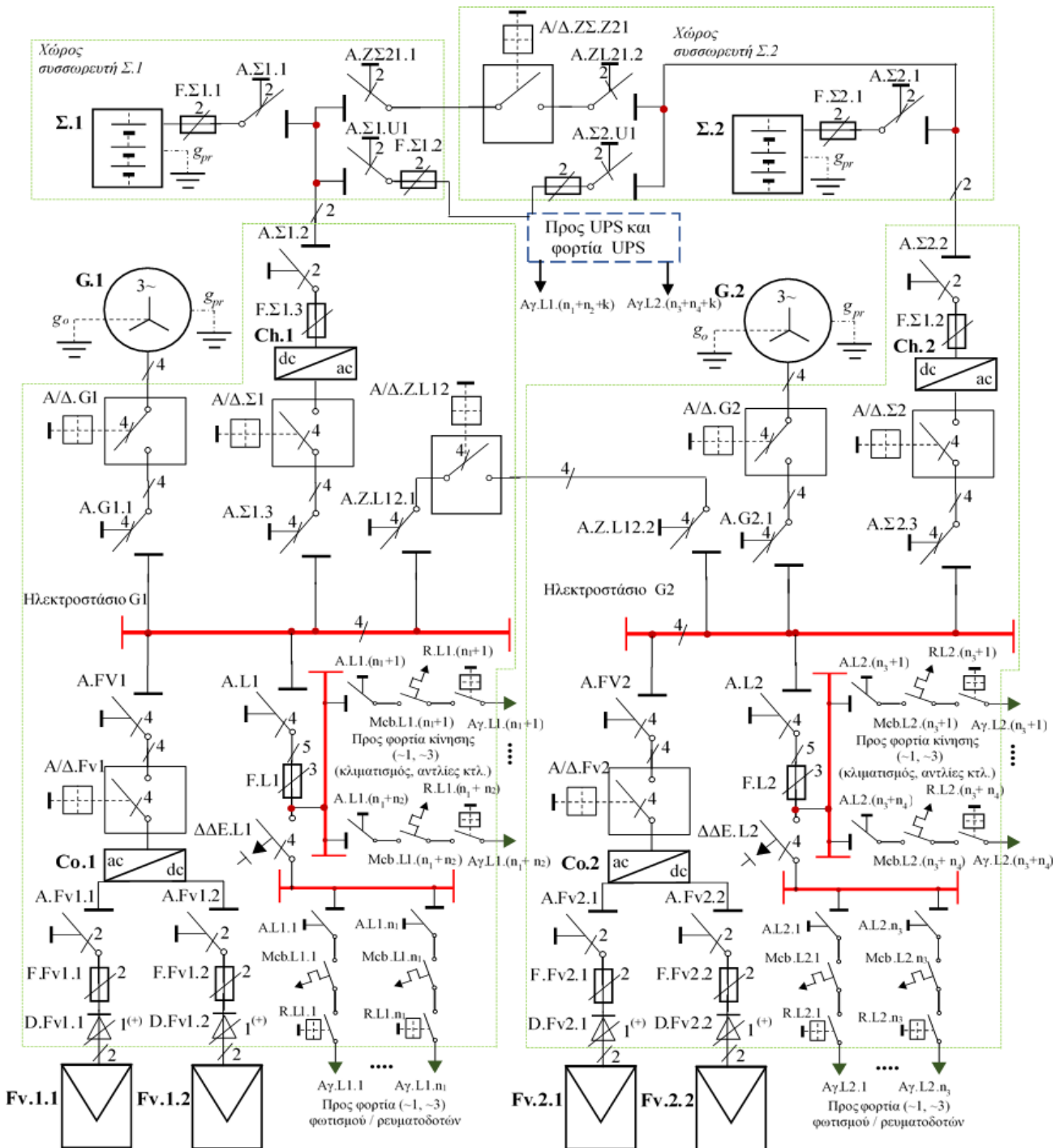
# Σχεδιασμός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και συσσωρευτές

### 5.1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και συσσωρευτές στηρίζεται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση τα επιμέρους αυτόνομα συστήματα είναι πλήρως ανταγωνιστικά μεταξύ τους από οικονομικής σκοπιάς και βιώσιμα έναντι της υποβρύχιας διασύνδεσης. Συγχρόνως με την κατάλληλη διαστασιολόγηση ντιζελογεννητριών, φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών δύναται να αυξηθούν οι επιμέρους χρόνοι ζωής τους, καθώς οι μεν ντιζελογεννήτριες θα περιορίζουν τις ώρες λειτουργίας τους, ειδικά σε χαμηλά φορτία ζήτησης, οι δε συσσωρευτές δε θα εκφορτίζονται σε μεγάλο βαθμό. Συγχρόνως το διαφορετικό πλήθος πηγών δύναται να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εις βάρος όμως της απλότητας. Μία τυπική διάταξη είναι του σχήματος 5.1 που απαρτίζεται από τα εξής στοιχεία:

- Δύο τριφασικές ντιζελοηλεκτρογεννήτριες 400 V, συνδεσμολογίας αστέρα (G1 και G2), ενδεικτικής ενεργού ισχύος 20 kW (ή εναλλακτικά τέσσερις των 12 kW). Έχουν ως σκοπό τη φόρτιση των συσσωρευτών σε περίπτωση μη επάρκειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων και την κάλυψη του ρεύματος εκκίνησης μεγάλων κινητήρων (π.χ. αεροσυμπιεστών, κλιματιστικών συσκευών, πιεστικού συγκροτήματος, jockey πυροσβεστικού συγκροτήματος, αν και ένας συσσωρευτής μεγάλης χωρητικότητας με κατάλληλο μετατροπέα καλύπτει ετεροχρονισμένα τις εκκινήσεις). Η ονομαστική ισχύς  $P_{Gnom}$  και το πλήθος των γεννητριών  $N_G$  είναι παράμετροι προς προσδιορισμό με τεχνικο-οικονομικά κριτήρια, όμως δεν θα είναι μεγαλύτερα από 2 x 20 kW ή 4 x 12 kW, ισομοιρασμένα στα δύο ηλεκτροστάσια.
- Δύο συστοιχίες συσσωρευτών στα 110 V κατ' απαίτηση Α.Δ.Μ.Η.Ε. με το είδος (π.χ. AGM VRLA, RES SOPzV κα.) και την ονομαστική χωρητικότητα  $C_{nom}$  να αποτελούν παράμετροι προς προσδιορισμό με τεχνικο-οικονομικά κριτήρια, όχι όμως μεγαλύτερη από 3800 Ah που ήταν για αυτόνομη λειτουργία μόνο με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές. Κάθε συστοιχία έχει το δικό της φορτιστή, σε δικό της χώρο συσσωρευτών, ενώ μέσω της ζεύξης του αυτόματου διακόπτη Α/Δ.ΖΣ.Ζ21 επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση τάσης / επιπέδου φόρτισης μεταξύ των δύο συσσωρευτών (υπό φυσιολογικές συνθήκες κλειστός ο διακόπτης).
- Δύο μονάδες φ/β πλαισίων ίσης εγκατεστημένης ισχύος, με συνολική ισχύ  $P_{PVnom}$  ή ισοδύναμα με πλήθος πλαισίων  $N_{PV}$  να είναι παράμετρος προς προσδιορισμό με τεχνικο-οικονομικά κριτήρια, όμως δεν θα είναι μεγαλύτερο από 128 που ήταν για





**Σχήμα 5.1:** Διαμόρφωση αυτόνομου δικτύου νήσου Σταχτοροής (A= αποζεύκτης, A/Δ = Αυτόματος διακόπτης ισχύος, A/Δ.ΖΣ= Αυτόματος διακόπτης ισχύος ζεύξης δικτύων συνεχούς τάσης, A/Δ.L= Αυτόματος διακόπτης ισχύος ζεύξης δικτύων εναλλασσόμενης τάσης, Αγ= γραμμή τροφοδοσίας τελικού φορτίου, ΔΔΕ= Διακόπτης διαφυγής έντασης (ή στη θέση του διάταξη επιτήρησης μόνωσης), Σ= συσσωρευτής τύπου AGM VLRA ή RES SOPzV κτλ, Ch= μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη & το αντίστροφο μαζί με διάταξη φόρτισης συσσωρευτή, Co = μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη από φωτοβολταϊκά πλαίσια, D= δίοδος αντεπιστροφής, F= ασφάλεια τήξης, Fv = φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά, G= γεννήτρια,  $g_{pr}$ = γείωση προστασίας,  $g_o$ =γείωση λειτουργίας (εφόσον υπάρχει), Mcb=μικροαυτόματος, R= ηλεκτρονόμος χειρισμού,  $n_1$ = φορτία ρευματοδοτών – φωτισμού με προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.1,  $n_2$ = φορτία κινητήρων – συσκευών χωρίς προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.1,  $n_3$ = φορτία ρευματοδοτών – φωτισμού με προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.2,  $n_4$ = φορτία κινητήρων – συσκευών χωρίς προστασία έναντι διαρροών ρεύματος ή επιτηρητή μόνωσης από ηλεκτροστάσιο γεννητριών νο.4,  $k$ = φορτία αδιάλειπτης τροφοδοσίας)

αυτόνομη λειτουργία μόνο με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές. Κάθε συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει το δικό της μετατροπέα και συνδέεται σε διαφορετικό ηλεκτροστάσιο. Τα δύο ηλεκτροστάσια είναι παραλληλισμένα μέσω του αυτόματου διακόπτη A/Δ.Z.L12 (υπό φυσιολογικές συνθήκες κλειστός).

- Τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μοιρασμένα στα δύο ηλεκτροστάσια.
- Τα φορτία συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος αδιάλειπτης τροφοδοσίας τροφοδοτούνται με ξεχωριστές γραμμές από όλα τα ηλεκτροστάσια και συσσωρευτές.
- Τα συστήματα ελέγχου των γεννητριών και των φορτιστών συσσωρευτών είναι κατάλληλα, ώστε να εξασφαλίζουν σταθερή τάση δικτύου και συχνότητας στο εναλλασσόμενο και τάση δικτύου στο συνεχές, ενώ παράλληλα μπορεί να επιτευχθεί ο οποιοσδήποτε συνδυασμός παραλληλισμού και λειτουργίας μεταξύ των δύο γεννητριών G1 και G2 (ή μπλοκ γεννητριών) και συσσωρευτών Σ1 και Σ2. Οι μετατροπείς των φωτοβολταϊκών πλαισίων λειτουργούν, εφόσον υπάρχει σε λειτουργία τουλάχιστον ένα εκ των G1, G2, Σ1 και Σ2.
- Εφόσον υπάρξει γειωμένος ουδέτερος ή συζευγμένος με τη γείωση προστασίας, δύνανται να τοποθετηθούν διακόπτες διαφυγής έντασης σε φορτία οικιακού τύπου κτλ., διαφορετικά τοποθετείται επιτηρητής μόνωσης αγείωτου δικτύου.

Το πλήθος 2 ή 4 που αναφέρεται σε ντιζελογεννήτριες, μονάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων, συστοιχίες συσσωρευτών, βασίζεται στον κανόνα αξιοπιστίας «2n» αντί «n+1» λόγω της κρισιμότητας της εγκατάστασης.

## 5.2. Προτεινόμενη Μεθοδολογία

Η βασική μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος στηρίζεται στην αντίστοιχη μεθοδολογία του [E6, σελ. 165-169] με ορισμένες τροποποιήσεις που αφορούν:

- Τη γήρανση του συσσωρευτή που στο [E6] αγνοείται πλήρως, ενώ εδώ ακολουθούνται οι σχέσεις (4.49), (4.52) ως (4.54). Ομοίως αγνοείται και η γήρανση της ντιζελογεννήτριας που εδώ θα ληφθεί υπόψη τόσο ο τυπικός χρόνος ζωής  $T_{Genlife}$ , π.χ. 10 έτη, όσο και ο χρόνος ζωής με βάση τις συνολικές ώρες λειτουργίας της  $T_{Gen-op-max}$ , π.χ. 25000 ώρες.
- Τον τρόπο λειτουργίας της γεννήτριας, όπου κατά το [E6, σελ. 165-169] καλύπτει μόνο την έλλειψη ισχύος από πλευράς Α.Π.Ε. και συσσωρευτή, όταν ο συσσωρευτής έχει φτάσει στη μικρότερη επιτρεπτή φόρτιση λειτουργίας του, με συνέπεια να υπάρχει ο κίνδυνος λόγω μικρής ζήτησης φορτίου να λειτουργεί στο τεχνικά ελάχιστο. Εδώ αντίθετα, εφόσον μετά τη φάση φόρτισης κινδυνεύει να βρεθεί κάτω από το επίπεδο επιτρεπτής φόρτισης λειτουργίας του συσσωρευτή, τότε η γεννήτρια θα προχωρήσει σε κάλυψη της ζήτησης φορτίου και σε φόρτιση του συσσωρευτή ως την αναγκαία ενέργεια της χειμωνιάτικης ημέρας υπό τις χειρότερες κλιματικές συνθήκες λειτουργίας κατά 75% (λόγω της εξάωρης φόρτισης του συσσωρευτή κατά τον πίνακα 4.4) υπό τη βέλτιστη (εδώ μέγιστη) ισχύ της γεννήτριας, χωρίς όμως να ξεπεραστεί η μέγιστη ισχύς φόρτισης του συσσωρευτή. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή, καθώς η

περίοδος έλλειψης ενέργειας περιλαμβάνει συνήθως περισσότερες από μία ημέρες, ενώ η ντιζελογεννήτρια λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο για μικρό χρονικό διάστημα.

- Το βάθος εκφόρτισης, όπου σε [Ε6, σελ. 165-169] ορίζεται σε συγκεκριμένο ποσοστό, π.χ. 60%, δηλαδή το ελάχιστο ποσοστό φόρτισης είναι 40%. Ωστόσο αυτό το όριο είναι σημαντικό για δύο λόγους: (α) όσο πιο χαμηλό είναι το επίπεδο παραμένουσας φόρτισης  $SoC$ , τόσο γερνά πιο γρήγορα ο συσσωρευτής, οπότε η λειτουργία των γεννητριών περιορίζει το αντίστοιχο φαινόμενο, (β) όσο πιο πολύ λειτουργούν οι ντιζελομηχανές, τόσο αυξάνεται το λειτουργικό κόστος, η κατανάλωση ενέργειας λόγω λειτουργίας βοηθητικών συστημάτων γεννητριών (π.χ. συστήματα εξαερισμού) και η γήρανση των γεννητριών. Οι δύο αυτοί λόγοι έρχονται σε αντίθεση και πρέπει να συμβιβαστούν μέσω του κριτηρίου του ισοδύναμου ετήσιου κόστους κατασκευής και συντήρησης της μονάδας.

Προκειμένου να γίνει ο προσδιορισμός της τεχνικής – οικονομικής βιωσιμότητας του εκάστοτε αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πλαίσια- συσσωρευτή και ντιζελομηχανές πρακτικά, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- ◆ Δίνονται τα βασικά στοιχεία του αυτόνομου υβριδικού συστήματος, όπως ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή, τάση συσσωρευτή, το πλήθος και το εμβαδόν φωτοβολταϊκών πανέλων, πλήθος και ισχύς ντιζελο-ηλεκτρογεννητριών, τα αντίστοιχα κόστη και διάρκειες ζωής, ώρες λειτουργίας κτλ.
- ◆ Επιλέγεται μία ημέρα από τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα ως ημέρα έναρξης της μελέτης, όπου γίνονται κατάλληλες αρχικοποιήσεις, π.χ. αρχική ενέργεια συσσωρευτή στο 80% της ονομαστικής του κτλ.:
  - Για την τρέχουσα ημέρα υπολογίζεται σε χρονικά βήματα  $\Delta t$  η παραγόμενη τελική ακτινοβολία  $H_{m-panel-day}(t, t+\Delta t)$  μέσω της σχέσης (4.75) και από αυτήν η παραγόμενη ισχύς των φωτοβολταϊκών πανέλων έχει ως εξής:

$$E_{PV}(t, t + dt) = P_{PV}(t) \cdot dt = \sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi} \cdot \sigma_{conv} \cdot \sigma_{PV} \cdot f_{Hmday}(t, t + dt) \cdot H_{m-panel-day}^I \cdot N_{panel} \cdot A_{panel} \quad (5.1)$$

$$\text{Υπό συνθήκη: } P_{PV}(t) \geq P_{PVmin} \quad (5.2)$$

Όπου  $\sigma_{conv}$  είναι ο συντελεστής του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο για τα φωτοβολταϊκά πανέλα (τυπικά 0,92),  $\sigma_{PV}$  ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων (τυπικά 0,147 για Sxp154Q),  $A_{panel}$  το εμβαδόν του φωτοβολταϊκού πλαισίου (1,041816 m<sup>2</sup> για Sxp154Q),  $N_{panel}$  το πλήθος των πλαισίων (π.χ. 100 ή 128),  $P_{PVlim}$  είναι το κάτω όριο ισχύος λειτουργίας πλαισίου (στην παρούσα περίπτωση αντιστοιχεί σε 200 W/m<sup>2</sup> ηλιακής ακτινοβολίας).

- Σε κάθε χρονικό βήμα  $dt$  υπολογίζεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια από πλευράς φορτίου σε συνδυασμό με την αντίστοιχη θερμοκρασία  $T(t, t+dt)$  μέσω γραμμικών παρεμβολών, ως εξής:

$$E_{load}(t, t + \Delta t) = P_{load}(t, T(t, t + \Delta t)) \cdot \Delta t \quad (5.3)$$

- Σε κάθε χρονικό βήμα  $dt$  υπολογίζεται αν πρόκειται για φάση φόρτισης από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή φάση εκφόρτισης ή φάση φόρτισης από ντιζελογεννητήρια μέσω των ανισώσεων:

$$\text{Αν } E_{PV}(t, t+dt) \geq E_{load}(t, t+dt), \text{ τότε φάση φόρτισης από συσσωρευτή, αλλιώς:} \quad (5.4)$$

$$\text{Αν } E_{PV}(t, t+dt) < E_{load}(t, t+dt), \quad E(t) - 0,75 \cdot E_{\max-win} \geq SoC_{op-min} \cdot C_{nom} \cdot V_{nom} \quad \& \quad P_{load}(t) \leq P_{PV}(t) + P_{dis-max}$$

τότε φάση εκφόρτισης, αλλιώς φάση φόρτισης από ντιζελογεννητήρια (5.5)

Κατά τη φάση φόρτισης από φωτοβολταϊκά πλαίσια εφαρμόζονται τροποποιημένα οι σχέσεις (4.55), (4.58), (4.60), (4.61), (4.64) και (4.65) θέτοντας  $P_{dis}(t) = P_{LOE}(t) = 0$ , ενώ ο βαθμός απόδοσης φόρτισης συσσωρευτή μέσω μετατροπέα  $n_{ch}$  ανέρχεται τυπικά 0,92. Ειδικότερα ισχύουν τα εξής:

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος: } P_{ch}(t) = P_{PV}(t) - P_{load}(t) \quad (5.6)$$

$$\text{Περιορισμοί ισχύος κατά τη φάση φόρτισης: } 0 \leq P_{ch}(t) \leq P_{ch-max} \quad (5.7)$$

Σε περίπτωση ενεργοποίησης σχέσης (5.7), τότε επαναπροσδιορίζεται η ισχύς φόρτισης ως εξής:

$$P_{ch}(t) = P_{ch-max} \quad (5.8)$$

$$\text{Απωλεσθείσα παραγόμενη ισχύ από Φ/Β: } P_{add}(t) = P_{PV}(t) - P_{ch}(t) - P_{load}(t) \quad (5.9)$$

$$\text{Ισοζύγιο ενέργειας φάσης φόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) + n_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot dt \quad (5.10)$$

$$\text{Όρια λειτουργίας συσσωρευτή: } E(t) \leq SoC_{max} \cdot C_{nom} \cdot V_{nom} \quad (5.11)$$

Σε περίπτωση ενεργοποίησης σχέσης (5.11), τότε επαναπροσδιορίζεται η ενέργεια φόρτισης ως εξής:

$$E(t) = SoC_{max} \cdot C_{nom} \cdot V_{nom} \quad (5.12)$$

Προσδιορισμός ισχύος φόρτισης από ισοζύγιο ενέργειας:

$$P_{ch}(t) = \frac{E(t) - (1 - n_r) \cdot E(t-1)}{n_{ch} \cdot dt} \quad (5.13)$$

Η σχέση (5.13) ικανοποιεί τον περιορισμό (5.7) λόγω διαδοχής πράξεων, οπότε υπολογίζεται ότι:

$$\text{Απωλεσθείσα παραγόμενη ισχύ από Φ/Β: } P_{add}(t) = P_{PV}(t) - P_{ch}(t) - P_{load}(t) \quad (5.14)$$

Κατά τη φάση εκφόρτισης ή της μη λειτουργίας του συσσωρευτή εφαρμόζονται οι σχέσεις (4.56), (5.6), (4.61), (5.11), (4.66) και (4.67) θέτοντας  $P_{ch}(t) = P_{add}(t) = 0$ , θεωρώντας  $P_{LOE}(t) = 0$  λόγω ικανοποίησης ανισότητας  $P_{load}(t) \leq P_{PV}(t) + P_{dis-max}$  και της ανισότητας ορίων λειτουργίας συσσωρευτή  $E(t) \geq SoC_{op-min} \cdot C_{nom} \cdot V_{nom}$ , ενώ ο βαθμός

απόδοσης εκφόρτισης συσσωρευτή μέσω μετατροπέα  $n_{dis}$  ανέρχεται τυπικά 0,92. Ειδικότερα ισχύουν τα εξής:

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος: } P_{dis}(t) = P_{load}(t) - P_{PV}(t) \quad (5.15)$$

$$\text{Φάση εκφόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) - \frac{P_{dis}(t)}{n_{dis}} \cdot dt \quad (5.16)$$

Κατά τη φάση φόρτισης από ντιζελογεννήτρια εφαρμόζονται τροποποιημένα οι σχέσεις (4.55), (5.15), (5.7), (5.11), (4.64) και (4.65) θέτοντας  $P_{dis}(t) = P_{LOE}(t) = 0$ , ενώ ο βαθμός απόδοσης φόρτισης συσσωρευτή μέσω μετατροπέα  $n_{ch}$  ανέρχεται τυπικά 0,92. Επιπλέον λόγω λειτουργίας ντιζελογεννήτριας αυξάνεται η ζήτηση φορτίου σε  $P_{load}'(t)$ . Ειδικότερα ισχύουν τα εξής:

Προσδιορισμός πλήθους ντιζελογεννητριών σε λειτουργία:

$$N_{th-op}(t) = \left\lceil \frac{P_{load}'(t) - P_{PV}(t)}{P_{Th-max}} \right\rceil \quad (5.17)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη μορφή του ωριαίου κόστους λειτουργίας μίας θερμικής μονάδας με σταθερούς συντελεστές  $\alpha_2$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_0$  ισχύει ότι:

$$\text{Ωριαίο κόστος λειτουργίας: } F_{th}(t) = \alpha_2 \cdot P_{Th}^2(t) + \alpha_1 \cdot P_{Th}(t) + \alpha_0 \quad (5.18)$$

Η αντίστοιχη μορφή του ειδικού κόστους λειτουργίας είναι ίση με:

$$\text{Ειδικό κόστος λειτουργίας: } \frac{F_{th}(t)}{P_{Th}(t)} = \alpha_2 \cdot P_{Th}(t) + \alpha_1 + \frac{\alpha_0}{P_{Th}(t)} \quad (5.19)$$

Η σχέση (5.19) δείχνει το λειτουργικό κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο ελαχιστοποιείται ως εξής:

$$\frac{\partial}{\partial P_{Th}} \left( \frac{F_{th}}{P_{Th}} \right) = \alpha_2 - \frac{\alpha_0}{P_{Th}^2(t)} = 0 \Rightarrow P_{Th-opt} = \sqrt{\frac{\alpha_0}{\alpha_2}} \quad (5.20)$$

$$\text{Σημείο βέλτιστης λειτουργίας ομοίων ντιζελογεννητριών: } P_{Th}(t) = P_{Th-opt} \quad (5.21)$$

Υπό τους ακόλουθους περιορισμούς για:

$$\text{Περιορισμός μέγιστου πλήθους ντιζελογεννητριών: } N_{th-op}(t) \leq N_G \quad (5.22)$$

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος για βέλτιστο σημείο λειτουργίας ντιζελογεννήτριας:} \quad (5.23)$$

$$P_{ch}(t) = P_{PV}(t) + N_{th-op}(t) \cdot P_{Th-opt} - P_{load}'(t)$$

Περιορισμοί ισχύος, ενέργειας συσσωρευτή:

$$P_{ch}(t) \leq P'_{ch-max} = \min \left\{ P_{ch-max}, \frac{SoC_{max} \cdot C_{nom} \cdot V_{nom} - (1 - n_r) \cdot E(t-1)}{n_{ch} \cdot dt} \right\} \quad (5.24)$$

Περιορισμοί ισχύος ντιζελογεννητριών κατά τη φάση λειτουργίας: (5.25)

$$P_{Th-min} \leq P_{Th}(t) \leq P_{Th-max}$$

Σε περίπτωση ενεργοποίησης σχέσης (5.24), τότε επαναπροσδιορίζεται το σημείο λειτουργίας των ντιζελογεννητριών ως εξής:

Ισοζύγιο ισχύος με ενεργοποιημένο τον περιορισμό (5.24):

$$P_{Th}(t) = \frac{P_{ch}(t) + P_{load}'(t) - P_{PV}(t)}{N_{th-op}(t)} \quad (5.26)$$

$$\text{Αν } P_{Th-min} > P_{Th}(t) \Rightarrow P_{Th}(t) = P_{Th-min} \quad (5.27)$$

$$\text{Και } P_{add}(t) = P_{PV}(t) - P_{ch}(t) - P_{load}'(t) + N_{th-op}(t) \cdot P_{Th-min} \quad (5.28)$$

Για την περίπτωση ενεργοποίησης του περιορισμού ισχύος της σχέσης (5.5) ισχύουν τα εξής:

$$\text{Φάση φόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) + n_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot dt \quad (5.29)$$

Οπότε η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου των ντιζελογεννητριών και οι ώρες λειτουργίας τους είναι ίσο με:

Κατανάλωση καυσίμου:

$$fuel_{total}(t) = N_{th-op}(t) \cdot fuel\_consumption(\max(P_{Th}(t), P_{Th-min})) \cdot dt \quad (5.30)$$

$$\text{Ώρες λειτουργίας: } time\_operation_{total}(t) = N_{th-op}(t) \cdot dt \quad (5.31)$$

Για την περίπτωση ενεργοποίησης του περιορισμού ενέργειας της (5.5) ισχύουν τα εξής:

$$\text{Χρόνος λειτουργίας ντιζελογεννητριας: } \Delta t_{op} = \frac{0,75 \cdot E_{max-win}}{P_{Th}(t)} \quad (5.32)$$

Αν  $\Delta t_{op} > dt$ , δηλαδή σε όλο το χρονικό διάστημα  $dt$  θα λειτουργούν οι ντιζελογεννητρίες, οπότε:

$$\text{Φάση φόρτισης: } E(t) = (1 - n_r) \cdot E(t-1) + n_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot dt \quad (5.33)$$

Οπότε η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου των ντιζελογεννητριών και οι ώρες λειτουργίας τους είναι ίσο με:

Κατανάλωση καυσίμου:

$$fuel_{total}(t) = N_{th-op}(t) \cdot fuel\_consumption(\max(P_{Th}(t), P_{Th-min})) \cdot dt \quad (5.34)$$

$$\text{Ώρες λειτουργίας: } time\_operation_{total}(t) = N_{th-op}(t) \cdot dt \quad (5.35)$$

Αν  $\Delta t_{op} \leq dt$ , δηλαδή οι ντιζελογεννήτριες θα λειτουργούν για μικρότερο ή ίσο χρονικό διάστημα  $dt$ , τότε:

$$\text{Φάση φόρτισης: } E(t - dt + \Delta t_{op}) = \left(1 - n_r \cdot \frac{\Delta t_{op}}{dt}\right) \cdot E(t-1) + n_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot \Delta t_{op} \quad (5.36)$$

Οπότε η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου των ντιζελογεννητριών και οι ώρες λειτουργίας τους είναι ίσο με:

$$\begin{aligned} &\text{Κατανάλωση καυσίμου:} \\ fuel_{total}(t) &= N_{th-op}(t) \cdot fuel\_consumption(\max(P_{Th}(t), P_{Th-min})) \cdot \Delta t_{op} \end{aligned} \quad (5.37)$$

$$\text{Ώρες λειτουργίας: } time\_operation_{total}(t) = N_{th-op}(t) \cdot \Delta t_{op} \quad (5.38)$$

Ενώ για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα από  $t-dt+\Delta t_{op}$  ως  $t$ , γίνεται εκφόρτιση, όπου ισχύουν οι περιορισμοί ισχύος κατά τη φάση εκφόρτισης και ενέργειας συσσωρευτή, δηλαδή:

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος: } P_{dis}(t) = P_{load}(t) - P_{PV}(t) \quad (5.39)$$

$$\text{Φάση εκφόρτισης: } E(t) = \left(1 - n_r \cdot \frac{dt - \Delta t_{op}}{dt}\right) \cdot E(t - dt + \Delta t_{op}) - \frac{P_{dis}(t)}{n_{dis}} \cdot (dt - \Delta t_{op}) \quad (5.40)$$

- Στο τέλος της τρέχουσας ημέρας προσδιορίζονται:
  - ο συντελεστής γήρανσης μέσω των σχέσεων (4.45) και (4.52) και της ημερήσιας απομένουσας χωρητικότητας συσσωρευτή μέσω της σχέσης (4.54) υπολογίζοντας το βάθος εκφόρτισης μέσω της σχέσης (4.63) με χρήση του μικρότερου επιπέδου ενέργειας συσσωρευτή  $\min\{E(t)\}$  που σημειώθηκε μέσα στο τρέχον 24ώρο. Σε κάθε περίπτωση ισχύουν τα εξής:

Μέγιστος βαθμός φόρτισης μέσω απομένουσας χωρητικότητας σχέσης

$$(4.54): SoC_{max} = \min \left\{ \frac{C_j'}{C^{nom}}, SoC_{max}' \right\} \quad (5.41)$$

Υπολογισμός ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή:

$$SoC_{op-min} = \min \{ SoC_{op-min}, SoC_{max} - \Delta SoC \} \geq SoC_{min} \quad (5.42)$$

Όπου  $SoC_{op-min}$  είναι ο τρέχων ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή,  $SoC_{op-min-initial}$  ο αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή, όπου είναι τιμή προς διερεύνηση και αρχικοποιεί την τιμή  $SoC_{op-min}$ ,  $SoC_{min}$  ο τεχνικά ελάχιστος βαθμός φόρτισης συσσωρευτή με αρχική τιμή 20% τυπικά για AGM VRLA και RES SOPzV συσσωρευτή (κάτω από την οποία δεν μεταβαίνει ο συσσωρευτής για να μην υποστεί σοβαρή βλάβη, π.χ. θείκωση από

βαθιά εκφόρτιση σε συσσωρευτές θειικού οξέος - μολύβδου),  $SoC_{max}$  ο τεχνικά μέγιστος βαθμός φόρτισης συσσωρευτή με αρχική τιμή  $SoC_{max}=95\%$  τυπικά για AGM VRLA και RES SOPzV συσσωρευτή,  $\Delta SoC$  το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή, όπου είναι τιμή προς διερεύνηση. Οι σχέσεις (5.41) και (5.42) μπορούν να υπολογίζονται με τις αντίστοιχες τιμές στην αρχή του κύκλου εξέτασης της τρέχουσας ημέρας.

(β) ο συνολικός αριθμός ωρών λειτουργίας των ντιζελογεννητριών ως εξής:

$$\text{Συνολικές ώρες λειτουργίας: } Total\_time\_operation = \sum_{t=1}^T time\_operation_{total}(t) \quad (5.43)$$

(γ) η απωλεσθείσα ενέργεια λόγω πλεονάζουσας παραγωγής Φ/B:

$$\text{Ισοζύγιο ισχύος: } E_{add} = \sum_{t=1}^T P_{add}(t) \cdot dt \quad (5.44)$$

- Στο τέλος της τρέχουσας ημέρας γίνεται έλεγχος της γήρανσης του συσσωρευτή μέσω της σχέσης (4.53) και αν ο χρόνος λειτουργίας συσσωρευτή έχει ξεπεράσει το  $T_{bat\_life}$ . Όποιο συμβεί πρώτο σε σχέση με το χρονικό διάστημα μελέτης  $N_B$  σε ημέρες (ή  $T_B$  σε έτη) θεωρείται ότι ο συσσωρευτής ολοκλήρωσε τον κύκλο ζωής του, δηλαδή ο χρόνος απόσβεσης συσσωρευτή είναι ίσος με:

$$T_{bat} = \min \left\{ T_{bat\_life}, T_{bat\_op}[\text{years}] = \sum_{j=1}^{N_B} \gamma_{a-j}(t) \cdot dt = 100\% \right\} \quad (5.45)$$

Ομοίως γίνεται ο αντίστοιχος έλεγχος της γήρανσης των ντιζελογεννητριών μέσω του μέγιστου αριθμού ωρών λειτουργίας τους και αν ο χρόνος λειτουργίας συσσωρευτή έχει ξεπεράσει το  $T_{Gen\_life}$ . Όποιο συμβεί πρώτο σε σχέση με το χρονικό διάστημα μελέτης  $N_B$  σε ημέρες (ή  $T_B$  σε έτη) θεωρείται ότι οι ντιζελογεννήτριες ολοκλήρωσαν τον κύκλο ζωής τους, δηλαδή ο χρόνος απόσβεσης ηλεκτρογεννητριών είναι ίσος με:

$$T_{Gen} = \min \left\{ T_{Gen\_life}, T_{Gen\_op}[\text{years}] = \frac{N_G \cdot T_{Gen\_op\_max}[\text{hours}] \cdot T_B[\text{years}]}{Total\_time\_operation} \right\} \quad (5.46)$$

Εδώ έχει γίνει η άτυπη πρακτική παραδοχή ότι ο συσσωρευτής έχει μικρότερη διάρκεια ζωής στη γεννήτρια.

- Αν κανενός εξαρτήματος εκ των γεννητριών και συσσωρευτών έχει εξαντληθεί η διάρκεια ζωής του, τότε αυξάνεται η τρέχουσα ημέρα κατά ένα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Διαφορετικά υπολογίζεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής και λειτουργίας  $TC_{annual}$  του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας ως εξής:

$$A_{cap-j} = C_{cap-j} \cdot \frac{(1+i_r)^{T_j} \cdot i_r}{(1+i_r)^{T_j} - 1} \quad (5.47)$$



$$TC_{annual} = \sum_j (A_{cap-j} + C_{fix-j}(P_A) + c_{op1-j} \cdot E_j + c_{op2-j} \cdot t_{op-j}) \quad (5.48)$$

Όπου  $C_{cap-j}$  είναι το αρχικό κόστος κεφαλαίου της  $j^{th}$  συσκευής με το ισοδύναμο κόστος ανάκτησης κεφαλαίου στο τέλος της οικονομικής ζωής της,  $T_j$  η προσδóκιμη χρονική διάρκεια ζωής,  $A_{cap-j}$  το ισοδύναμο ετήσιο σταθερό κόστος κεφαλαίου,  $i_r$  το αποπληθωρισμένο επιτόκιο,  $C_{fix-j}$  το ετήσιο σταθερό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής για συντήρηση, μισθούς εργαζομένων, κτλ. το οποίο μπορεί να εξαρτάται από τη μέγιστη ισχύ  $P_A$ ,  $c_{op1-j}$  το λειτουργικό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής που είναι ανάλογο της ετήσιας ενέργειας  $E_j$  και εξαρτάται από το κόστος καυσίμου και λιπαντικών,  $c_{op2-j}$  το λειτουργικό κόστος της  $j^{th}$  συσκευής που είναι ανάλογο των ετήσιων ωρών λειτουργίας  $t_{op-j}$  και εξαρτάται από τη συντήρηση.

- ♦ Αν έχουν εξεταστεί όλες οι ημέρες ως ιστορικά στοιχεία, τότε βρίσκεται η μέγιστη τιμή εκ των ετήσιων ισοδύναμων κοστών του υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκών πλαισίων – συσσωρευτή-ντιζελογεννητριών, διαφορετικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία ως ότου εξεταστούν το σύνολο των ημερών, που στην παρούσα περίπτωση είναι 5477 (διαθέσιμες θερμοκρασίες Αθήνας 1985-2000).

Υπενθυμίζονται τα εξής: η παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά πανέλα είναι ίση με  $P_{PV}(t)$  που καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία της αντίστοιχης περιόδου και ώρα της ημέρας, η ζητούμενη ισχύς από τα φορτία είναι ίση με  $P_{load}(t)$ , που εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία, η απωλεσθείσα ισχύς λόγω παραγόμενης ισχύος από τα φωτοβολταϊκά σε περίπτωση πλήρους φόρτισης συσσωρευτή είναι ίση με  $P_{add}(t)$ , που το ολοκλήρωμά της στο πεδίο του χρόνου δίνει την αντίστοιχη ενέργεια  $E_{add}$ , ενώ η μη εξυπηρετούμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και το συσσωρευτή σε περίπτωση ελάχιστου βάθους φόρτισης συσσωρευτή και μη κάλυψης φορτίου από τα Φ/Β είναι πρακτικά μηδενική λόγω ύπαρξης των ντιζελογεννητριών, όπως και η αντίστοιχη ενέργεια, το επίπεδο φόρτισης συσσωρευτή  $SoC(t)$  (state of charge) συνδέεται με το βάθος εκφόρτισης του  $DoD(t)$  (depth of discharge) μονοσήμαντα, εκφράζοντας ουσιαστικά το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας  $E(t)$  ως προς την ονομαστική αποθηκευμένη ενέργεια, που υπολογίζεται από το γινόμενο της ονομαστικής χωρητικότητας  $C^{nom}$  επί την αντίστοιχη τάση πλήρους φόρτισης  $V^{nom}$ , η ημερήσια απομένουσα χωρητικότητα  $C'$  του συσσωρευτή για τη  $j$ -ιστή ημέρα συνδέεται μέσω της αντίστοιχης τάσης στα άκρα του  $V_j(t)$  κατά την αντίστοιχη χρονική στιγμή με τη μέγιστη αποθηκευμένη ενέργεια  $E(t)$  που περιέχει ο συσσωρευτής μέσω των αντίστοιχων περιορισμών επιπέδων φόρτισης του κατά τη λειτουργία του – ελάχιστο  $SoC_{op-min}$  και μέγιστο  $SoC_{max}$ , όπου το μεν ελάχιστο όριο λειτουργίας αναπροσαρμόζεται με βάση το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$ , η μέγιστη ισχύς κατά τη φόρτιση  $P_{ch-max}$  καθορίζεται από τα ονομαστικά μεγέθη του φορτιστή και τα επιτρεπόμενα ρεύματα του συσσωρευτή, η μέγιστη ισχύς κατά τη εκφόρτιση  $P_{dis-max}$  καθορίζεται από τα ονομαστικά μεγέθη του μετατροπέα, τη ζητούμενη ισχύ φορτίου και τα επιτρεπόμενα ρεύματα του συσσωρευτή, όπου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή σε περίπτωση μεταβολής της χωρητικότητας συσσωρευτή με βάση την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης, ο βαθμός μείωσης της ενέργειας του συσσωρευτή είναι  $\eta_r$  με αντίστοιχες τιμές της προηγούμενης παραγράφου. Σημειώνεται ότι λόγω των τρίωρων χρονικών διαστημάτων χρησιμοποιείται

πρακτικά η μέση τρίωρη ισχύς και όχι η μέγιστη ισχύς φορτίου που μπορεί να εμφανιστεί για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα παραλείποντας τις διαφορετικές καμπύλες εκφόρτισης συσσωρευτή για διαφορετικά φορτία.

### 5.3. Προκαταρκτική Μελέτη Ανάπτυξης Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ο σχετικός αλγόριθμος υλοποίησης των ανωτέρω καταγράφεται στο παράρτημα Π.1.4. Για κάθε είδους συνδυασμό αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πλαίσια - συσσωρευτή και ντιζελομηχανές του πίνακα 5.2 μελετώνται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  (αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή από 20% ως 70% με βήμα 10%) και  $\Delta SoC$  (το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή από 10% ως 80% με βήμα 10%), μέσω των οποίων καθορίζεται ο ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min}$  του οποίου η τιμή διαρκώς μεταβάλλεται λόγω της μεταβολής του  $SoC_{max}$  (του τεχνικά μέγιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή) μέσω των σχέσεων (5.41) και (5.42), χωρίς να πέφτει ποτέ κάτω από την ελάχιστη τιμή βαθμού φόρτισης  $SoC_{min}$  (με τιμή 20%). Στον πίνακα 5.1 καταγράφονται οι αντίστοιχοι επιτρεπτοί συνδυασμοί με τον υπολογιζόμενο αρχικό ελαχιστό βαθμό φόρτισης λειτουργίας φόρτισης συσσωρευτή  $SoC_{op-initial}$  ( $=SoC_{op-min}$  κατά την πρώτη ημέρα εκτέλεσης του αλγορίθμου).

**Πίνακας 5.1:** Επιτρεπτοί συνδυασμοί λειτουργίας υβριδικού συστήματος με αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  με τεχνικά μέγιστο βαθμό φόρτισης συσσωρευτή  $SoC_{max}$  ίσο με 95% και υπολογισμό του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-initial}$  κατά την πρώτη ημέρα εκτέλεσης του αλγορίθμου.

$\Delta SoC$	$SoC_{op-initial} \geq SoC_{min}$	$SoC_{op-min-initial}$					
	$SoC_{max} - \Delta SoC$	20%	30%	40%	50%	60%	70%
10%	85%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
20%	75%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
30%	65%	20%	30%	40%	50%	60%	65%
40%	55%	20%	30%	40%	50%	55%	
50%	45%	20%	30%	40%	45%		
60%	35%	20%	30%	35%			
70%	25%	20%	25%				
80%	15%	20%					

Στον πίνακα 5.2 καταγράφονται διαφορετικές περιπτώσεις υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q διαφορετικού πλήθους, συσσωρευτές διαφορετικού είδους (AGM VRLA ή RES SOPzV) και μεγέθους (υπό ονομαστική τάση 110 V), τα οποία εξετάστηκαν, όπου στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται το ζεύγος βέλτιστης λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  και  $\Delta SoC$ , ο χρόνος ασφαλούς λειτουργίας, η ημέρα έναρξης και λήξης δυσμενέστερου σεναρίου, η απομένουσα χωρητικότητα του συσσωρευτή, η συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου, οι συνολικές ετήσιες ώρες λειτουργίας των γεννητριών, η

ετήσια πρόσθετη ενέργεια περιόδου που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πανέλα, το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για αποπληθωρισμένα επιτόκια 0%, 3% και 10% ενδεικτικά. Παρατηρείται ότι, όταν καλείται η ντιζελομηχανή να λειτουργήσει, λόγω της ύπαρξης του συσσωρευτή αυτή, τίθεται στο βέλτιστο οικονομικό σημείο λειτουργίας της, μακριά από το τεχνικά ελάχιστο. Εξαιτίας τούτου δεν συμπεριλαμβάνεται η χρήση δύο ηλεκτροστασιών με συνολικά 4 ντιζελομηχανές των 12 kW (εκτός μίας ενδεικτικής περίπτωσης), διότι σε αυτήν την περίπτωση για τα ίδια μεγέθη φωτοβολταϊκών πανέλων – συσσωρευτή, θα οδηγήσουν σε χειρότερα οικονομικά αποτελέσματα λόγω του πολύ υψηλότερου κόστους εγκατάστασης και του μικρού χρόνου λειτουργίας τους.

Ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα κόστη με τα οποία έγιναν οι υπολογισμοί καταγράφονται ως εξής:

- ◆ Φωτοβολταϊκά πλαίσια με χρόνο απόσβεσης 10 έτη:
  - Μονάδα 128 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154Q [E37]: 96640 €
  - Μονάδα 100 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E37]: 75500 €
  - Μονάδα 80 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E37]: 60400 €
  - Μονάδα 60 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E37]: 45300 €
  - Μονάδα 40 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E37]: 30200 €
  - Μονάδα 20 πλαισίων ενδεικτικού τύπου Sxp154L [E3]: 15100 €
- ◆ Μετατροπείς φωτοβολταϊκών πλαισίων, ηλεκτρολογικοί πίνακες καλωδιώσεις και λοιπά υλικά (ανέρχονται στο 10% του αρχικού κόστους κατασκευής πλαισίων – μετατροπέων) με χρόνο απόσβεσης 20 έτη:
  - Μονάδα 128 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 10000TL [E56]: 15761€
  - Μονάδα 100 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 8000 TL [E56]: 12958€
  - Μονάδα 80 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 7000 TL [E56]: 11286€
  - Μονάδα 60 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 6000 TL [E56]: 9380 €
  - Μονάδα 40 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 5000 TL [E56]: 7420 €
  - Μονάδα 20 πλαισίων με δύο μετατροπείς ενδεικτικού τύπου SMA SUNNY TRIPOWER 5000 TL [E56]: 5910 €
- ◆ Συσσωρευτές με μεταβλητό χρόνο απόσβεσης ίσο με το χρόνο ασφαλούς λειτουργίας κατά τον πίνακα 5.2 με στρογγυλοποίηση σε 2<sup>ο</sup> δεκαδικό ψηφίο:
  - Μονάδα συσσωρευτών 108 V - 3800 Ah ενδεικτικού τύπου AGM VRLA Narada 12V 100 Ah C20 με πλήθος τεμαχίων 342 (9 εν σειρά x38 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης/σύνδεσης [E66]: 61560 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 108 V - 2400 Ah ενδεικτικού τύπου AGM VRLA Narada 12V 100 Ah C20 με πλήθος τεμαχίων 216 (9 εν σειρά x24 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης/σύνδεσης [E66]: 38880 €

- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 3800 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 8 SOPzV1360 2 V 1338 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 165 (55 εν σειρά x 3 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [Ξ67]: 66000 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 2400 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 7 SOPzV1190 2 V 1171 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 110 (55 εν σειρά x 2 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [Ξ67]: 40700 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 1950 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 7 SOPzV990 2 V 977 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 110 (55 εν σειρά x 2 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [Ξ67]: 34650 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 1675 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 6 SOPzV850 2 V 838 Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 110 (55 εν σειρά x 2 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [Ξ67]: 29535 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 1400 Ah ενδεικτικού τύπου Sunlight RES 5 SOPzV710 2 V 698Ah C48 με πλήθος τεμαχίων 110 (55 εν σειρά x 2 παράλληλους κλάδους) & αναγκαία μικροϋλικά στήριξης / σύνδεσης [Ξ67]: 26455 €
- ◆ Φορτιστές συσσωρευτών πλήθους 2 της GSA industries (με τριφασική είσοδο 380±415 V, 50±1 Hz, έξοδο 110 V dc με ρεύμα φόρτισης 200 A τουλάχιστον) μαζί με διπλό σύστημα αυτόματου ελέγχου ειδικής διαμόρφωσης (θέση master-slave για λόγους εφεδρείας) με χρόνο απόσβεσης 20 έτη:
  - Μονάδα συσσωρευτών 108÷110 V - 3800 Ah [Ξ56, Ξ68, Ξ69]: 22000 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 108÷110 V - 1900÷2400 Ah [Ξ56, Ξ68, Ξ69]: 18000 €
  - Μονάδα συσσωρευτών 108÷110 V - 1400÷1650 Ah [Ξ56, Ξ68, Ξ69]: 15000 €
- ◆ Πρόσθετο κόστος κατασκευής για επέκταση οροφής από 14,3 m x 8,6 m που καλύπτει την εγκατάσταση 100 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L σε 16,0 m x 9,60 m για την εγκατάσταση 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με επιπλέον κόστος κατασκευής των 30,62 m<sup>2</sup> περί των 7000 € με απόσβεση σε 25 έτη.
- ◆ Ετήσιο κόστος συντήρησης για φωτοβολταϊκά πλαίσια / συσσωρευτές 1200 €/ έτος (12 μηνιαίες επιθεωρήσεις). Σε περίπτωση ύπαρξης μόνο συσσωρευτών το ετήσιο κόστος συντήρησης περιορίζεται στα 600 €/ έτος.
- ◆ Ντιζελογεννήτριες με χρόνο απόσβεσης 10 έτη ή 25000 ώρες λειτουργίας:
  - Δύο ηλεκτροστάσια με εγκατεστημένη ισχύ μίας μονάδας 20 kW σε καθένα: 36000 € (προσαυξημένο κατά 1000 € έναντι απλού συστήματος θερμικών μονάδων της §4.3 λόγω ύπαρξης συσσωρευτών - φωτοβολταϊκών πανέλων - πρόσθετων απαιτήσεων αυτοματισμού κτλ.). Το ετήσιο κόστος συντήρησης ανά ώρα λειτουργίας ανέρχεται σε 0,45 €/h [Ξ54 με ενδεικτική τιμή 1,00€=1,12\$], το σταθερό κόστος συντήρησης ανά γεννήτρια σε 159€/μήνα [Ξ55] (βλ. σχήμα 4.21). Η κατανάλωση καυσίμου ανά γεννήτρια δίνεται από τη σχέση (4.3) με κόστος καυσίμου σε σημερινές τιμές 1,35 €/l, με προσαύξηση 3,3% για το αντίστοιχο αναλογικό κόστος λιπαντικών κτλ.
  - Δύο ηλεκτροστάσια με εγκατεστημένη ισχύ δύο μονάδων 12 kW σε καθένα: 45000 € (προσαυξημένο κατά 1000 € έναντι απλού συστήματος θερμικών μονάδων της §4.3 λόγω ύπαρξης συσσωρευτών - φωτοβολταϊκών πανέλων - πρόσθετων απαιτήσεων αυτοματισμού κτλ.). Το ετήσιο κόστος συντήρησης ανά ώρα λειτουργίας ανέρχεται σε 0,27 €/h [Ξ54 με ενδεικτική τιμή 1,00€=1,12\$], το

σταθερό κόστος συντήρησης ανά γεννήτρια σε 137€/μήνα [Ξ55] (βλ. σχήμα 4.21). Η κατανάλωση καυσίμου ανά γεννήτρια δίνεται από τη σχέση (4.4) με κόστος καυσίμου σε σημερινές τιμές 1,35 €/l, με προσαύξηση 3,3% για το αντίστοιχο αναλογικό κόστος λιπαντικών κτλ.

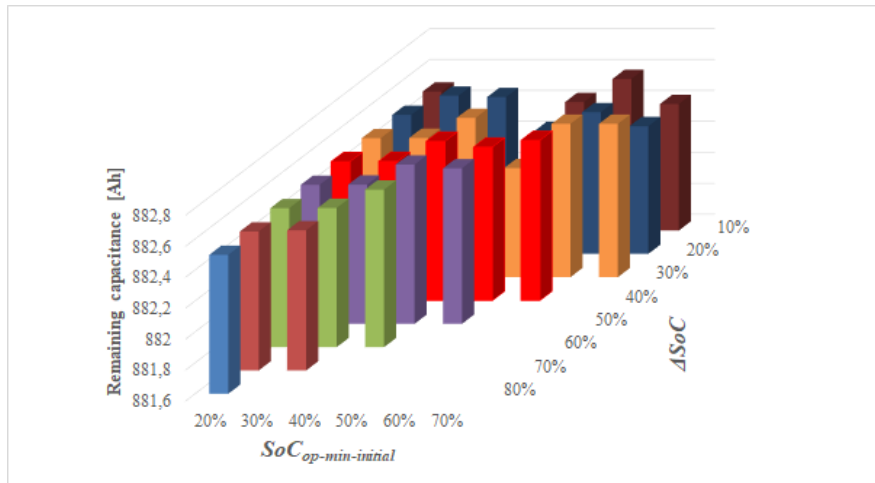
Για κάθε εξεταζόμενο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξετάζονται τα ζεύγη λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  και  $\Delta SoC$ , από τα οποία επιλέγεται εκείνο με το μικρότερο δυνατό κόστος, το οποίο προκύπτει γενικά αδιάφορο του εφαρμοζόμενου αποπληθωρισμένου επιτοκίου της σχέσης (5.47). Ενδεικτικά καταγράφονται για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah οι τρισδιάστατες γραφικές παραστάσεις:

- ♦ της τελικής απομένουσας χωρητικότητας συσσωρευτή σε τέλος ζωής του (σχήμα 5.2), από την οποία φαίνεται ότι πρακτικά στην προκειμένη περίπτωση είναι σταθεροποιημένη στα 882 Ah, δηλαδή στο 36,75%,
- ♦ της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (σχήμα 5.3) και των ετήσιων ωρών λειτουργίας γεννητριών (σχήμα 5.4), όπου για μικρές τιμές του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  (=10%) η ετήσια κατανάλωση λαμβάνει υψηλές τιμές όσο μεγαλώνει ο αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$ ,
- ♦ της ετήσιας πρόσθετης ενέργειας περιόδου που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελα (σχήμα 5.5), όπου αυξάνει η τιμή της από 13,4 MWh σε 17 MWh κατά τη μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και κατά την αύξηση του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$ ,
- ♦ της διάρκειας ζωής συσσωρευτή (σχήμα 5.6), όπου αυξάνει ελαφρώς η τιμή της από 4,5 σε 5 έτη κατά τη μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και κατά την αύξηση του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$ ,
- ♦ του ισοδύναμου ετήσιου κόστους κατασκευής, λειτουργίας – συντήρησης για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3% (σχήμα 5.7), όπου αυξάνει η τιμή της κατά τη μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και κατά την αύξηση του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$ , επιτυγχάνοντας το συνολικό ελάχιστο κόστος στο ζεύγος 30% και 60% αντίστοιχα.

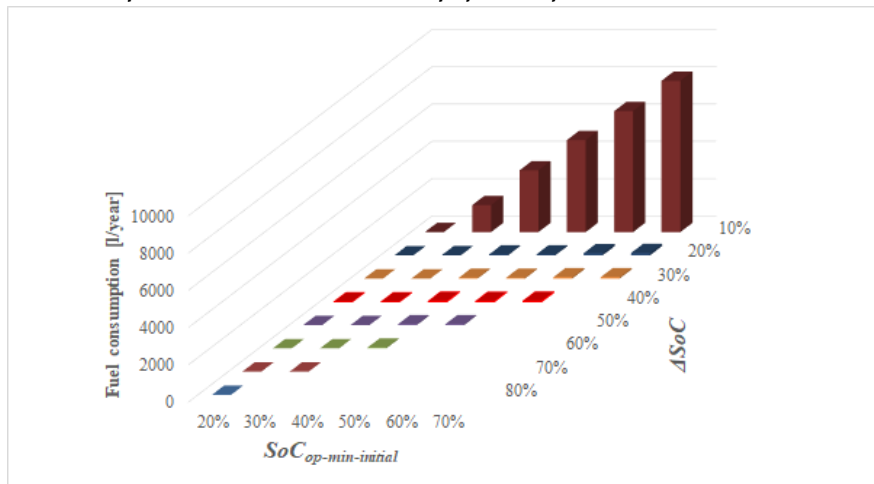
Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα υποψήφια υβριδικά αυτόνομα συστήματα. Αρχικά μελετώνται υβριδικά συστήματα που προκύπτουν από τον πίνακα 4.5 με την προσθήκη συστήματος δύο ντιζελογεννητριών των 20 kW. Αυτό έχει ως συνέπεια να αυξηθεί ο χρόνος ασφαλούς λειτουργίας του συσσωρευτή, ελαφρώς στις περιπτώσεις των 128 φωτοβολταϊκών πλαίσιων ( $\alpha/\alpha=1, 3, 5$  από 0,14 ως 0,26 έτος) και σημαντικά στις περιπτώσεις των 100 πλαίσιων ( $\alpha/\alpha=2, 4, 6$  από 0,58 ως 2,52 έτη). Αυτό συμβαίνει, διότι η απομένουσα χωρητικότητα στο τέλος λειτουργίας περιορίζεται στο 36,75% πρακτικά, το οποίο συμβαίνει μόνο σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα με 128 πλαίσια ( $\alpha/\alpha=1, 3, 5$  του πίνακα 4.5).

**Πίνακας 5.2:** Ανάλυση ευαισθησίας αυτόνομου υβριδικού σταθμού πλήθους φωτοβολταϊκών πανέλων Sxp154Q ή Sxp154L, είδους (AGM VRLA ή RES SOPzV) και μέγεθους συσσωρευτή (1400, 1675, 1950, 2400 Ah ή 3800 Ah σε τάση 110 V) με χρήση 2 ντιζελομηχανών των 20 kW σε περιπτώσεις με α/α 1 ως 14, με χρήση 4 των 12 kW για α/α 15\*.

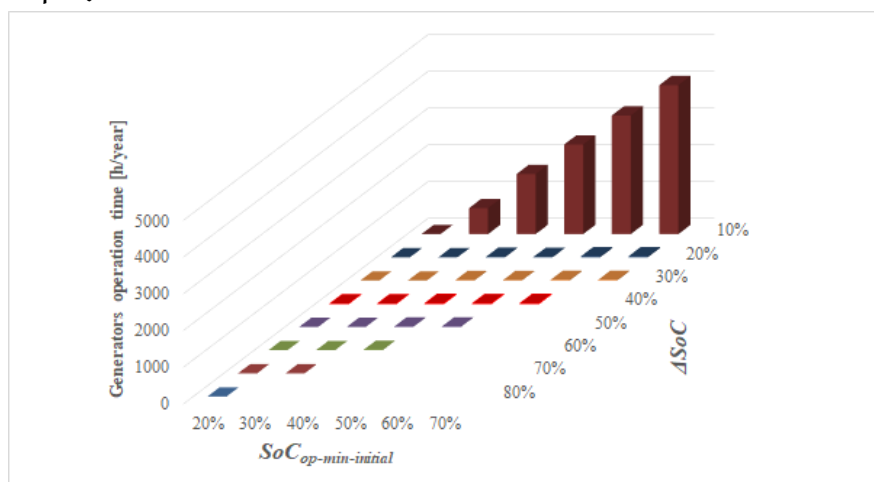
α/α	Πλήθος πλαισίων	Είδος συσσωρευτή	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	Αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή $SoC_{op-min-initial}$ [%]	Ελάχιστα απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή $\Delta SoC$ [%]	Χρόνος ασφαλούς λειτουργίας [έτη]	Ημέρα έναρξης & λήξης δυσμενέστερου σεναρίου [ημέρα - ημέρα]	
1	128	VRLA	3800	70%	20%	3,89	1249-2850	
2	100	VRLA	3800	70%	20%	3,88	1428-2844	
3	128	VRLA	2400	30%	30%	3,84	1227-2628	
4	100	VRLA	2400	60%	30%	3,82	1234-2630	
5	128	RES SOPzV	3800	70%	20%	4,89	2163-3947	
6	100	RES SOPzV	2400	60%	30%	4,78	885-2630	
7	100	RES SOPzV	1950	70%	30%	4,73	930-2658	
8	100	RES SOPzV	1675	40%	40%	4,68	935-2644	
9	100	RES SOPzV	1400	60%	40%	4,65	955-2653	
10	80	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,69	933-2645	
11	60	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,66	942-2642	
12	40	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,61	961-2642	
13	20	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,50	1003-2647	
14	0	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,26	1087-2642	
15	0	RES SOPzV	1675	70%	30%	4,26	1087-2642	
α/α	Απομένουσα χωρητικότητα σε τέλος λειτουργίας $C_T$ [Ah-% ως προς $C_{nom}$ ]	Συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου [l]	Ετήσιες ώρες λειτουργίας γεννητριών [ώρες]	Πρόσθετη ετήσια ενέργεια περιόδου $E_{annual\_add}$ [kWh]	Μέση πρόσθετη ημερήσια ενέργεια $E_{add\_day}$ [kWh]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος [€] για επιτόκιο		
						0%	3%	10%
1	1397,30 – 36,77%	1,881	0,285	19423,87	53,21	36268	40505	51682
2	1397,28 – 36,77%	22,689	3,477	13986,63	38,32	33815	37516	47218
3	881,97 – 36,75%	66,323	18,075	19117,23	52,38	30483	34219	44142
4	882,52 – 36,77%	86,026	21,441	13692,63	37,51	28009	31209	39656
5	1397,51 – 36,78%	1,457	0,175	19519,19	53,48	33959	38233	49546
6	882,591 – 37,46%	72,454	18,340	13672,98	37,46	26336	29542	38029
7	717,103 – 36,77%	252,196	81,687	13589,59	37,23	25421	28517	36728
8	615,809 – 36,76%	670,079	272,147	13649,49	37,40	24929	27879	35707
9	514,642 – 36,76%	1422,402	649,605	13851,70	37,95	25527	28420	36109
10	615,570 – 36,75%	735,999	289,343	10035,55	27,49	23424	26085	33142
11	615,561 – 36,75%	850,818	318,032	6428,43	17,61	22036	24404	30679
12	615,568 – 36,75%	1084,382	377,563	3170,71	8,687	20852	22927	28418
13	615,587 – 36,75%	1560,581	504,754	371,359	1,017	20132	21923	26654
14	615,602 – 36,75%	3411,221	1033,115	0,000	0,000	20921	22355	26109
15	615,602 – 36,75%	3085,831	1033,115	0,000	0,000	23941	25530	29694



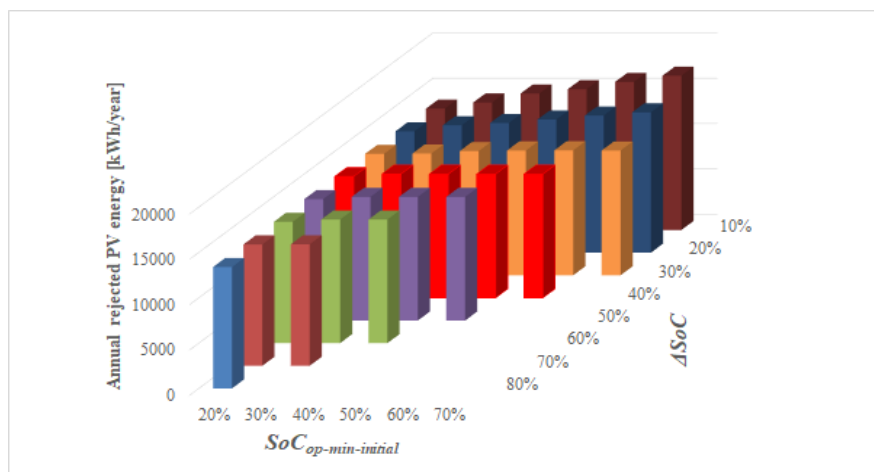
**Σχήμα 5.2:** Τελική απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτή σε τέλος ζωής για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



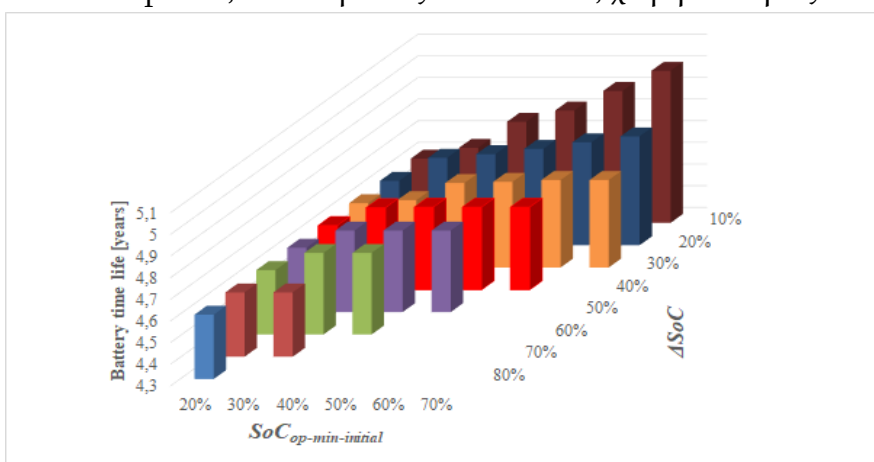
**Σχήμα 5.3:** Ετήσια κατανάλωση καυσίμου για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



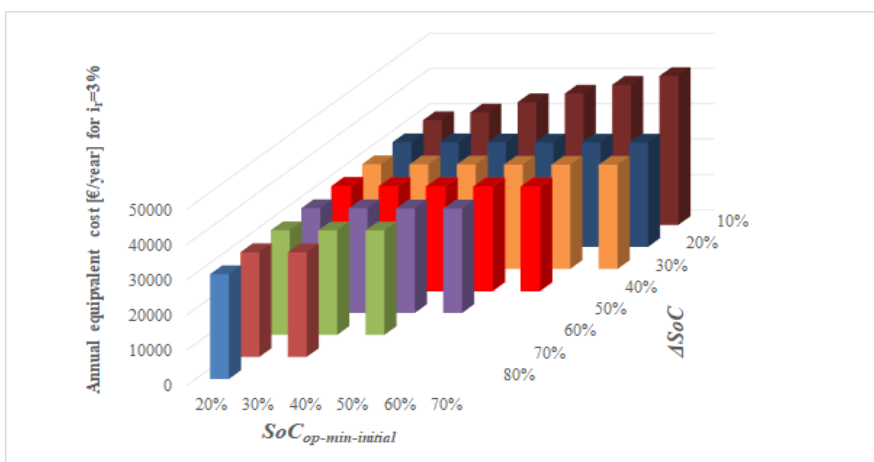
**Σχήμα 5.4:** Ετήσια διάρκεια λειτουργίας των γεννητριών για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



**Σχήμα 5.5:** Ετήσια πρόσθετη ενέργεια περιόδου που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελα για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



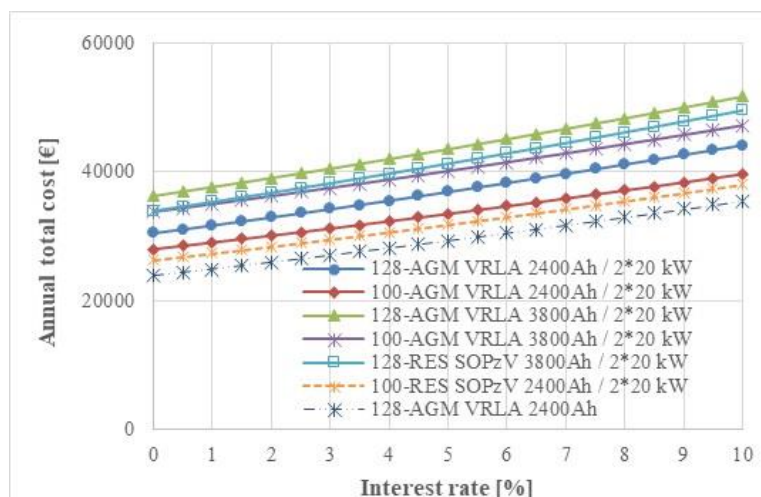
**Σχήμα 5.6:** Διάρκεια ζωής συσσωρευτή για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



**Σχήμα 5.7:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης με αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3% για υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW, 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτές RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah.



Η συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζεται ως τα 86 l/έτος και οι συνολικές ώρες λειτουργίας γεννητριών ανέρχονται ως τις 21,5 ώρες/έτος. Η μέση πρόσθετη ημερήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πανέλα είναι αρκετά υψηλότερη σε όλες τις περιπτώσεις έναντι των αντίστοιχων τιμών του πίνακα 4.5. Τέλος το ισοδύναμο ετήσιο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης λαμβάνει αρκετά υψηλότερες τιμές σε όλες τις περιπτώσεις έναντι των αντίστοιχων συστημάτων του πίνακα 4.5, όπως άλλωστε φαίνεται στο σχήμα 5.8, όπου καταγράφεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος της επένδυσης για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) σύμφωνα με τις σχέσεις (5.47) και (5.48). Ωστόσο αξιοσημείωτο είναι ότι μεταβάλλεται το βέλτιστο οικονομικά σύστημα, καθώς λόγω της σημαντικής αύξησης του χρόνου ασφαλούς λειτουργίας πλεονεκτεί το σύστημα με 100 φωτοβολταϊκά πανέλα Sxp154L, συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah έναντι του συστήματος των 128 πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah που θα αναμενόταν από τα συστήματα του πίνακα 4.5.



**Σχήμα 5.8:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών, συσσωρευτών και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW για έξι διαφορετικά σενάρια ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Όμως όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8 το υβριδικό σύστημα με 100 φωτοβολταϊκά πανέλα Sxp154L, συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 2400 Ah, παρά την ανωτερότητά του έναντι των άλλων πέντε βασικών συστημάτων ( $\alpha/\alpha=1$  ως 6 του πίνακα 5.2) παραμένει ακριβότερο κατά 2.500 € ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος έναντι του βέλτιστου αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος των 128 φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah ( $\alpha/\alpha=3$  του πίνακα 4.5) λόγω της γενικότερης υπερ-διαστασιολόγησης της εγκατάστασης.

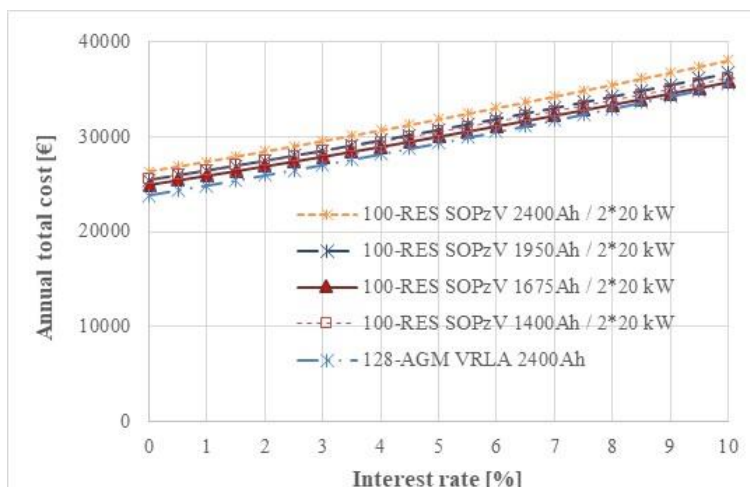
Εξαιτίας τούτου μελετώνται υβριδικά συστήματα που προκύπτουν από τον πίνακα 5.2 αρχικά με μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή RES SOPzV (σε 1950, 1675 και 1400 Ah) χρησιμοποιώντας 100 φωτοβολταϊκά πλαίσια ( $\alpha/\alpha=7, 8, 9$  του πίνακα 5.2). Σ' αυτήν την περίπτωση διαπιστώνεται ότι υπάρχει μία μικρή βελτίωση του ισοδύναμου ετήσιου κόστους λόγω σημαντικής μείωσης κτήσης του συσσωρευτή εις βάρος μίας μικρής

μείωσης του χρόνου ζωής του συσσωρευτή, αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου λειτουργίας των γεννητριών, χωρίς όμως να απομειώνει την αντίστοιχη δεκαετή διάρκεια ζωής των γεννητριών ως τη χωρητικότητα συσσωρευτή 1675 Ah. Ειδικά για το ετήσιο ισοδύναμο κόστος της επένδυσης για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) σύμφωνα με τις σχέσεις (5.47) και (5.48), όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.9, ο συσσωρευτής των 1675 Ah πλεονεκτεί έναντι των άλλων εξεταζόμενων υβριδικών συστημάτων. Αντίθετα οι συσσωρευτές χωρητικότητας 1400 ή 1950 Ah παρουσιάζουν χειρότερα αποτελέσματα από το συσσωρευτή χωρητικότητας 1675 Ah, αλλά καλύτερα από το συσσωρευτή χωρητικότητας 2400 Ah. Πρόσθετα ο συσσωρευτής χωρητικότητας 1950 Ah πλεονεκτεί ως επιτόκια 1,5% έναντι του συσσωρευτή χωρητικότητας 1675 Ah, ενώ για μεγαλύτερα επιτόκια αντιστρέφονται οι ρόλοι τους. Σε κάθε περίπτωση όμως το βέλτιστο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah ( $\alpha/\alpha=3$  του πίνακα 4.5) παραμένει καλύτερο με τη διαφορά όμως από το βέλτιστο υβριδικό να μειώνεται και να περιορίζεται στα 200 € για πολύ μεγάλα επιτόκια.

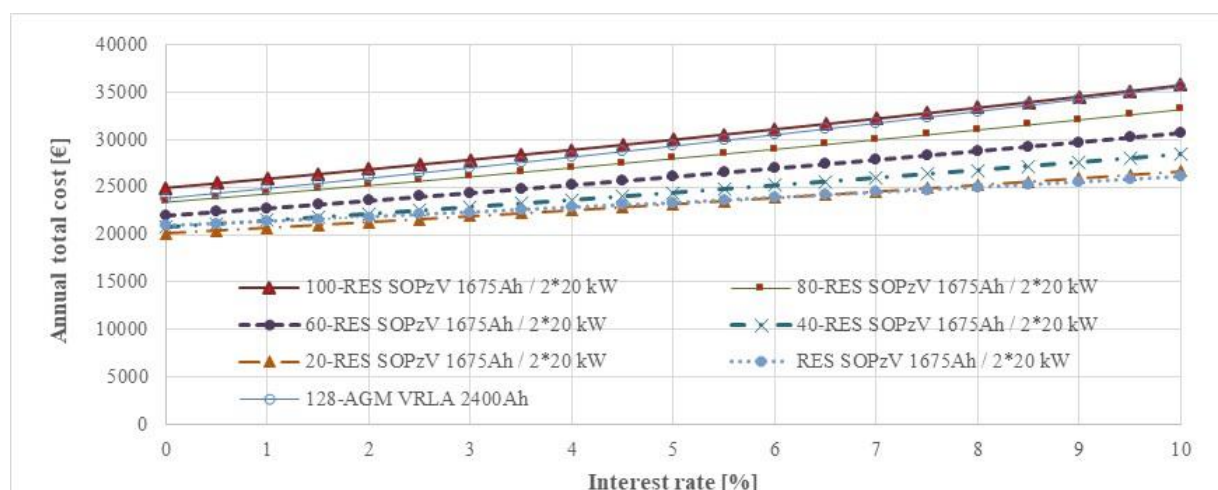
Λόγω της μικρής βελτίωσης του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατά τη μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή μελετώνται υβριδικά συστήματα που προκύπτουν από τον πίνακα 5.2 με σταθεροποίηση της χωρητικότητας του συσσωρευτή RES SOPzV στα 1675 Ah και μείωση του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων από τα 100 στα 0 ( $\alpha/\alpha=9$  ως 14 του πίνακα 5.2). Σ' αυτήν την περίπτωση διαπιστώνεται ότι υπάρχει μία σημαντική βελτίωση του ισοδύναμου ετήσιου κόστους λόγω σημαντικής μείωσης κτήσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων εις βάρος μίας μικρής μείωσης του χρόνου ζωής του συσσωρευτή, σημαντικής αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου λειτουργίας των γεννητριών, χωρίς όμως να απομειώνει την αντίστοιχη δεκαετή διάρκεια ζωής των γεννητριών. Από την αντίστοιχη σύγκριση διαπιστώνεται ότι η χρήση πλήθους πλαισίων από 80 και κάτω οδηγεί σε λύσεις με μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης έναντι του προτεινόμενου αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah ( $\alpha/\alpha=3$  του πίνακα 4.5), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.10 για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) σύμφωνα με τις σχέσεις (5.47) και (5.48). Το βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος με 20 φωτοβολταϊκά πανέλα Sxp154L, συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW ως το επιτόκιο του 6,5% και για μεγαλύτερες τιμές επιτοκίου το υβριδικό σύστημα με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, χωρίς φωτοβολταϊκά πλαίσια !

Αν η μεταβολή του κόστους των συσσωρευτών είναι μέσα σε περιορισμένα όρια  $\pm 25\%$ , τότε παρατηρείται η αντίστοιχη μετακίνηση των καμπύλων για το ίδιο πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η τελική επιλογή στην παρούσα περίπτωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.11. Μόνο σε σύγκριση με το σενάριο του αυτόνομου συστήματος με μείωση κόστους  $-25\%$  θα υπήρχε αλλαγή επιλογής για επιτόκια μικρότερα ή ίσα του 4% για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος των 80 πλαισίων. Τα υβριδικά συστήματα με αριθμό πλαισίων μικρότερα ή ίσα του 60

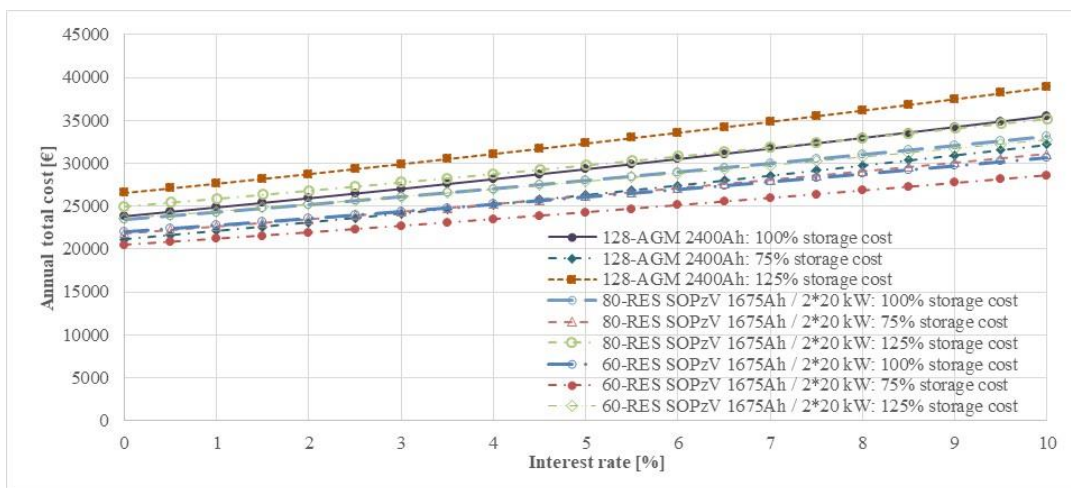
παραμένουν οικονομικότερες λύσεις με βάση το κριτήριο του ισοδύναμου ετήσιου κόστους.



**Σχήμα 5.9:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα 100 φωτοβολταϊκών πλαϊσίων Sxp154L, συσσωρευτών RES SOPzV μεταβλητής χωρητικότητας ( $\alpha/\alpha = 6$  ως 9 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληρωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαϊσίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah.



**Σχήμα 5.10:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαϊσίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 ( $\alpha/\alpha = 9$  ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληρωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαϊσίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah.



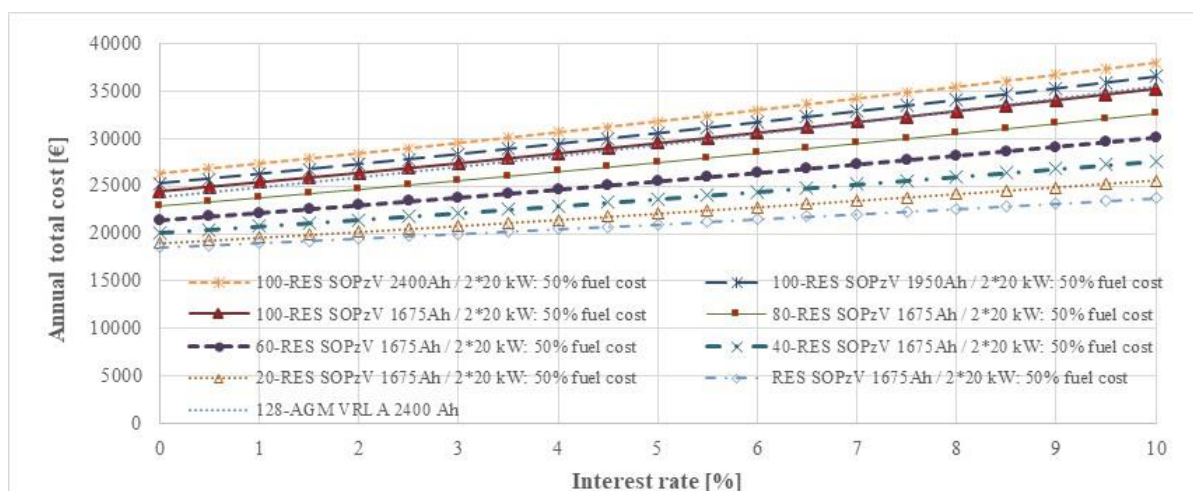
**Σχήμα 5.11:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών για τις περιπτώσεις των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,8 έτη, με υβριδικό σύστημα 80 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L με συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,69 έτη, με υβριδικό σύστημα 60 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L με συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,66 έτη και με μεταβολή κόστους  $\pm 25\%$  ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

Ωστόσο τα υβριδικά συστήματα παρουσιάζουν ευαισθησία στη μεταβολή του κόστους καυσίμου. Συγκεκριμένα διερευνάται ενδεχόμενη μεταβολή του κόστους καυσίμου από έκπτωση κατά 50% ως διπλασιασμό του κόστους του, οπότε προκύπτουν αντίστοιχα τα ισοδύναμα ετήσια κόστη των υβριδικών συστημάτων συσσωρευτή RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων 100 στα 0 με βήμα 20 ( $\alpha/\alpha=9$  ως 14 του πίνακα 5.2) για διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια  $i$  (από 0% ως 10% με βήμα 0,5%) σύμφωνα με τις σχέσεις (5.47) και (5.48) στα σχήματα 5.12 (μείωση κατά 50%) και 5.13 (αύξηση κατά 200%). Στην περίπτωση της μείωσης του κόστους καυσίμου κατά 50% η χρήση πλήθους πλαισίων από 80 και κάτω οδηγεί σε λύσεις με μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης έναντι του προτεινόμενου αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah για κάθε επιτόκιο, ενώ η χρήση πλήθους 100 πλαισίων οδηγεί σε λύσεις με μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος για επιτόκιο από το 7%. Επίσης το βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, χωρίς φωτοβολταϊκά πλαίσια για όλα τα επιτόκια!

Αντίθετα στην περίπτωση της αύξησης του κόστους καυσίμου κατά 100% (σχήμα 5.13) το υβριδικό σύστημα με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, χωρίς φωτοβολταϊκά πλαίσια παρουσιάζει μεγαλύτερα ισοδύναμα ετήσια κόστη έναντι του προτεινόμενου αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος των 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA

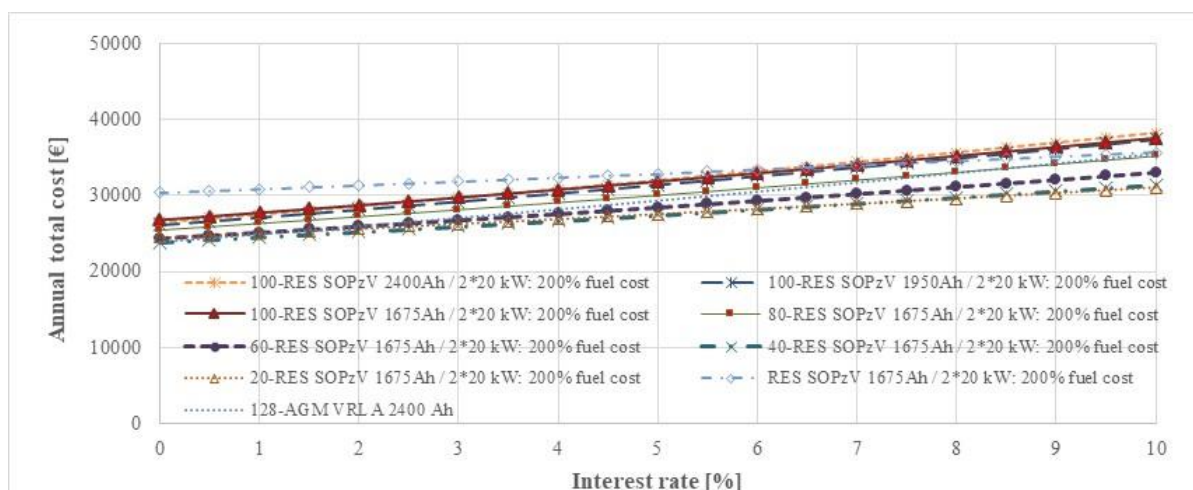
Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah για κάθε επιτόκιο. Ωστόσο η λύση υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, με 40 φωτοβολταϊκά πλαίσια παρουσιάζει μικρότερα ισοδύναμα ετήσια κόστη έναντι του προτεινόμενου αυτόνομου συστήματος για όλα τα επιτόκια, ενώ στην περίπτωση των 20 φωτοβολταϊκών πλαισίων για επιτόκια άνω του 1,5%, στην περίπτωση των 60 πλαισίων για επιτόκια άνω του 2,5% και στην περίπτωση των 80 πλαισίων για επιτόκια άνω του 8,5%.

Μεταξύ των υβριδικών συστημάτων πλεονεκτεί η λύση με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, με 40 φωτοβολταϊκά πλαίσια ως επιτόκια 6%, ενώ για μεγαλύτερα η λύση με 20 φωτοβολταϊκά πλαίσια.



**Σχήμα 5.12:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 (α/α =9 ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 50% του αρχικού κόστους.

Θεωρητικά αναμενόμενο είναι οι τιμές καυσίμου να διατηρηθούν ίδιες ή να αυξηθούν λαμβάνοντας υπόψη και τις ρήτρες ρύπων κτλ. Σ' αυτήν την περίπτωση φαίνεται να πλεονεκτεί οικονομικά η λύση υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, με 20 φωτοβολταϊκά πλαίσια για εύλογα επιτόκια του 2% με 5% και για ένα εύρος τιμών καυσίμου από 50% ως 200% της αρχικής του τιμής. Αν γίνει η σύγκριση του υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 20 kW έναντι του υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, τέσσερις ντιζελογεννήτριες 12 kW διαπιστώνεται ότι η πρώτη περίπτωση έχει μικρότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, ενώ η δεύτερη περίπτωση μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και κόστος λειτουργίας, καταλήγοντας όμως να είναι συνολικά φθηνότερη η πρώτη περίπτωση για κάθε εξεταζόμενο αποπληθωρισμένο επιτόκιο και για κόστος καυσίμου ως 200% του αρχικού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.14



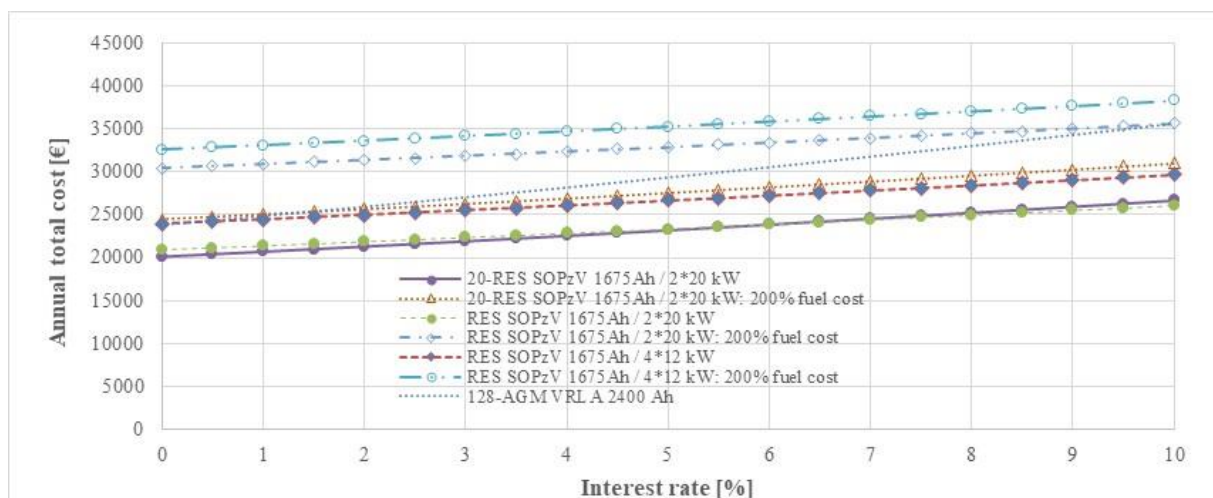
**Σχήμα 5.13:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, μεταβλητού πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L από 100 σε 0 με βήμα 20 ( $\alpha/\alpha=8, 10$  ως 14 του πίνακα 5.2) και 2 ντιζελογεννητριών των 20 kW ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 200% του αρχικού κόστους.

Αν γίνει η σύγκριση του υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 20 kW έναντι του υβριδικού συστήματος με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, τέσσερις ντιζελογεννήτριες 12 kW διαπιστώνεται ότι η πρώτη περίπτωση έχει μικρότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, ενώ η δεύτερη περίπτωση μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και κόστος λειτουργίας, καταλήγοντας όμως να είναι συνολικά φθηνότερη η πρώτη περίπτωση για κάθε εξεταζόμενο αποπληθωρισμένο επιτόκιο και για κόστος καυσίμου ως 200% του αρχικού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.14. Οπότε ξανά το υβριδικό σύστημα με συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ντιζελογεννήτριες 20 kW, 20 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων εξεταζόμενων λύσεων.

Από τη σύγκριση με την εναλλακτική λύση υποβρύχιας διασύνδεσης με την Αίγινα η εφαρμογή του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια, ντιζελογεννήτριες και συσσωρευτές πλεονεκτεί για κάθε επιτόκιο, ακόμη και σε περίπτωση αύξησης του κόστους συσσωρευτών κατά 25%. Από τη σύγκριση με την εναλλακτική λύση της τοποθέτησης 4 ντιζελογεννητριών 12 kW προκύπτει ότι το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα πλεονεκτεί για όλα επιτόκια για το αρχικό κόστος καυσίμου ως και διπλασιασμό του, ενώ συνεχίζει να πλεονεκτεί ακόμη και σε περίπτωση έκπτωσης καυσίμου κατά 50% για επιτόκια άνω του 2,5%, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.15.

Πρόσθετα από τα αποτελέσματα του πίνακα 5.2 η μείωση του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων ( $\alpha/\alpha=8, 10$  ως 14 του πίνακα 5.2) επιφέρει σε όλες τις περιπτώσεις μείωση της απορριπτόμενης / μη εκμεταλλεζόμενης ενέργειας από τη μεριά των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στην περίπτωση μεταβολής της χωρητικότητας του

συσσωρευτή ( $\alpha/\alpha=6$  ως 9 του πίνακα 5.2) δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή του αντίστοιχου μεγέθους (στα  $37,50 \pm 0,50$  kWh/μέρα). Επίσης αξιοσημείωτο αποτέλεσμα είναι η απομένουσα χωρητικότητα σε τέλος διάρκειας ζωής συσσωρευτή ανέρχεται σε 36,75% έναντι του τυπικού 80% [Ξ60].

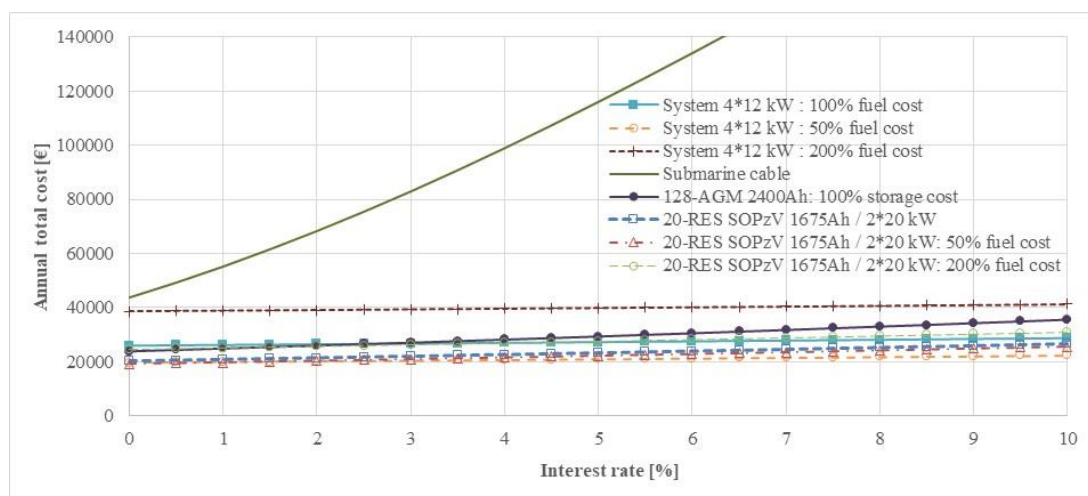


**Σχήμα 5.14 :** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, 20 ή 0 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L και 2 ντιζελο-γεννητριών των 20 kW, για υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah, 0 πλαισίων και 4 ντιζελογεννητριών των 12 kW, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, με σύγκριση με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα 128 πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με κόστος καυσίμου 100% και 200% του αρχικού κόστους.

Από πλευράς αξιοπιστίας η χρήση σταθμού δύο ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 20 kW με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 2% (κατά το [Ξ56] περιορίζεται σε 1.12%) και δύο συσσωρευτών 838 Ah με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 0,5% είναι ανώτερη τόσο από τη χρήση σταθμού τεσσάρων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 12 kW με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 2% (κατά το [Ξ56] περιορίζεται σε 1.12%), όσο και από τη χρήση ενός υποβρυχίου καλωδίου με ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών 0,01% (1 h ανά έτος λόγω τροφοδοσίας του από δίκτυο μέσης τάσης νήσου Αίγινας) και ενός εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους με ορθή συντήρηση και τυπικό ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της τάξης μικρότερο του 1%.

Συνεπώς τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και από πλευράς αξιοπιστίας η διαμόρφωση ενός υβριδικού συστήματος με 20 φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154L, συσσωρευτή RES SOPzV, χωρητικότητας 1675 Ah, δύο ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη / ντιζελογεννήτριες 20 kW, πλεονεκτεί έναντι της υποβρυχίας διασύνδεσης, του κλασικού σταθμού με ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, του αυτόνομου σταθμού με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές. Ωστόσο σε κάθε περίπτωση θέλει προσεκτική

διαστασιολόγηση λόγω της ευαισθησίας του στο κόστος καυσίμου, πέρα των υπολοίπων κοστών εγκατάστασης.



**Σχήμα 5.15:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου με αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, για αυτόνομο σύστημα 128 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q με συσσωρευτή AGM VRLA Narada 108 V χωρητικότητας 2400 Ah με χρόνο αντικατάστασης στα 3,6 έτη, υβριδικό αυτόνομο σύστημα συσσωρευτών RES SOPzV χωρητικότητας 1675 Ah με χρόνο αντικατάστασης 4,5 έτη, 20 φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154L και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με χρόνο αντικατάστασης 10 έτη, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο και με διάφορα κόσθη καυσίμου.

#### 5.4. Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Ναυπηγικής Χρήσης και Συσσωρευτές Επιλογής Α.Δ.Μ.Η.Ε. μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

**5.4.1. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA**  
Από τα τέσσερα εξετασμένα σενάρια του πίνακα 5.2 ως προς τα υβριδικά συστήματα και από το σύνολο των εξετασμένων σεναρίων των παραγράφων 4.5.1 προκύπτει ότι η χρήση του συσσωρευτή τύπου AGM VRLA (της εταιρείας Narada) για τα ίδια επίπεδα χωρητικότητας υστερεί οικονομικά έναντι του τύπου GEL VRLA / RES SOPzV (της εταιρείας Sunlight) για τα ίδια επίπεδα τεχνικής συμπεριφοράς, οπότε δε θα εξεταστεί περαιτέρω.

**5.4.2. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA**  
Στην παρούσα περίπτωση θα πραγματοποιηθεί η διερεύνηση του πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων τύπου Sxp154Q / Sxp154L της Solbian από 0 ως 160 με βήμα 20 τεμαχίων και του μεγέθους της χωρητικότητας συσσωρευτή GEL VRLA / RES SOPzV (της εταιρείας Sunlight) με βάση τον πίνακα 4.14 για 20 διαφορετικές περιπτώσεις, δηλαδή εξετάζοντας 180 συνδυασμούς. Με βάση τη μελέτη της παράγραφου 5.3 το σύστημα των ντιζελογεννητριών που έχουν επιλεγεί είναι 2 των 20 kW (και όχι 4 των 12



kW). Πρόσθετα υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις που αφορούν την επιλογή των αναστροφών της εταιρείας SMA, καθώς στην παρούσα παράγραφο χρησιμοποιούνται οι βέλτιστες επιλογές με βάση τον αλγόριθμο της παραγράφου 4.6 για αυξημένη αξιοπιστία (τουλάχιστον 2 αναστροφείς καταλήγοντας στα στοιχεία του πίνακα 5.3). Ομοίως διαμορφώνεται και το κόστος της επέκτασης της τάρταςας, ενώ η διάρκεια ζωής των αναστροφών παραμένει η αρχική παραδοχή της παραγράφου 5.3.

**Πίνακας 5.3:** Στοιχεία διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας με φωτοβολταϊκά πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L για τη διαμόρφωση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με προδιαγραφές Α.Δ.Μ.Η.Ε. για ανάλυση ευαισθησίας παραγράφου 5.4.2.

α/α	Τεμάχια φ/β πλαισίων	Ισχύς φ/β μονάδας [kW]	Είδος αναστροφέα εταιρείας SMA	Πλήθος αναστροφών	Κόστος ανά αναστροφέα [€]	$dL_x$ [m]	$dL_y$ [m]	Πρόσθετο κόστος τάρταςας [€]
1	0	0	-	-	-	0,0	0,0	0,0
2	20	3,08	Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40	2	1399	0,0	0,0	0,0
3	40	6,16	Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40	2	1399	0,0	0,0	0,0
4	60	9,24	Sunny Tripower 6.0-STP6.0AV40	2	1647	0,0	0,0	0,0
5	80	12,32	Sunny Tripower 6.0-STP6.0AV40	2	1647	0,7	0,0	171
6	100	15,40	Sunny Tripower 10.0-STP10.0AV40	2	2192	2,0	0,5	5141,25
7	120	18,48	Sunny Tripower 10.0-STP10.0AV40	2	2192	2,0	1,8	9616,50
8	140	21,56	Sunny Tripower 15000 TL	2	3057	3,8	2,4	17541,0
9	160	24,64	Sunny Tripower 15000 TL	2	3057	3,5	4,0	24705,0

Ως προς τους συσσωρευτές ισχύουν τα οικονομικά στοιχεία του πίνακα 4.14, ενώ σε κάθε περίπτωση τοποθετούνται 2 ή 4 φορτιστές συσσωρευτών της GSA industries (με τριφασική είσοδο 380÷415 V, 50±1 Hz, έξοδο 110 V dc με κατάλληλο ρεύμα φόρτισης) μαζί με διπλό σύστημα αυτόματου ελέγχου ειδικής διαμόρφωσης (θέση master-slave για λόγους εφεδρείας) με χρόνο απόσβεσης 20 έτη [Ξ56, Ξ68, Ξ69] συνολικού κόστους για:

- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 290Ah: 3500 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 436÷558 Ah: 5500 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 838÷1116 Ah: 10500 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 1396÷1676 Ah: 15000 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 1954÷2676 Ah: 18000 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 2931÷4014 Ah: 22000 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 4464÷5352 Ah: 36000 €
- Μονάδα συσσωρευτών 110 V - 5855÷6690 Ah: 44000 €

Για κάθε είδους συνδυασμό αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πλαίσια - συσσωρευτή και ντιζελομηχανές μελετώνται οι 33 επιτρεπτοί και πιθανοί συνδυασμοί λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  (αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή από 20% ως 70% με βήμα 10%) και  $\Delta SoC$  (το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή από 10% ως 80% με βήμα 10%), μέσω των οποίων καθορίζεται ο ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min}$  του οποίου η τιμή διαρκώς μεταβάλλεται λόγω της μεταβολής του  $SoC_{max}$  (του τεχνικά μέγιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή) μέσω των σχέσεων (5.41) και (5.42), χωρίς να πέφτει ποτέ κάτω

από την ελάχιστη τιμή βαθμού φόρτισης  $SoC_{min}$  (με τιμή 20%), όπως καταγράφονται και στον πίνακα 5.1. Για κάθε εξεταζόμενο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξετάζονται τα ζεύγη λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  και  $\Delta SoC$ , από τα οποία επιλέγεται εκείνο με το μικρότερο δυνατό κόστος, το οποίο προκύπτει γενικά αδιάφορο του εφαρμοζόμενου αποπληθωρισμένου επιτοκίου της σχέσης (5.47).

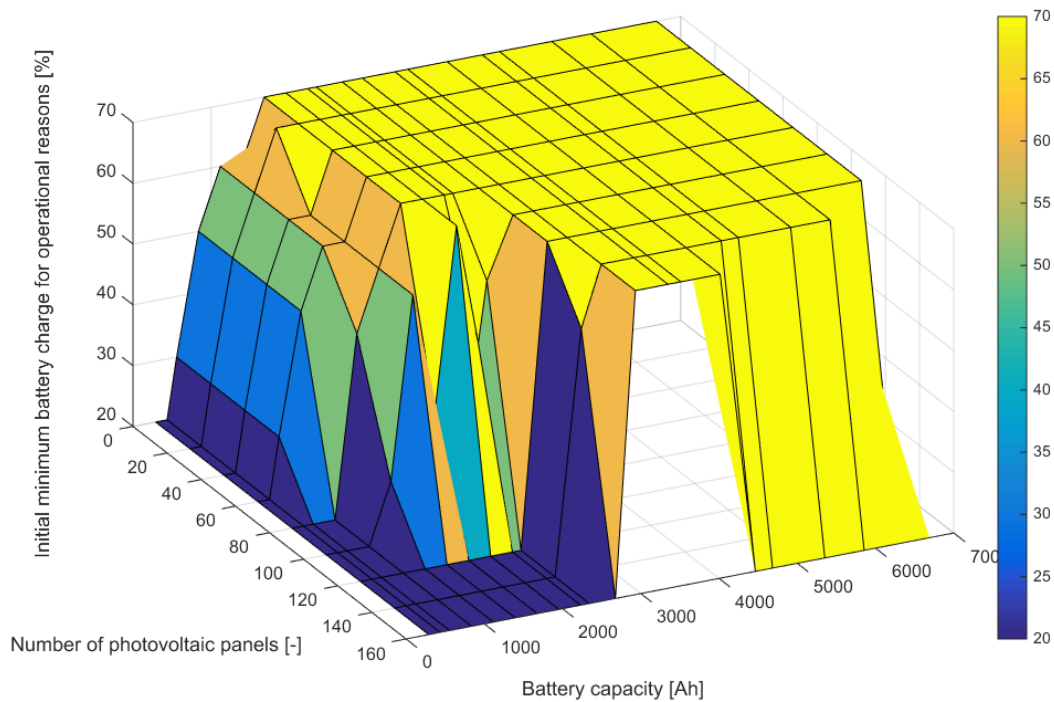
Ακολουθώντας από όλους τους συνδυασμούς διαμόρφωσης φωτοβολταϊκής μονάδας και χωρητικότητας συσσωρευτή επιλέγεται για το εκάστοτε αποπληθωρισμένο επιτόκιο εκείνος που έχει το μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος.

Ενδεικτικά καταγράφονται για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ντιζελομηχανές 2\*20 kW για διάφορα πλήθη φωτοβολταϊκών πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L, και διαφορετικές χωρητικότητες συσσωρευτή RES SOPzV οι αντίστοιχες τρισδιάστατες γραφικές παραστάσεις και πίνακες ως προς το πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων και χωρητικότητας συσσωρευτή:

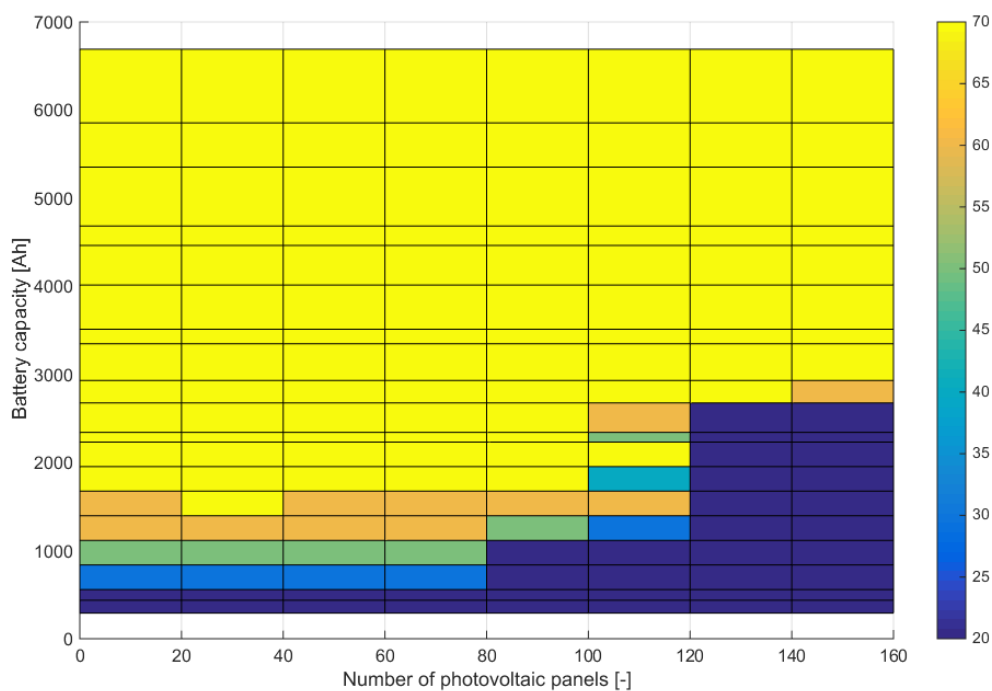
- ♦ του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  (σχήμα 5.16-πίνακας 5.4), ο οποίος λαμβάνει υψηλές τιμές της τάξης του 70% για το σύνολο των περιπτώσεων χωρητικότητας συσσωρευτών και φ/β πλαισίων, εκτός από τις περιπτώσεις συσσωρευτών μικρής χωρητικότητας (κάτω των 1116 Ah) και μεγάλου πλήθους φ/β πλαισίων (από 120 τεμάχια και άνω), όπου τείνει στη σχεδόν πλήρη εκφόρτιση του συσσωρευτή. Αυτό οφείλεται, διότι υπό αυτές τις συνθήκες γίνεται ο περιορισμός λειτουργίας των ντιζελογεννητριών.
- ♦ του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  (σχήμα 5.17-πίνακας 5.5), ο οποίος λαμβάνει μικρές τιμές της τάξης του 10% με 20% για το σύνολο των περιπτώσεων χωρητικότητας συσσωρευτών και φ/β πλαισίων, εκτός από τις περιπτώσεις συσσωρευτών μικρής χωρητικότητας (μεταξύ 558 και 1116 Ah) και μικρού πλήθους φ/β πλαισίων (από 60 και κάτω), όπου λαμβάνει υψηλότερες τιμές. Ουσιαστικά με αυτούς τους συνδυασμούς  $SoC_{op-min-initial}$  και  $\Delta SoC$  προκύπτουν μικρότερα ετήσια ισοδύναμα κόστη.
- ♦ της διάρκειας ζωής γεννητριών (σχήμα 5.18-πίνακας 5.6), όπου πρακτικά είναι ίση με 10 έτη, εκτός από την περιοχή συσσωρευτών πολύ μικρής χωρητικότητας (290 και 436 Ah) και από την περιοχή μηδενικού αριθμού τεμαχίων φ/β πλαισίων για συσσωρευτές χωρητικότητας ως 558 Ah.
- ♦ της διάρκειας ζωής συσσωρευτή (σχήμα 5.19-πίνακας 5.7), όπου πρακτικά κυμαίνεται από 4 ως 5 έτη, με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται για μηδενικό αριθμό φ/β πλαισίων, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται για συσσωρευτές πολύ μικρής χωρητικότητας (των 436 Ah και κάτω), καθώς λειτουργούν οι ντιζελογεννήτριες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καλύπτοντας ουσιαστικά το φορτίο ζήτησης. Σε κάθε περίπτωση η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή αυξάνεται ελαφρώς όταν μειώνεται το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και αυξάνεται ο αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$ , τα οποία με αυτόν τον τρόπο έμμεσα επηρεάζουν το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής του υβριδικού συστήματος μέσω της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή.

- ◆ της τελικής απομένουσας χωρητικότητας συσσωρευτή στο τέλος ζωής του (σχήμα 5.20-πίνακας 5.8), από την οποία φαίνεται ότι πρακτικά στην προκειμένη περίπτωση είναι σταθεροποιημένη στο 36,75% της ονομαστικής της χωρητικότητας.
- ◆ της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (σχήμα 5.21-πίνακας 5.9), η οποία λαμβάνει μεγάλες τιμές όσο μικρότερο είναι το πλήθος των φ/β πλαισίων, ενώ μικρότερη επίδραση έχει η χωρητικότητα του συσσωρευτή, η οποία με την αύξησή της περιορίζει την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου. Επίσης συνδυάζεται με τον τρόπο λειτουργίας του συσσωρευτή, καθώς για μικρές τιμές του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  η ετήσια κατανάλωση λαμβάνει υψηλές τιμές όσο μεγαλώνει ο αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{Op-min-initial}$ .
- ◆ των ετήσιων ωρών λειτουργίας γεννητριών (σχήμα 5.22-πίνακας 5.10), οι οποίες παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά με την ετήσια κατανάλωση καυσίμου (σχήμα 5.21). Άξιο μνείας είναι ότι για την περιοχή χωρητικότητας συσσωρευτή 2676 Ah και άνω και πλήθους φ/β πλαισίων 100 και άνω ο χρόνος λειτουργίας των ντιζελογεννητριών περιορίζεται κάτω από τις 12 ώρες ετησίως, δηλαδή είναι μικρότερος από τον ελάχιστο χρόνο λειτουργίας των ντιζελογεννητριών για λόγους συντήρησης.
- ◆ της ετήσιας πρόσθετης ενέργειας περιόδου που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (σχήμα 5.23-πίνακας 5.11), όπου αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων, μειώνεται αρχικά απότομα με την αύξηση της χωρητικότητας του συσσωρευτή ως ότου φτάσει στην περιοχή των 1396 με 1954 Ah όπου τείνει στην ελάχιστη τιμή της. Από εκεί και πέρα μικρές διακυμάνσεις εμφανίζονται, καθώς αυξάνεται λίγο κατά τη μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και κατά την αύξηση του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{Op-min-initial}$ . Σε κάθε περίπτωση η κρίσιμη παράμετρος είναι το πλήθος των φ/β πλαισίων και ακολούθως το μέγεθος του συσσωρευτή και ο τρόπος λειτουργίας.
- ◆ του ισοδύναμου ετήσιου κόστους κατασκευής, λειτουργίας – συντήρησης για αποληθωρισμένο επιτόκιο 0%, 3% και 10% αντίστοιχα (σχήματα 5.24 ως 5.26 - πίνακας 5.12 ως 5.14), όπου σε όλες τις περιπτώσεις η βέλτιστη τιμή εντοπίζεται στην περιοχή πλήθους 20 φωτοβολταϊκών πλαισίων και χωρητικότητας συσσωρευτή 1676 Ah. Επιπλέον κατά τη μετάβαση σε υψηλότερο επιτόκιο παρατηρείται μέσω των σχετικών χρωμάτων των γραφικών παραστάσεων μία μικρή μετατόπιση προς μικρότερο αριθμό φ/β πλαισίων και ελάχιστα προς μικρότερη χωρητικότητα συσσωρευτή. Η αλληλεπίδρασή του με τον τρόπο λειτουργίας είναι περίπλοκη, διότι το ετήσιο κόστος λειτουργίας αυξάνεται με τη μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και με την αύξηση του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{Op-min-initial}$ , το οποίο όμως οδηγεί σε αύξηση της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή και μειώνοντας το αντίστοιχο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης. Γι' αυτό το λόγο πρέπει σε κάθε περίπτωση να ελέγχονται τα ζεύγη ( $\Delta SoC$ ,  $SoC_{Op-min-initial}$ ).

Στην παρούσα περίπτωση οι ανωτέρω καμπύλες παραμένουν ανεξάρτητες του αποπληθωρισμένου επιτοκίου, εκτός από τις αντίστοιχες ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης.

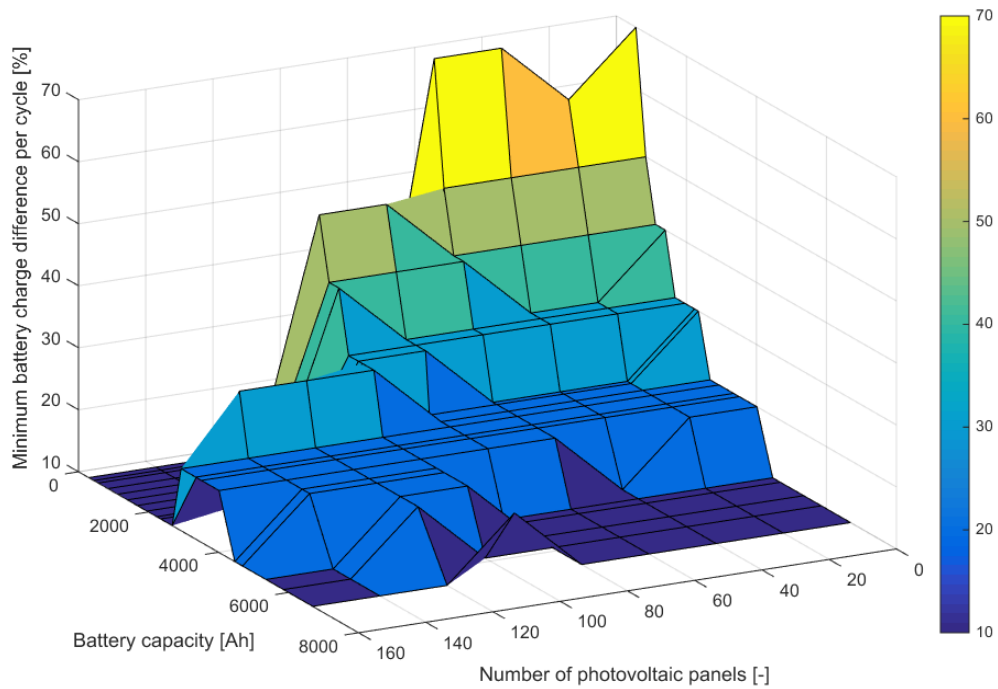


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

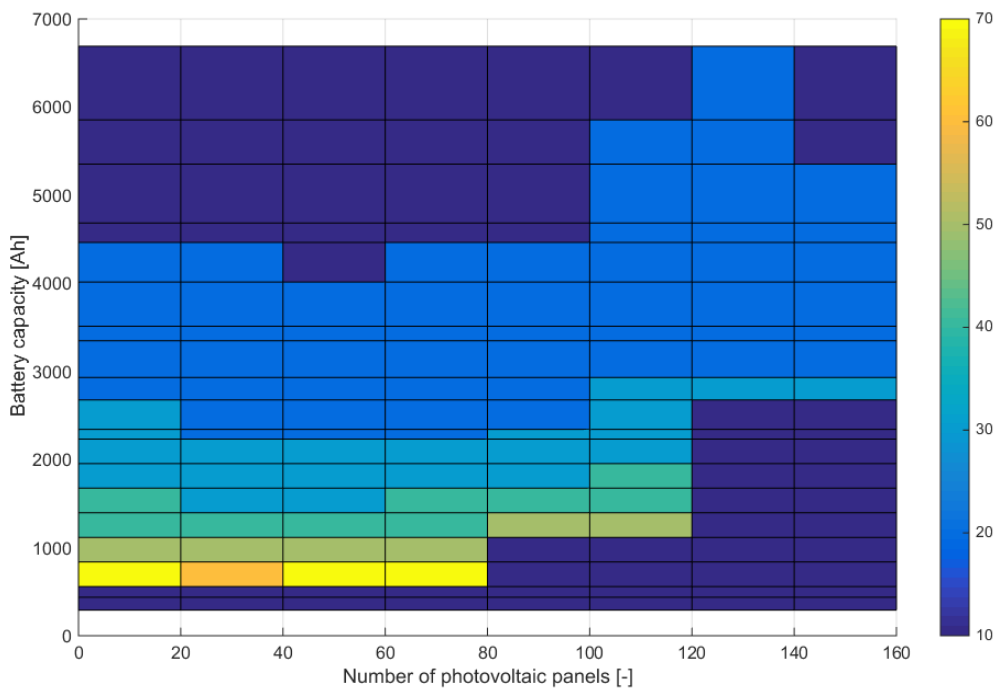


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.16 (α,β):** Αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών  $2*20$  kW, φωτοβολταϊκών πλαϊσίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

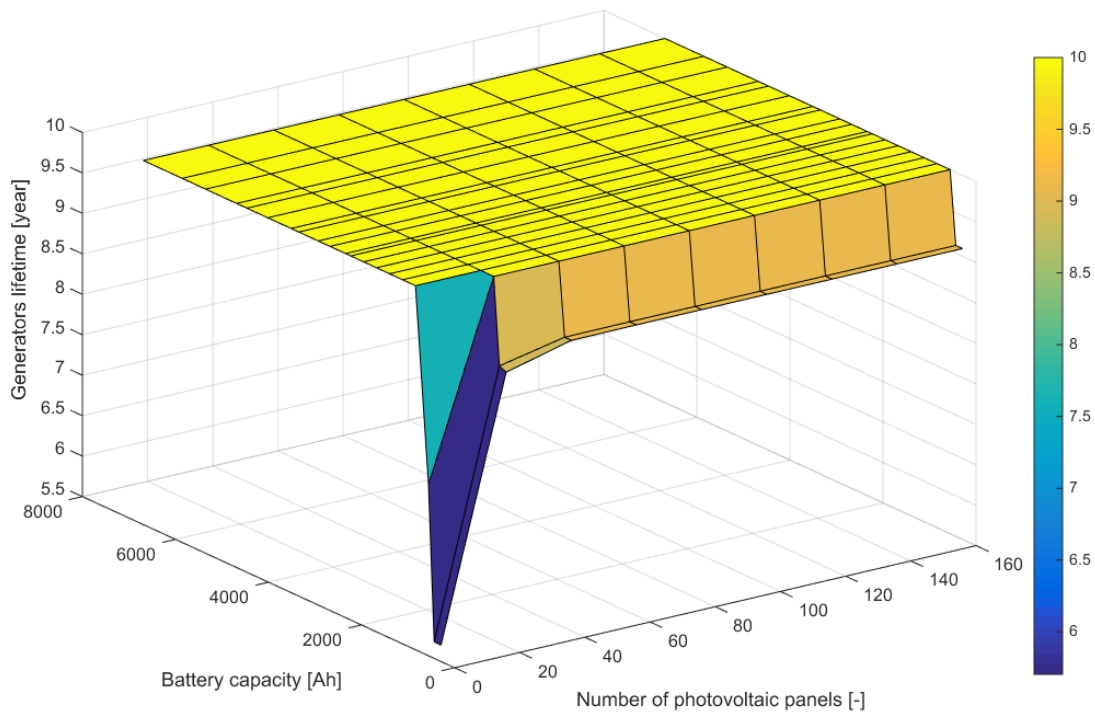


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

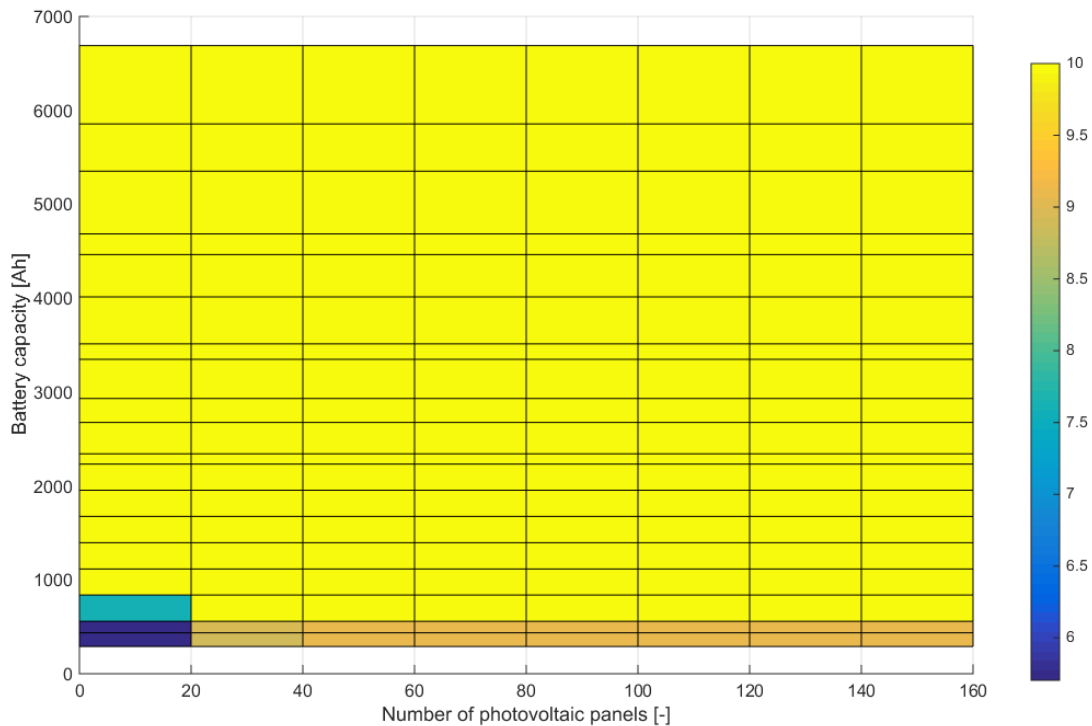


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.17 (α,β):** Ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

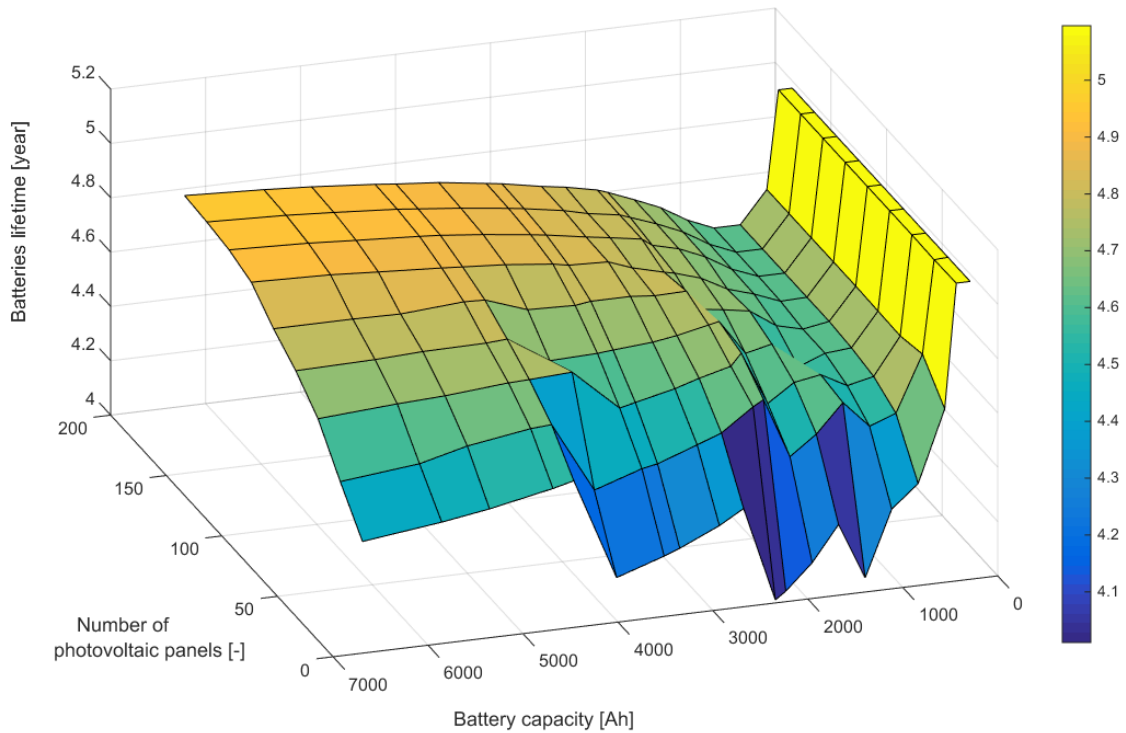


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

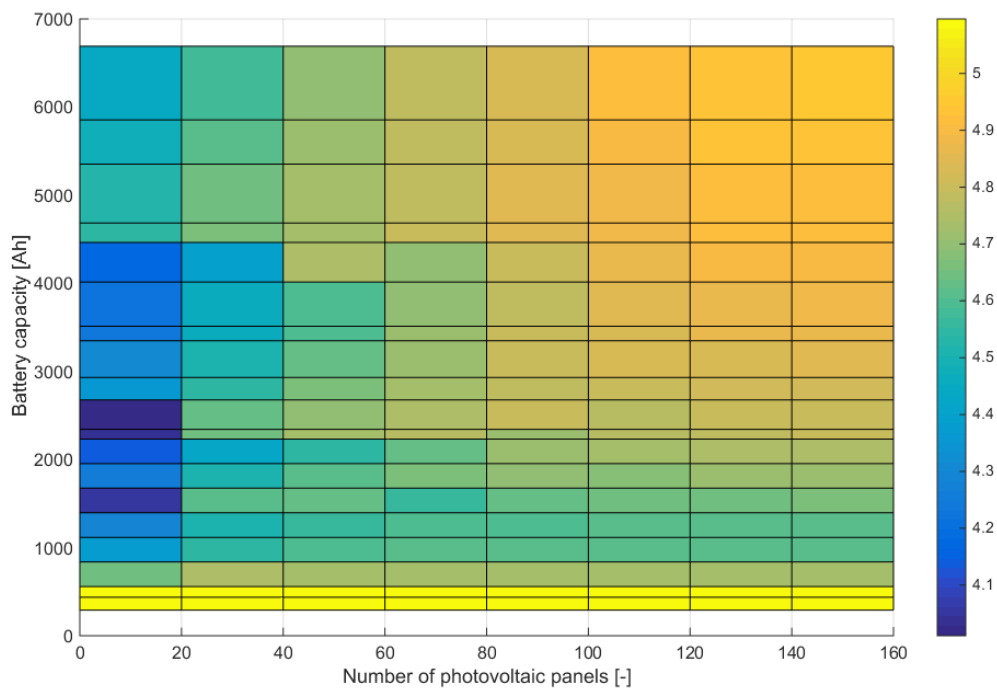


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.18 (α,β):** Διάρκεια ζωής γεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

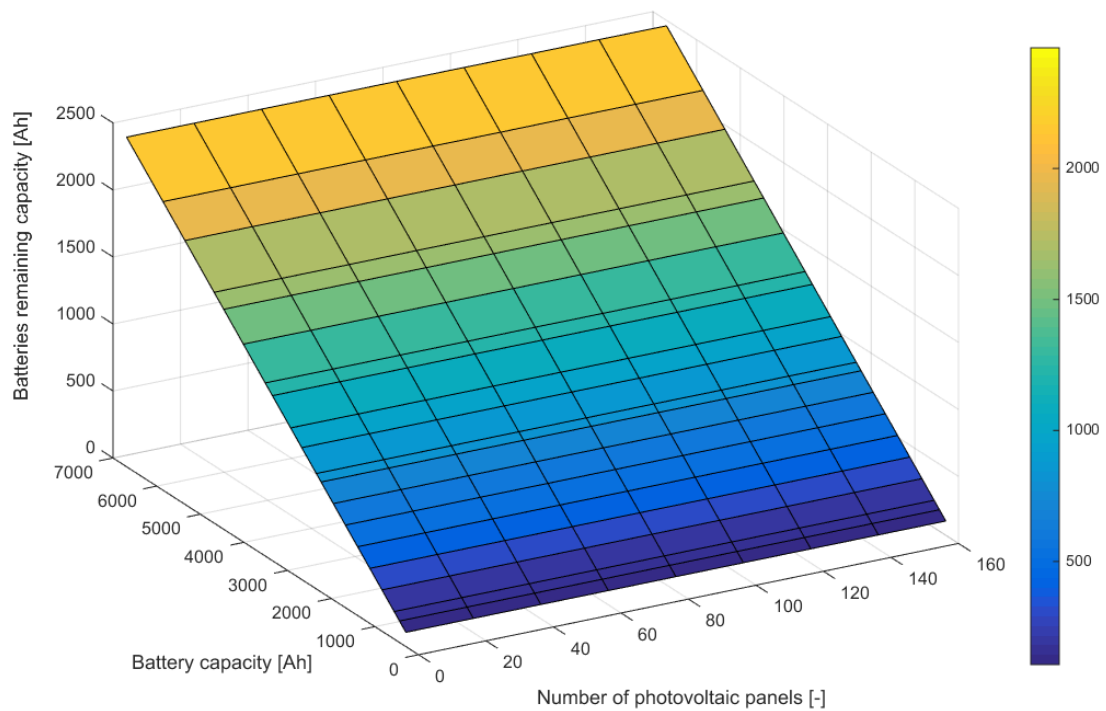


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

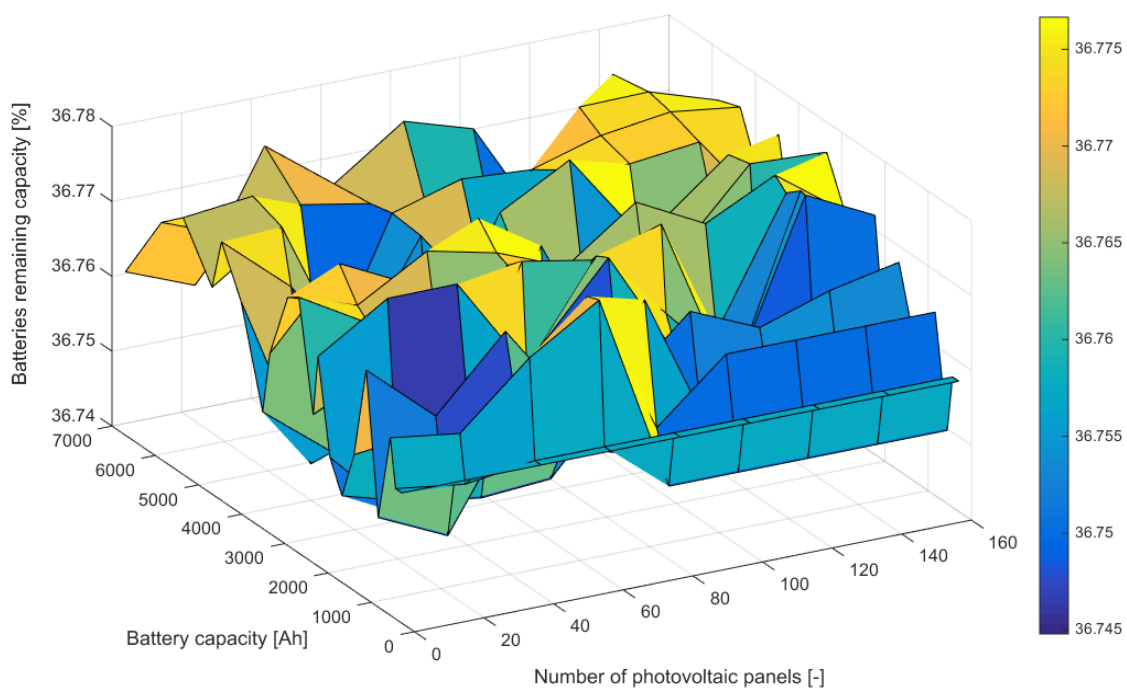


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.19 (α,β):** Διάρκεια ζωής συσσωρευτών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.



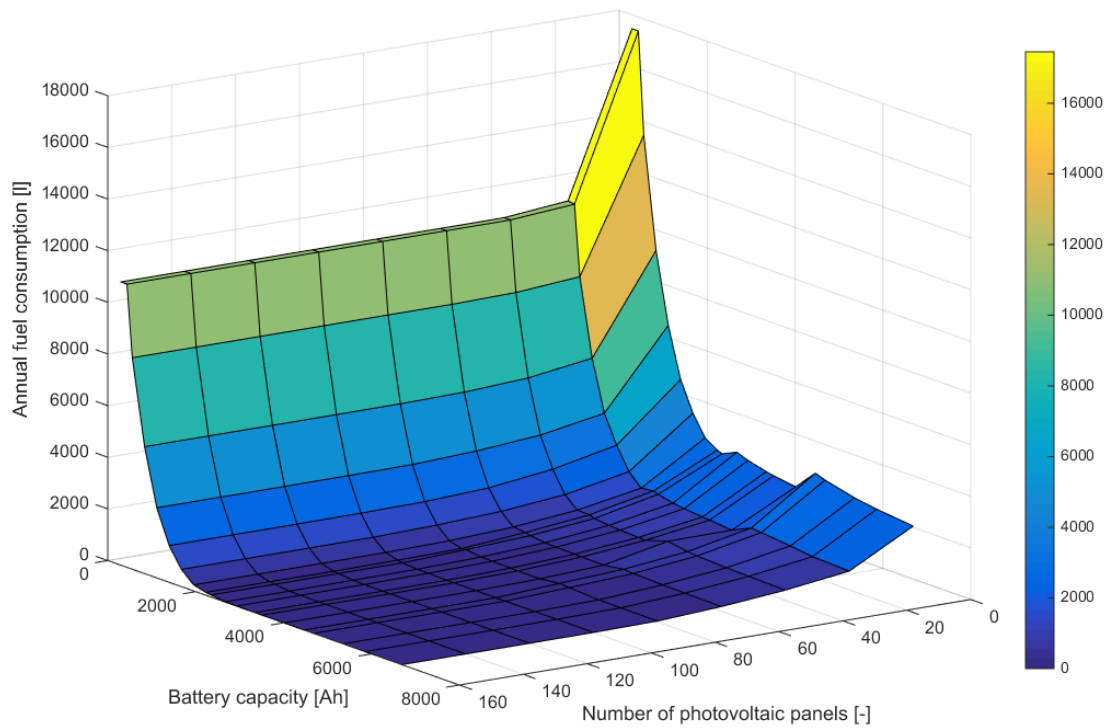
(α)- σε Ah



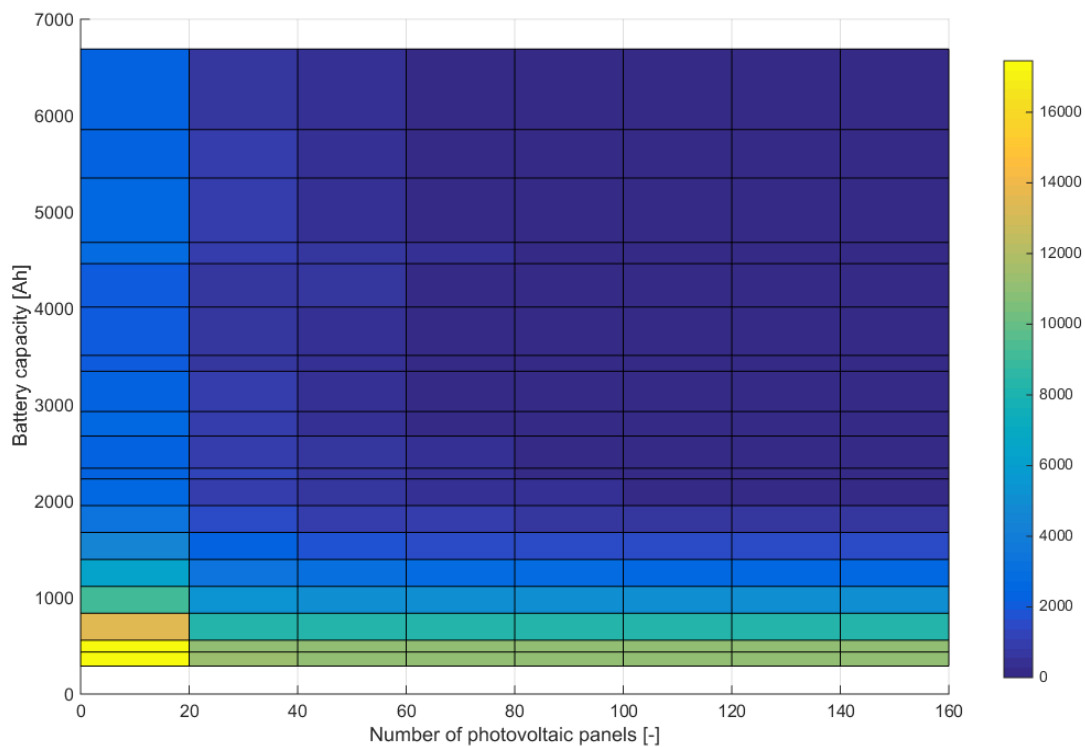
(β) – επί τοις εκατό της ονομαστικής χωρητικότητας

**Σχήμα 5.20 (α,β):** Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτών σε (α) Ah και (β) % της ονομαστικής χωρητικότητας για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.



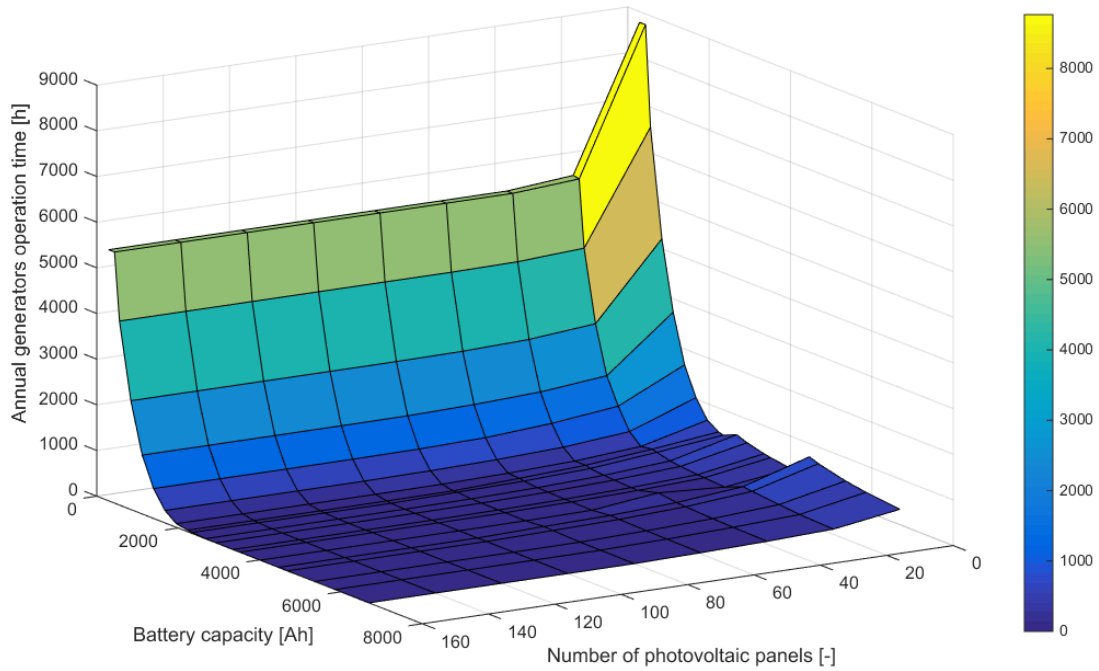


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

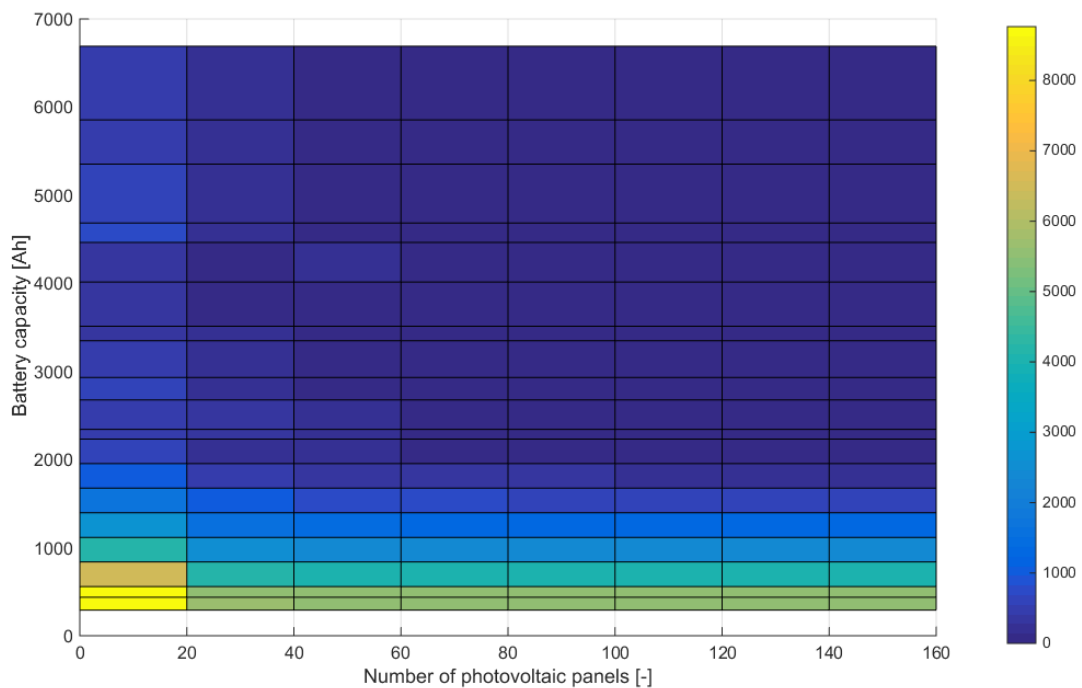


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.21 (α,β):** Ετήσια κατανάλωση καυσίμου [l] ντιζελογεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

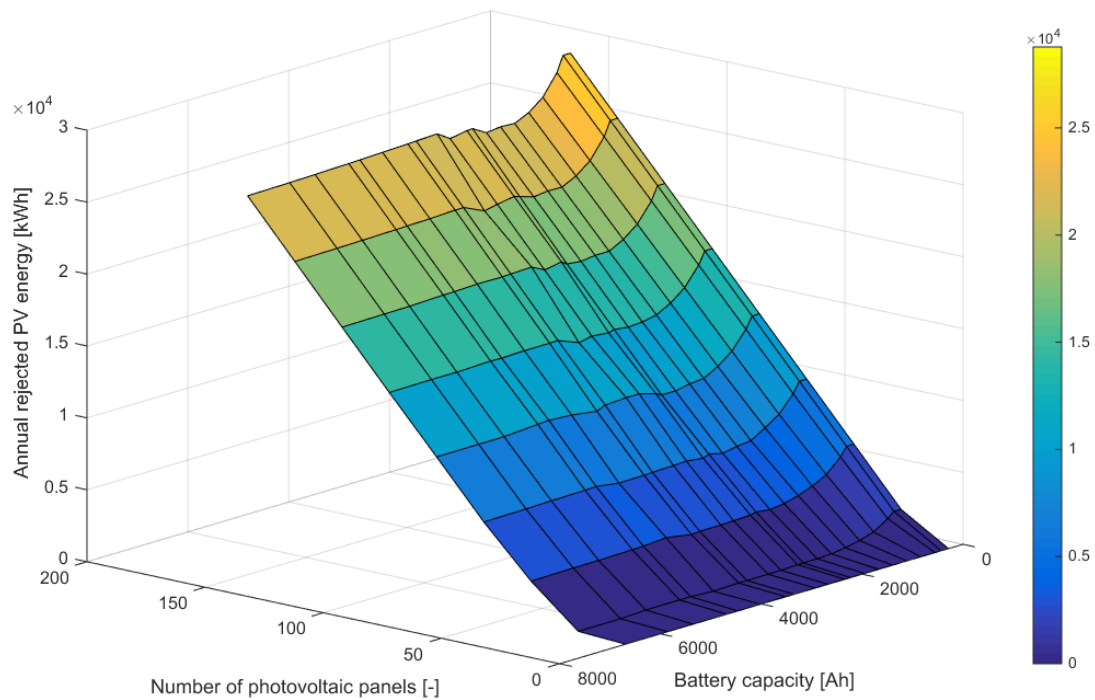


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

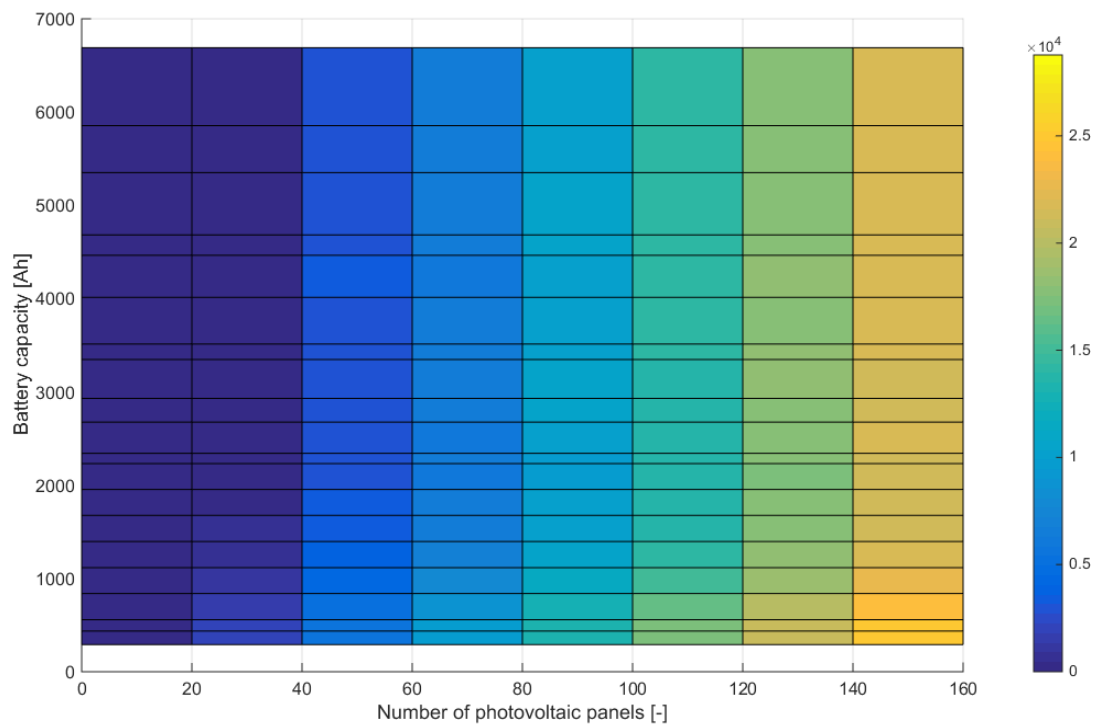


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.22 (α,β):** Ετήσιες ώρες λειτουργίας ντιζελογεννητριών για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαϊσίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

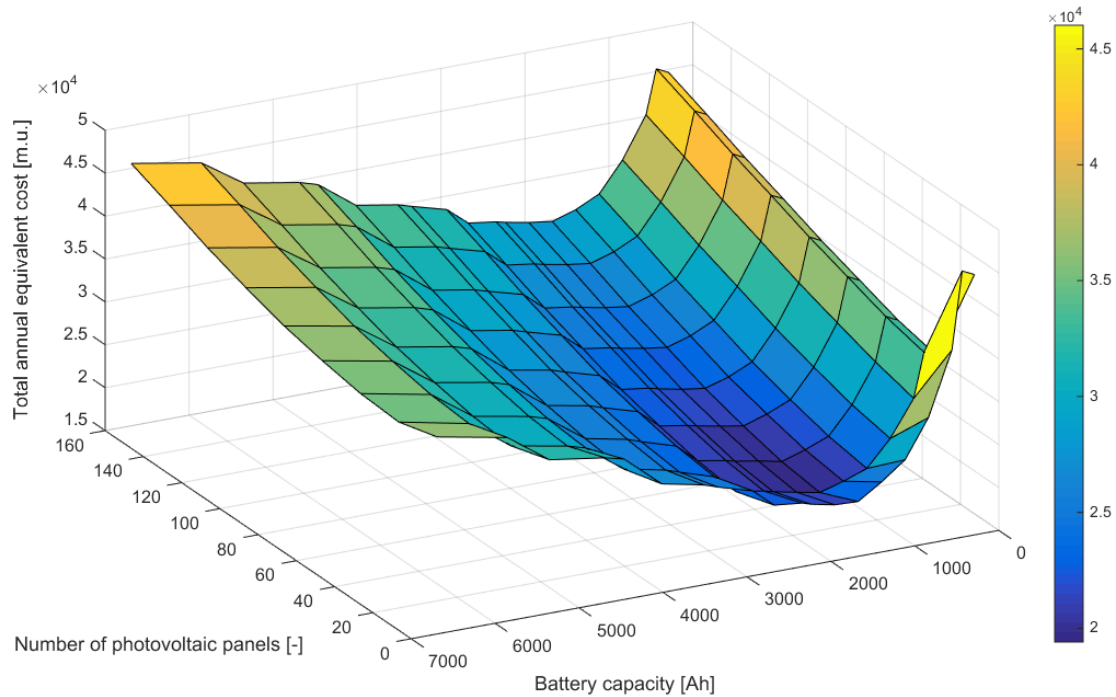


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

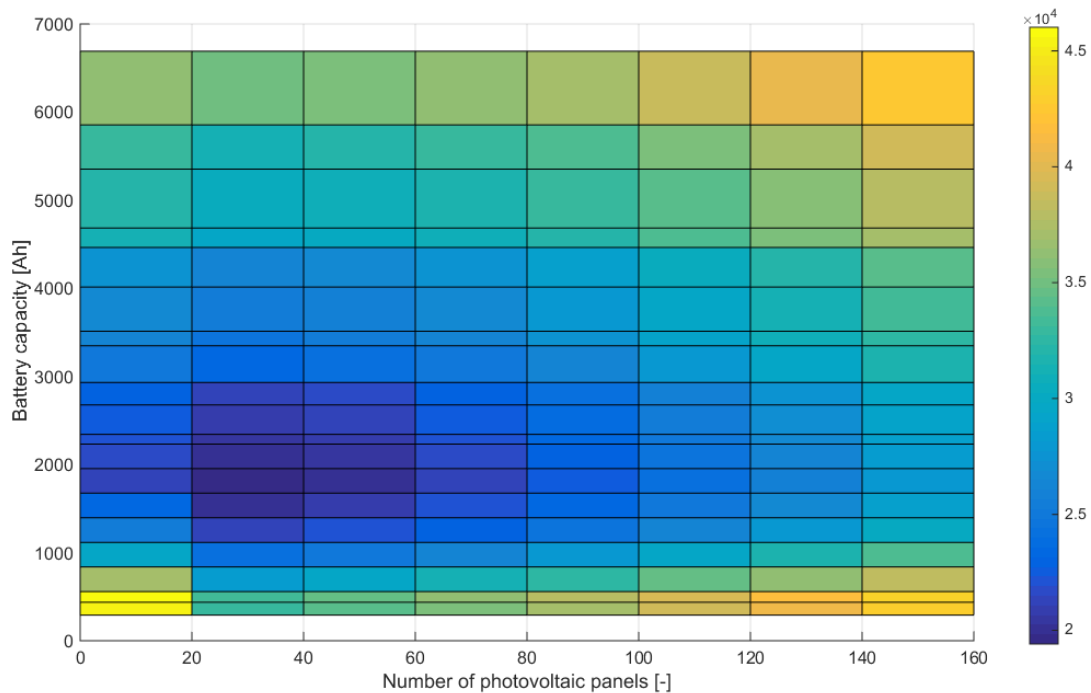


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.23 (α,β):** Ετήσια πρόσθετη ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

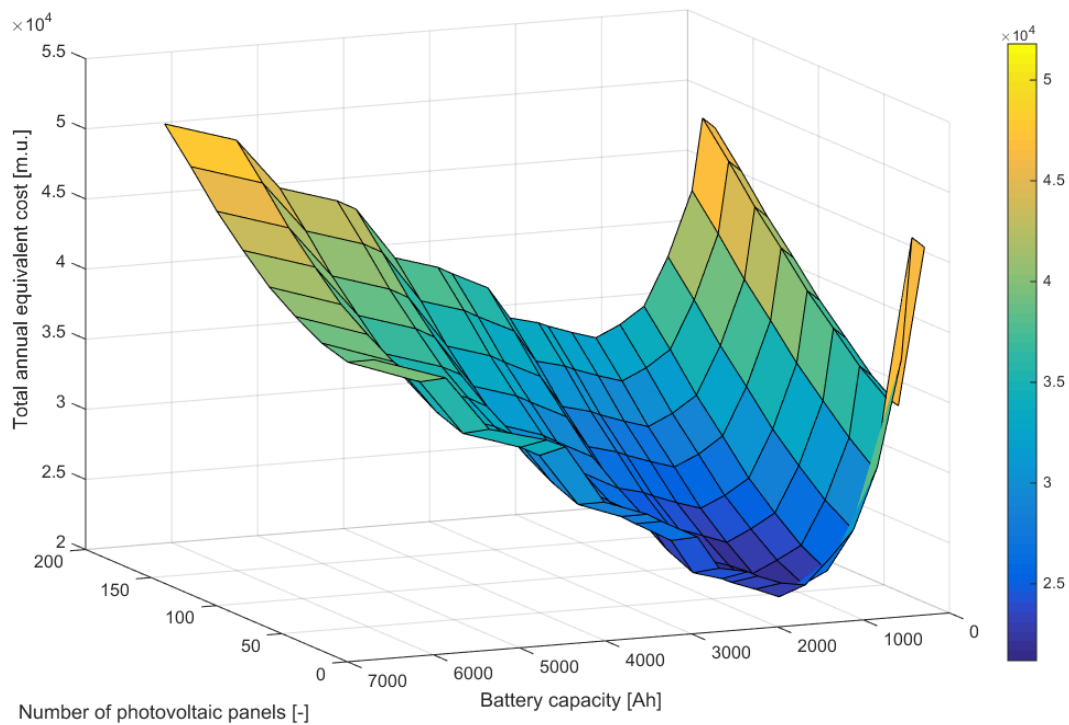


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

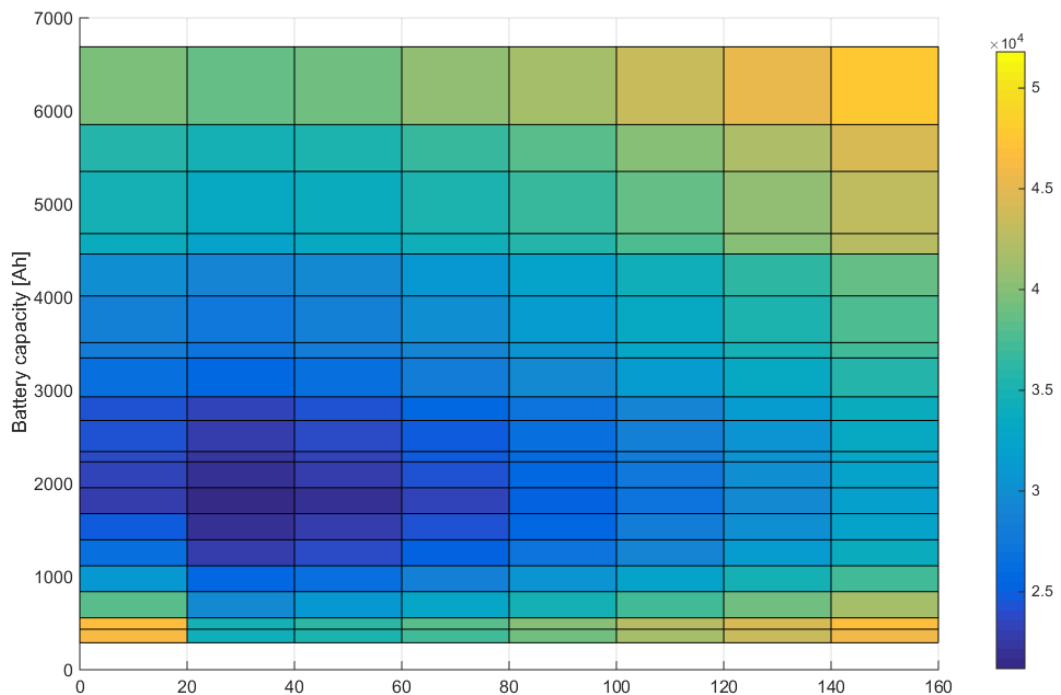


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.24 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%.

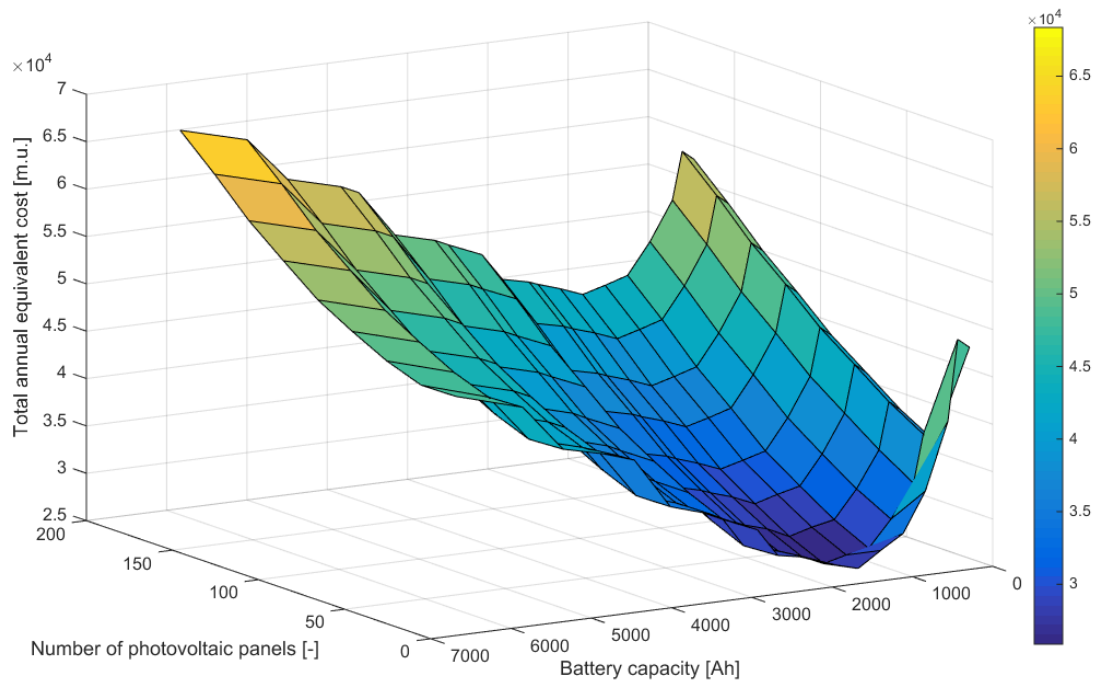


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

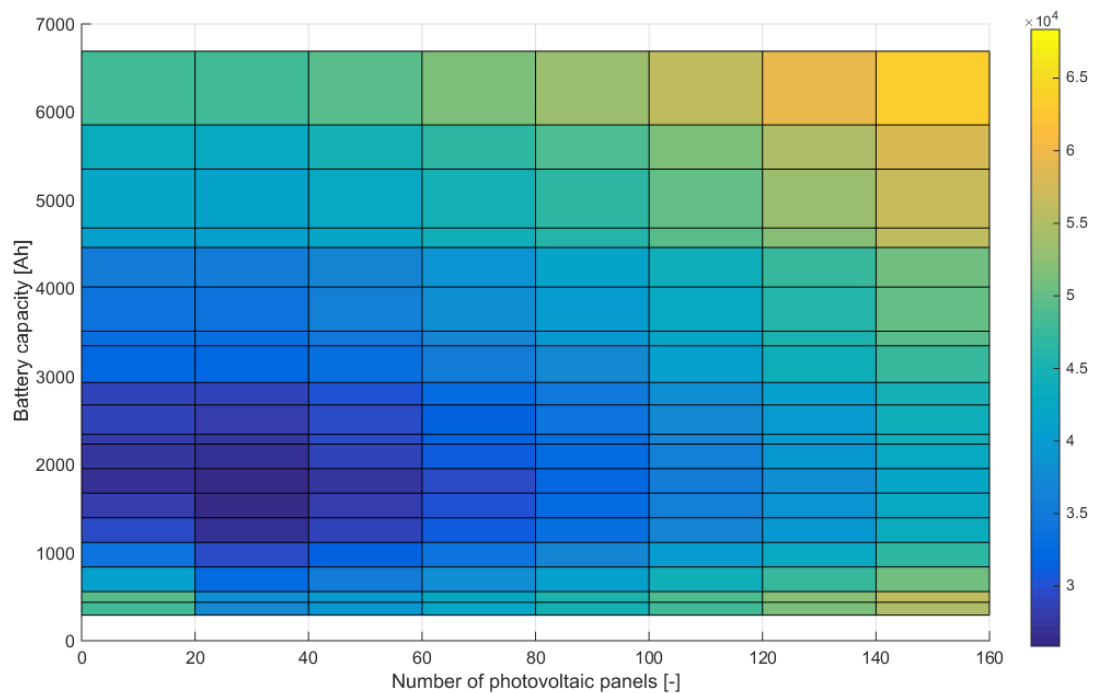


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.25 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%.



(α)- Τρισδιάστατη παράσταση



(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.26 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%.

**Πίνακας 5.4:** Αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παραρτήματος Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
436	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
558	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
838	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1116	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
1396	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2
1676	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2
1954	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2
2232	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2
2342	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,2	0,2	0,2
2676	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,2
2931	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
3348	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
3513	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4014	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4464	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2
4684	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2
5352	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2
5855	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2
6690	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,2

**Πίνακας 5.5:** Ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
436	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
558	0,7	0,6	0,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
838	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1116	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
1396	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
1676	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1
1954	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1
2232	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1
2342	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1
2676	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1
2931	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3348	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3513	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4014	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4464	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
4684	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
5352	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
5855	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
6690	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

**Πίνακας 5.6:** Διάρκεια ζωής γεννητριών αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	5,70	8,89	9,09	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
436	5,70	8,93	9,09	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
558	7,62	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
838	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
1116	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
1396	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
1676	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
1954	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2232	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2342	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2676	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2931	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
3348	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
3513	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
4014	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
4464	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
4684	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
5352	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
5855	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
6690	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

**Πίνακας 5.7:** Διάρκεια ζωής συσσωρευτών αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
436	5,10	5,09	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
558	4,64	4,75	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
838	4,38	4,55	4,59	4,61	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
1116	4,29	4,51	4,57	4,60	4,60	4,61	4,62	4,62	4,62
1396	4,05	4,61	4,62	4,56	4,62	4,65	4,65	4,66	4,66
1676	4,26	4,50	4,61	4,66	4,69	4,68	4,71	4,72	4,72
1954	4,13	4,43	4,54	4,64	4,71	4,73	4,75	4,76	4,76
2232	4,04	4,65	4,74	4,76	4,72	4,76	4,78	4,79	4,79
2342	4,01	4,63	4,69	4,76	4,79	4,77	4,81	4,81	4,81
2676	4,36	4,55	4,66	4,73	4,79	4,80	4,82	4,82	4,83
2931	4,31	4,52	4,64	4,72	4,80	4,84	4,84	4,85	4,85
3348	4,24	4,47	4,60	4,71	4,80	4,84	4,86	4,87	4,87
3513	4,22	4,45	4,59	4,70	4,79	4,85	4,87	4,88	4,88
4014	4,16	4,40	4,74	4,70	4,79	4,87	4,89	4,90	4,91
4464	4,54	4,66	4,73	4,79	4,85	4,88	4,91	4,92	4,92
4684	4,52	4,65	4,73	4,79	4,85	4,89	4,92	4,93	4,93
5352	4,47	4,62	4,71	4,79	4,84	4,90	4,93	4,94	4,95
5855	4,45	4,57	4,70	4,78	4,84	4,91	4,94	4,95	4,96
6690	4,41	4,54	4,68	4,77	4,84	4,92	4,95	4,96	4,97



**Πίνακας 5.8:** Απομένουσα χωρητικότητα συσσωρευτών σε Ah αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	106,6	106,6	106,6	106,6	106,6	106,6	106,6	106,6	106,6
436	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3
558	205,1	205,1	205,2	205,2	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1
838	308,0	307,9	308,1	308,2	308,0	308,1	308,1	308,1	308,1
1116	410,4	410,3	410,4	410,2	410,4	410,2	410,2	410,2	410,2
1396	513,1	513,2	513,2	513,1	513,0	513,1	513,1	513,1	513,2
1676	616,0	615,9	615,9	615,9	616,1	616,2	616,1	616,2	616,2
1954	718,2	718,0	718,2	718,4	718,6	718,3	718,1	718,1	718,1
2232	820,7	820,8	820,8	820,5	820,8	820,6	820,4	820,9	820,7
2342	860,9	861,0	860,8	861,3	861,2	861,3	860,8	861,3	860,8
2676	984,1	983,9	983,8	984,0	983,9	983,9	983,7	984,1	983,7
2931	1077,8	1077,7	1077,9	1077,8	1077,7	1077,9	1077,8	1077,9	1077,7
3348	1230,9	1231,2	1231,0	1231,3	1230,6	1231,1	1230,9	1230,7	1231,3
3513	1291,2	1291,0	1291,5	1291,1	1291,7	1291,1	1291,6	1291,9	1291,9
4014	1475,9	1474,9	1475,5	1475,5	1475,8	1475,3	1475,8	1476,1	1475,5
4464	1641,6	1641,3	1640,7	1640,7	1641,5	1641,7	1641,2	1641,4	1641,6
4684	1722,2	1722,5	1721,6	1722,3	1721,7	1722,5	1722,4	1722,5	1722,0
5352	1968,2	1968,2	1966,8	1967,9	1968,0	1968,0	1968,1	1968,2	1968,2
5855	2153,0	2152,8	2152,9	2152,8	2152,3	2151,7	2153,2	2153,2	2153,1
6690	2459,4	2459,1	2460,2	2459,8	2460,2	2460,0	2459,0	2460,3	2459,5

**Πίνακας 5.9:** Ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε l αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	17455	11203	10968	10965	10965	10965	10965	10965	10965
436	17455	11165	10968	10965	10965	10965	10965	10965	10965
558	13497	8429	8232	8189	8189	8189	8189	8189	8189
838	9202	5442	5092	4957	4919	4915	4915	4915	4915
1116	6466	3480	3046	2845	2735	2721	2716	2716	2716
1396	4540	2407	1895	1586	1469	1435	1425	1424	1423
1676	3406	1556	1078	844	731	670	667	667	667
1954	2615	1085	646	407	286	251	238	237	235
2232	2309	1141	632	365	156	118	102	111	113
2342	2233	1081	557	308	183	78,0	81,3	77,8	79,6
2676	2496	937	493	235	92,5	35,7	24,8	13,4	18,4
2931	2329	880	462	217	82,8	33,2	9,3	7,9	3,0
3348	2147	810	427	195	68,4	12,1	4,5	3,0	3,0
3513	2088	787	419	187	58,8	12,0	3,0	3,0	1,5
4014	1960	698	681	173	54,6	10,5	3,0	0,0	1,4
4464	2764	1057	551	283	150	7,2	1,5	0,0	0,0
4684	2623	1007	517	253	120	8,8	1,5	1,4	0,0
5352	2344	896	460	215	47,2	4,2	0,0	1,4	0,0
5855	2206	780	434	196	40,3	11,9	1,4	1,4	0,0
6690	2054	725	401	179	32,0	5,6	0,0	0,0	0,0

**Πίνακας 5.10:** Ετήσιες ώρες λειτουργίας αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	8765	5626	5499	5497	5497	5497	5497	5497	5497
436	8765	5601	5499	5497	5497	5497	5497	5497	5497
558	6564	4128	4045	4028	4029	4029	4029	4029	4029
838	4218	2570	2441	2396	2384	2383	2383	2383	2383
1116	2708	1529	1388	1326	1294	1290	1289	1289	1289
1396	1651	960	799	699	665	655	653	654	655
1676	1030	503	374	315	287	272	273	272	272
1954	635	273	168	115	88,3	81,3	80,7	80,1	79,7
2232	475	312	173	101	40,1	33,3	30,4	33,2	33,9
2342	441	280	140	78,9	48,3	20,2	23,1	22,1	22,8
2676	569	209	108	50,8	19,9	7,87	5,98	3,44	4,75
2931	482	178	92,2	42,8	16,4	6,62	1,65	1,53	0,48
3348	387	143	74,2	33,5	11,7	1,81	0,63	0,42	0,43
3513	358	132	69,3	30,6	9,70	1,69	0,39	0,39	0,20
4014	292	104	190	24,8	7,78	1,53	0,43	0,00	0,17
4464	709	269	135	68,3	38,3	0,76	0,19	0,00	0,00
4684	635	243	120	57,8	28,6	1,09	0,18	0,14	0,00
5352	490	187	92,5	42,3	7,42	0,37	0,00	0,12	0,00
5855	418	146	79,1	35,0	5,49	1,72	0,11	0,11	0,00
6690	337	117	63,6	27,8	3,42	0,39	0,00	0,00	0,00

**Πίνακας 5.11:** Ετήσια πρόσθετη ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	0,00	2009,4	5842,6	9664,9	13487,4	17309,8	21132,3	24954,7	28777,2
436	0,00	2046,1	5841,6	9663,9	13486,4	17308,8	21131,3	24953,7	28776,2
558	0,00	1653,9	5241,0	8924,2	12696,2	16448,7	20204,4	23953,9	27703,7
838	0,00	1021,4	4293,7	7783,8	11462,5	15164,2	18880,4	22578,4	26273,3
1116	0,00	717,8	3796,1	7138,4	10690,4	14380,4	18100,2	21800,7	25497,5
1396	0,00	501,8	3419,1	6529,0	10137,2	13851,1	17569,7	21310,5	25037,6
1676	0,00	370,4	3160,8	6413,9	10063,8	13650,2	17572,9	21342,5	25096,5
1954	0,00	317,5	3023,3	6224,0	9849,6	13585,8	17445,4	21219,0	24971,4
2232	0,00	307,0	3143,9	6467,4	9875,5	13706,7	17554,6	21523,9	25546,0
2342	0,00	303,4	3038,9	6284,7	10066,7	13586,1	17810,8	21646,9	25516,8
2676	0,00	258,8	2995,9	6437,1	10405,4	13708,4	17602,6	21453,9	25314,4
2931	0,00	256,6	2964,4	6386,4	10400,2	13510,9	18060,0	21264,0	25905,3
3348	0,00	246,2	2963,4	6347,8	10319,1	14097,7	18018,7	21925,8	25842,5
3513	0,00	244,6	2908,7	6316,5	10059,4	14082,9	17982,4	21915,3	25812,3
4014	0,00	193,7	3206,1	6294,2	10317,4	14081,9	18008,5	21840,9	25744,7
4464	0,00	283,8	3090,5	6528,8	10415,1	14027,0	17948,5	21797,2	25690,3
4684	0,00	285,2	3065,9	6487,4	10367,9	14057,7	17931,5	21777,8	25661,2
5352	0,00	277,2	3021,7	6454,9	10204,2	13978,8	17851,1	21725,4	25590,7
5855	0,00	192,3	3010,1	6407,7	10196,8	13986,9	17826,9	21689,3	25549,9
6690	0,00	181,4	2961,3	6369,1	10186,9	13951,3	17786,7	21646,0	25498,5

**Πίνακας 5.12:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	45337	32925	33969	35574	37167	39011	40775	42773	44645
436	46020	33516	34652	36257	37850	39694	41458	43456	45328
558	37045	28356	29589	31120	32711	34556	36320	38318	40190
838	29662	24194	25091	26442	27958	29795	31559	33557	35429
1116	25251	21202	21931	23146	24540	26345	28098	30095	31967
1396	23170	20220	20857	21985	23284	25034	26777	28769	30640
1676	21388	19407	19987	21108	22453	24200	25918	27912	29784
1954	21505	19938	20553	21581	22844	24582	26296	28286	30155
2232	22070	20497	21022	22107	23398	25100	26813	28803	30673
2342	22405	20779	21310	22362	23669	25358	27071	29062	30933
2676	22768	21317	21881	22900	24129	25846	27550	29528	31394
2931	24888	23498	24047	25028	26199	27868	29584	31561	33424
3348	26092	24794	25316	26240	27376	29011	30708	32682	34548
3513	26637	25339	25877	26767	27897	29493	31193	33169	35032
4014	27662	26368	26881	27705	28803	30356	32047	34017	35877
4464	31371	29616	30022	30947	32120	33600	35265	37233	39097
4684	31906	30250	30665	31601	32736	34260	35919	37879	39740
5352	32887	31461	31888	32781	33890	35417	37075	39026	40876
5855	36385	34981	35334	36194	37246	38724	40355	42296	44143
6690	37961	36658	36945	37741	38766	40187	41807	43744	45580

**Πίνακας 5.13:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	46218	34120	35449	37350	39231	41469	43598	46052	48336
436	46990	34799	36221	38122	40003	42241	44370	46824	49107
558	38390	29669	31187	33014	34895	37133	39261	41716	43999
838	30824	25692	26876	28522	30327	32557	34686	37140	39423
1116	26475	22762	23776	25287	26970	29168	31285	33740	36023
1396	24560	21938	22861	24286	25873	28016	30123	32573	34854
1676	22831	21185	22049	23465	25098	27238	29321	31771	34054
1954	23101	21865	22764	24085	25636	27767	29845	32292	34572
2232	23742	22491	23300	24679	26261	28355	30432	32879	35161
2342	24109	22804	23619	24966	26561	28644	30720	33168	35450
2676	24517	23399	24246	25559	27076	29186	31254	33688	35965
2931	26879	25820	26652	27926	29383	31444	33524	35958	38232
3348	28194	27226	28029	29245	30667	32694	34754	37185	39461
3513	28787	27818	28637	29818	31234	33221	35284	37717	39991
4014	29899	28932	29717	30838	32222	34165	36220	38647	40917
4464	34066	32644	33332	34551	36010	37882	39910	42335	44609
4684	34663	33340	34037	35265	36686	38602	40624	43041	45313
5352	35757	34663	35371	36556	37951	39868	41889	44297	46558
5855	39664	38591	39221	40372	41710	43578	45572	47969	50226
6690	41381	40408	40972	42057	43367	45177	47159	49552	51799

**Πίνακας 5.14:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%.

Χωρητικότητα [Ah]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων [-]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
290	48441	37264	39359	42050	44704	48027	51155	54886	58310
436	49449	38179	40366	43057	45711	49034	52162	55893	59317
558	40923	33139	35421	38038	40691	44014	47142	50873	54298
838	33875	29658	31604	34040	36617	39933	43061	46792	50216
1116	29680	26880	28656	30956	33412	36695	39811	43542	46966
1396	28202	26481	28167	30384	32741	35969	39075	42802	46224
1676	26608	25872	27496	29701	32105	35332	38412	42139	45563
1954	27272	26942	28600	30709	33030	36245	39322	43045	46467
2232	28097	27736	29306	31475	33830	37009	40084	43807	47230
2342	28541	28126	29702	31837	34203	37372	40447	44172	47594
2676	29069	28860	30466	32567	34853	38049	41115	44826	48244
2931	32054	31901	33491	35551	37777	40923	44002	47712	51127
3348	33639	33575	35134	37135	39325	42435	45493	49201	52618
3513	34348	34281	35855	37821	40005	43075	46136	49846	53260
4014	35670	35604	37131	39045	41196	44221	47274	50977	54388
4464	41091	40579	42025	44030	46258	49214	52240	55941	59356
4684	41841	41425	42881	44895	47085	50084	53104	56797	60209
5352	43211	43023	44487	46457	48621	51620	54638	58321	61723
5855	48184	48016	49398	51333	53439	56386	59377	63050	66448
6690	50246	50176	51489	53357	55434	58323	61302	64971	68357

Στον πίνακα 5.15 καταγράφονται ανά τιμή αποπληθωρισμένου επιτοκίου η βέλτιστη επιλογή διαμόρφωσης υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) με βέλτιστη επιλογή αναστροφέων εταιρείας SMA με βάση τα στοιχεία του παραρτήματος Π.2 και τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.6, συσσωρευτές GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με κριτήριο την ελάχιστη τιμή του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης. Διαπιστώνεται ότι η βέλτιστη λύση είναι ίδια, καθώς απαρτίζεται τυπικά από την επιλογή μόλις 20 φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 3,08 kW, με δύο αναστροφείς Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40, με συσσωρευτή συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6 SOPzV 858 συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές. Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  ίσο με 30%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής των ντιζελογεννητριών να είναι ίση με 10 έτη, δηλαδή η ονομαστική τους τιμή, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών 4,50 έτη, δηλαδή κάτω από το μίσο της ονομαστικής τους τιμής, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου κίνησης 1556 l, οι συνολικές ώρες λειτουργίας των ντιζελογεννητριών 503, η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια 370,4 kWh, οι ημέρες έναρξης και λήξης δυσμενέστερου σεναρίου είναι 1002 και 2646 αντίστοιχα. Η βέλτιστα τεχνικο-οικονομικά λύση απαιτεί τη λειτουργία των ντιζελογεννητριών για χρόνο ίσο με το 5,74% του έτους.

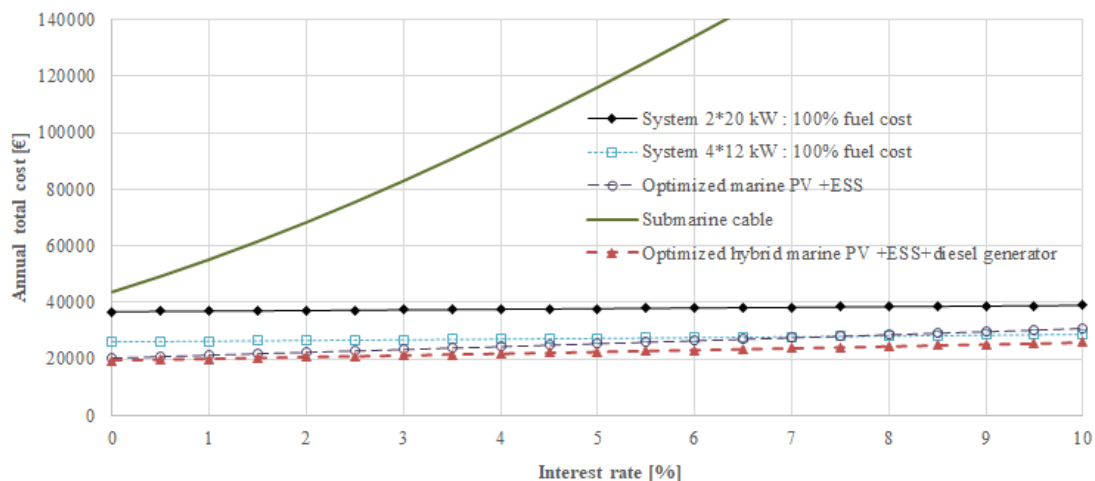
**Πίνακας 5.15:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β πλασίων Sxp154Q ή Sxp154L (από 0 ως 160 με βήμα 20) & βέλτιστης επιλογής μετατροπέων εταιρείας SMA παρ. Π.2 μεθοδολογίας παρ. 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για διάφορα επιτόκια.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Πλήθος πλασίων	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	$SoC_{op-min-initial}$ [-]	$\Delta SoC$ [-]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος [€]
1	0,0%	20	1676	0,7	0,3	19407,29
2	0,5%	20	1676	0,7	0,3	19693,10
3	1,0%	20	1676	0,7	0,3	19983,16
4	1,5%	20	1676	0,7	0,3	20277,41
5	2,0%	20	1676	0,7	0,3	20575,82
6	2,5%	20	1676	0,7	0,3	20878,35
7	3,0%	20	1676	0,7	0,3	21184,94
8	3,5%	20	1676	0,7	0,3	21495,55
9	4,0%	20	1676	0,7	0,3	21810,12
10	4,5%	20	1676	0,7	0,3	22128,15
11	5,0%	20	1676	0,7	0,3	22450,91
12	5,5%	20	1676	0,7	0,3	22777,01
13	6,0%	20	1676	0,7	0,3	23106,84
14	6,5%	20	1676	0,7	0,3	23440,33
15	7,0%	20	1676	0,7	0,3	23777,41
16	7,5%	20	1676	0,7	0,3	24118,02
17	8,0%	20	1676	0,7	0,3	24462,09
18	8,5%	20	1676	0,7	0,3	24809,56
19	9,0%	20	1676	0,7	0,3	25160,35
20	9,5%	20	1676	0,7	0,3	25514,40
21	10%	20	1676	0,7	0,3	25871,63

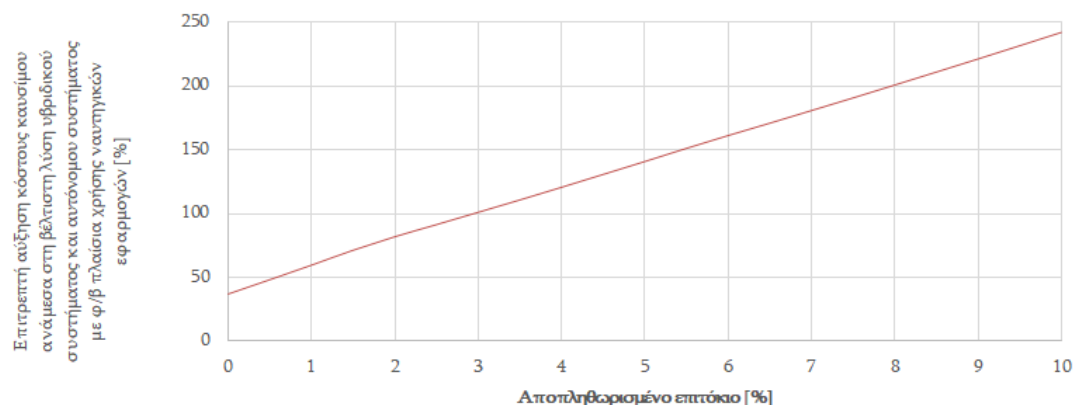
#### 5.4.3. Σύγκριση βασικών λύσεων με βελτιστοποιημένη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά και συσσωρευτή

Όμοια με την παράγραφο 4.5.3 πραγματοποιείται η σύγκριση όλων των προηγούμενων λύσεων ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής – λειτουργίας- συντήρησης σε σχέση με το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.27. Δηλαδή συγκρίνονται το αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, το αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, το υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό μέσης / χαμηλής τάσης μόνο με κόστος συντήρησής του και με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20 και το βέλτιστο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλασίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.27. Διαπιστώνεται ότι η λύση του υβριδικού συστήματος πλεονεκτεί έναντι όλων των άλλων λύσεων για όλα τα επιτόκια διευρύνοντας τη διαφορά του υπέρ του όσο αυξάνεται το αποπληθωρισμένο επιτόκιο. Σε περίπτωση μεταβολής κόστους καυσίμου συνεχίζει να πλεονεκτεί έναντι των λύσεων που εμπλέκουν μόνο τις ντιζελογεννήτριες, ενώ συνεχίζει να πλεονεκτεί έναντι του αρχικά προτεινόμενου αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού του πίνακα 4.20, ακόμη και με αύξηση καυσίμου κατά τα 37% για την περίπτωση μηδενικού

επιτοκίου, κατά 100% για 3% και κατά 240% για 10%, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.28. Ο τελευταίος υπολογισμός έγινε υπολογίζοντας τη διαφορά μεταξύ των ετήσιων ισοδύναμων κόστων των δύο λύσεων και βρίσκοντας την επιτρεπτή προσαύξηση για τη μέση ετήσια κατανάλωση πετρελαίου κίνησης. Σε κάθε περίπτωση το υβριδικό σύστημα λειτουργεί χωρίς τη χρήση των ντιζελογεννητριών για το 94,26% του χρόνου, παρά το γεγονός ότι έχει εγκατασταθεί μία μικρή φωτοβολταϊκή μονάδα της τάξης των 3 kW που είναι μικρότερη από το 20% της αυτόνομης μονάδας και ενός συσσωρευτή αντίστοιχης χωρητικότητας ή ελαφρώς μικρότερης έναντι των αποτελεσμάτων του πίνακα 4.20.



**Σχήμα 5.27:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησή του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20, βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.



**Σχήμα 5.28:** Επιτρεπτή αύξηση κόστους καυσίμου σε % ανάμεσα στο βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15 και το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20, ως προς το αποπληθωρισμένο επιτόκιο.

## 5.5. Βελτιστοποίηση Διαμόρφωσης Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

### 5.5.1. Τρόπος σύγκρισης

Ένας τρόπος σύγκρισης θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω της εκτέλεσης της μεθοδολογίας της παραγράφου 5.2 με τον τρόπο που έχει υλοποιηθεί στην παράγραφο 5.4 για το σύνολο των τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων και αναστροφένων διαφορετικών εταιρειών για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς. Αυτό όμως θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρο. Εναλλακτικά επειδή η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή εξαρτάται πρακτικά από τις ισχύες της φωτοβολταϊκής μονάδας, των ντιζελογεννητριών και τον επιλεγμένο τρόπο λειτουργίας του μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της παραγράφου 5.4 ως προς τα ελάχιστα ετήσια ισοδύναμα κόστη κατασκευής-λειτουργίας και συντήρησης του αυτόνομου υβριδικού σύστημα με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της Solbian και τους αντίστοιχους συσσωρευτές και να αφαιρεθεί η διαφορά μεταξύ ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο των πλαισίων τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας Solbian με χρήση μόνο αναστροφένων της εταιρείας SMA και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων πλαισίων και αναστροφένων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φωτοβολταϊκής μονάδας για τα διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου. Η μοναδική τροποποίηση που απαιτείται να γίνει είναι η μετατροπή της συνάρτησης κόστους ως προς το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων του τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN στην αντίστοιχη καμπύλη ως προς την ονομαστική ισχύ του φωτοβολταϊκού σταθμού (πολλαπλασιάζοντας με την ονομαστική ισχύ των 154 W του ενός πλαισίου) και μέσω των αριθμητικών αποτελεσμάτων όμοιων με του σχήματος 4.65 για τα διάφορα επιτόκια να γίνει η αντίστοιχη διόρθωση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους του φωτοβολταϊκού σταθμού επιλέγοντας τα αντίστοιχα βήματα ισχύος (άλλωστε το βήμα της προσέγγισης της παραγράφου 5.4 είναι  $20 \cdot 154 \text{ W} = 3080 \text{ W}$  έναντι των κβαντισμένων αποτελεσμάτων ανά 100 W της παραγράφου 4.6). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 5.16. Απλώς επισημαίνεται ότι σε κάθε συνδυασμό επιτοκίου-ισχύος αντιστοιχεί και διαφορετικός συνδυασμός τύπου φωτοβολταϊκών πλαισίων – πλήθους πλαισίων – τύπου αναστροφέα – πλήθους αναστροφένων – διαστάσεων επέκτασης ταράτσας. Τα τελικά αριθμητικά αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα 5.16. Επιπλέον οι μικροδιαφορές στην απόδοση των μετατροπών έχουν ληφθεί υπόψη κοστολογώντας την απώλεια παραγόμενης ενέργειας από τα φ/β πλαίσια λόγω απόδοσης αναστροφέα μέσω της σχέσης (4.91).

### 5.5.2. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου AGM VRLA

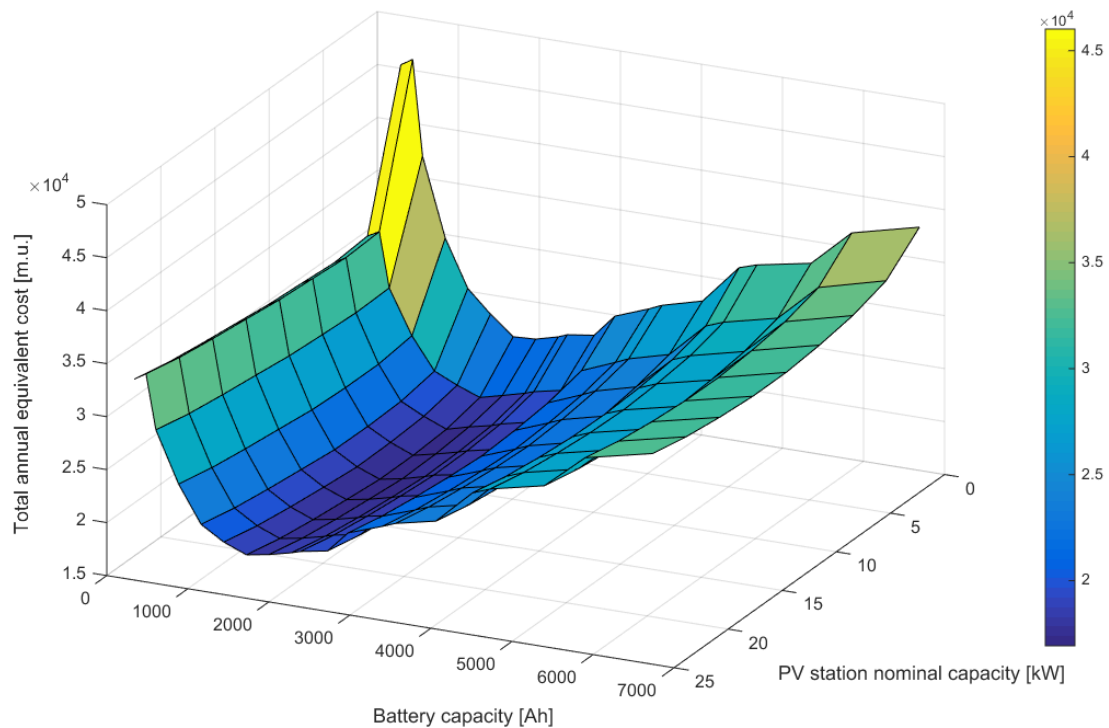
Όπως ήδη έχει αναφερθεί στην παράγραφο 5.4.1, η χρήση του συσσωρευτή τύπου AGM VRLA (της εταιρείας Narada) για τα ίδια επίπεδα χωρητικότητας υστερεί οικονομικά έναντι του τύπου GEL VRLA / RES SOPzV (της εταιρείας Sunlight) για τα ίδια επίπεδα τεχνικής συμπεριφοράς, οπότε δε θα εξεταστεί περαιτέρω.

**Πίνακας 5.16:** Διαφορά ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής –λειτουργίας φωτοβολταϊκής μονάδας με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας μεταξύ της περίπτωσης επιλογής από τα πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της εταιρείας SOLBIAN (πλήθους από 0 ως 160 με βήμα 20) με χρήση αναστροφένων της εταιρείας SMA και της περίπτωσης επιλογής από το σύνολο όλων των δεδομένων φ/β πλαισίων και αναστροφένων του παραρτήματος 2 σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ της υπό διαμόρφωση φ/β μονάδας και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου.

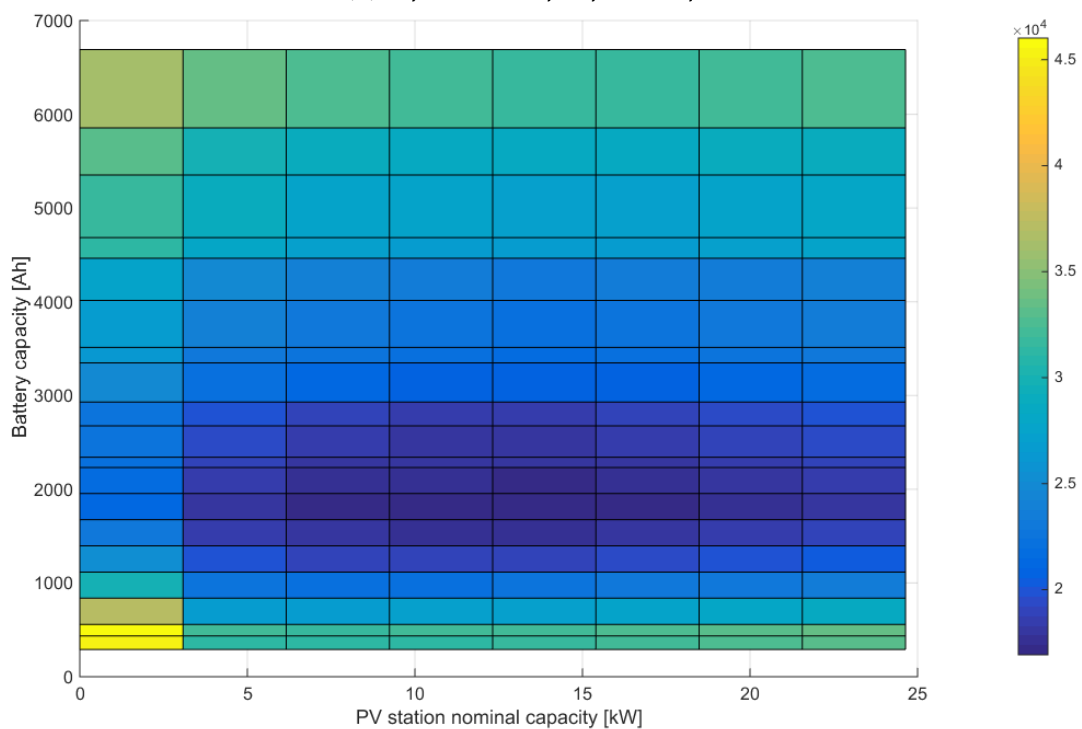
Επιτόκιο [%]	Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q ή Sxp154L της Solbian [-] με ονομαστική ισχύς υπό συνθήκες STC [W] / Τυπική ονομαστική ισχύς αυτόνομου συστήματος μεθοδολογίας παραγράφου 4.6 [W]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
	0	3080	6160	9240	12320	15400	18480	21560	24640
0	3100	6200	9300	12400	15400	18500	21600	24700	
0,0	0	1505	2835	4174	5528	6953	8316	9839	11009
0,5	0	1549	2920	4299	5696	7170	8585	10148	11358
1,0	0	1593	3005	4427	5867	7390	8859	10479	11722
1,5	0	1638	3093	4556	6040	7614	9137	10817	12092
2,0	0	1683	3181	4687	6216	7841	9420	11161	12468
2,5	0	1730	3270	4820	6394	8072	9708	11510	12851
3,0	0	1776	3361	4954	6575	8306	10000	11866	13239
3,5	0	1824	3453	5091	6758	8544	10296	12227	13634
4,0	0	1872	3547	5229	6944	8778	10597	12593	14034
4,5	0	1918	3641	5375	7132	9021	10903	12965	14440
5,0	0	1966	3737	5519	7323	9267	11213	13343	14856
5,5	0	2016	3833	5664	7516	9516	11526	13725	15279
6,0	0	2065	3931	5812	7712	9768	11844	14113	15709
6,5	0	2116	4030	5961	7910	10024	12167	14507	16147
7,0	0	2167	4131	6111	8110	10282	12493	14905	16593
7,5	0	2218	4232	6264	8312	10544	12823	15308	17045
8,0	0	2270	4334	6418	8517	10808	13157	15716	17502
8,5	0	2322	4438	6573	8724	11075	13495	16129	17964
9,0	0	2376	4543	6731	8933	11346	13836	16546	18432
9,5	0	2429	4648	6890	9144	11619	14182	16968	18905
10,0	0	2483	4755	7050	9357	11894	14530	17395	19383

**5.5.3. Διερεύνηση συμπεριφοράς με συσσωρευτή μολύβδου οξέος τύπου GEL VRLA**  
 Όμοια με την παράγραφο 4.7.3 πραγματοποιείται η μελέτη του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής του αυτόνομου υβριδικού συστήματος που διαθέτει δύο ντιζελογεννήτριες 2\*20 kW, συσσωρευτές GEL VRLA τύπου RES SOPzV της εταιρείας Sunlight ονομαστικής τάσης 110 V με διαφορετικές χωρητικότητες κατά τον πίνακα 4.14 (πλήθους 20) και διαφορετικά επίπεδα ισχύος φωτοβολταϊκής μονάδας που εκτείνονται από 0 kW ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW (πλήθους 9) που αντιστοιχούν σε πλήθος από 0 ως 160 με βήμα 20 φ/β πλαίσια τύπου Sxp154Q ή Sxp154L της Solbian, σχηματίζοντας για τις ανωτέρω 180 διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής αυτόνομων υβριδικών συστημάτων για κάθε αποπληθωρισμένο επιτόκιο από 0% ως 10% με βήμα 0,5% (21 περιπτώσεις). Κάθε φ/β μονάδα διαμορφώνεται από το σύνολο των τύπων φ/β πλαισίων και αναστροφένων του παραρτήματος Π.2 με εφαρμογή της μεθοδολογίας βέλτιστης επιλογής της παραγράφου 4.6, ενώ για κάθε εξεταζόμενο υβριδικό σύστημα χρησιμοποιείται εκείνο το ζεύγος λειτουργίας  $SoC_{op-min-initial}$  και  $\Delta SoC$  με το μικρότερο δυνατό κόστος που έχει προκύψει από την παράγραφο 5.4.2. Στα σχήματα 5.29, 5.30 και 5.31 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αντίστοιχες παραστάσεις για 0%, 3% και 10%, ενώ τα σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες 5.17, 5.18 και 5.19 αντίστοιχα με κβαντισμένες τιμές ονομαστικής ισχύος υβριδικού συστήματος.



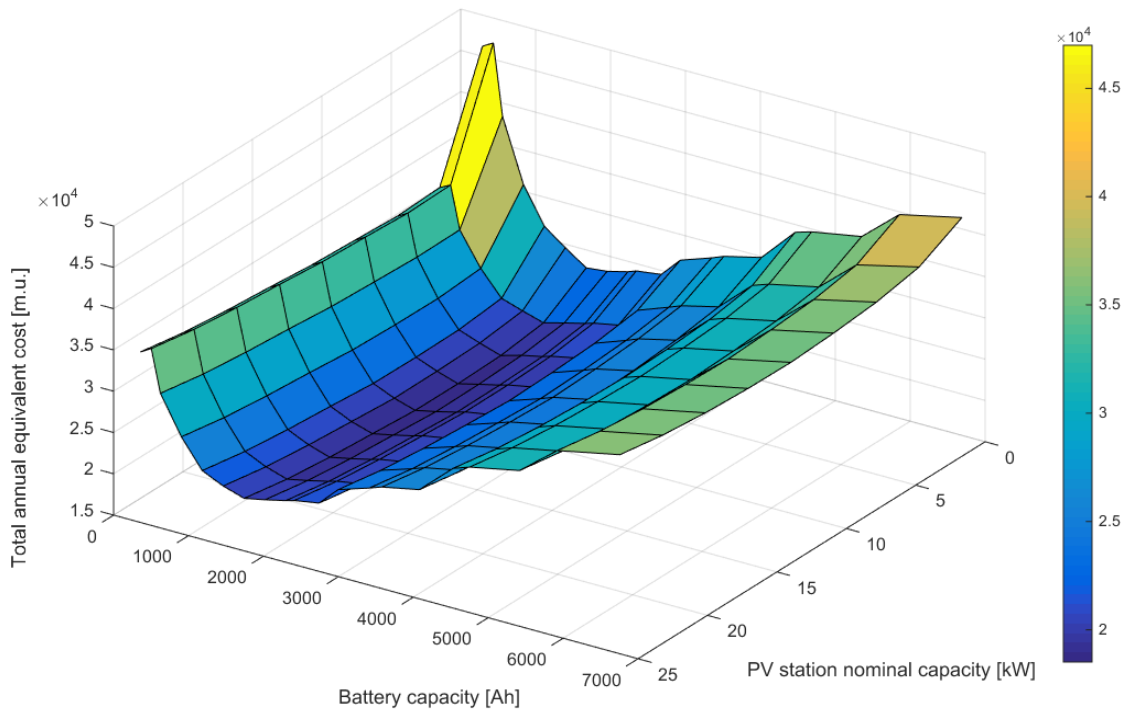


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

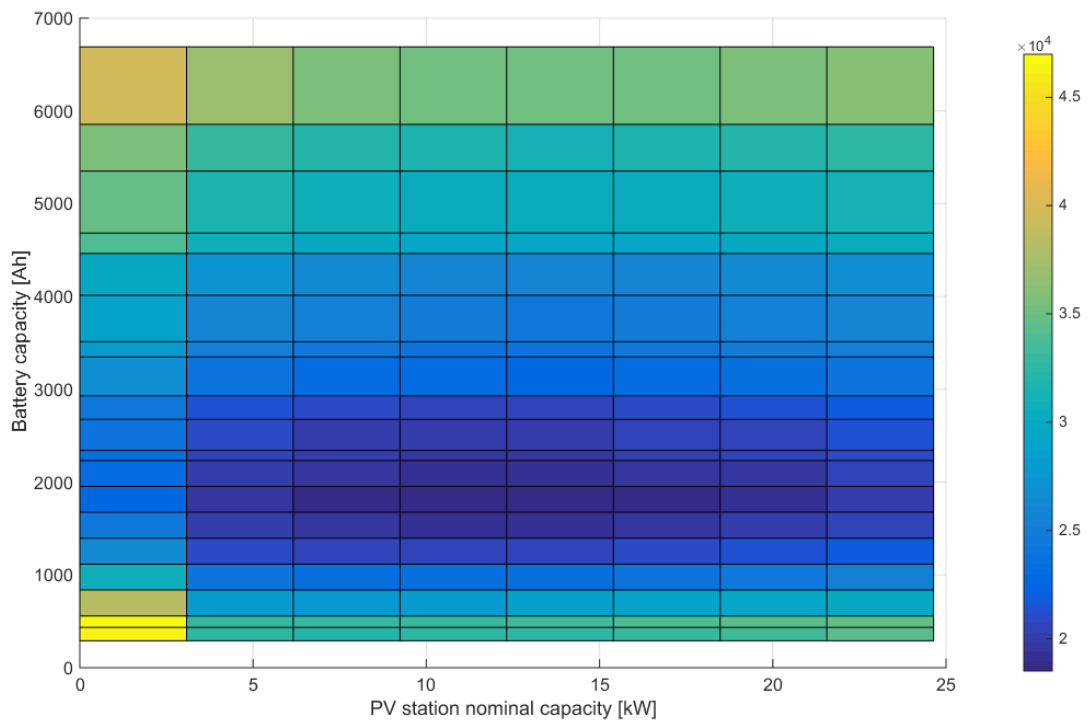


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.29 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%.

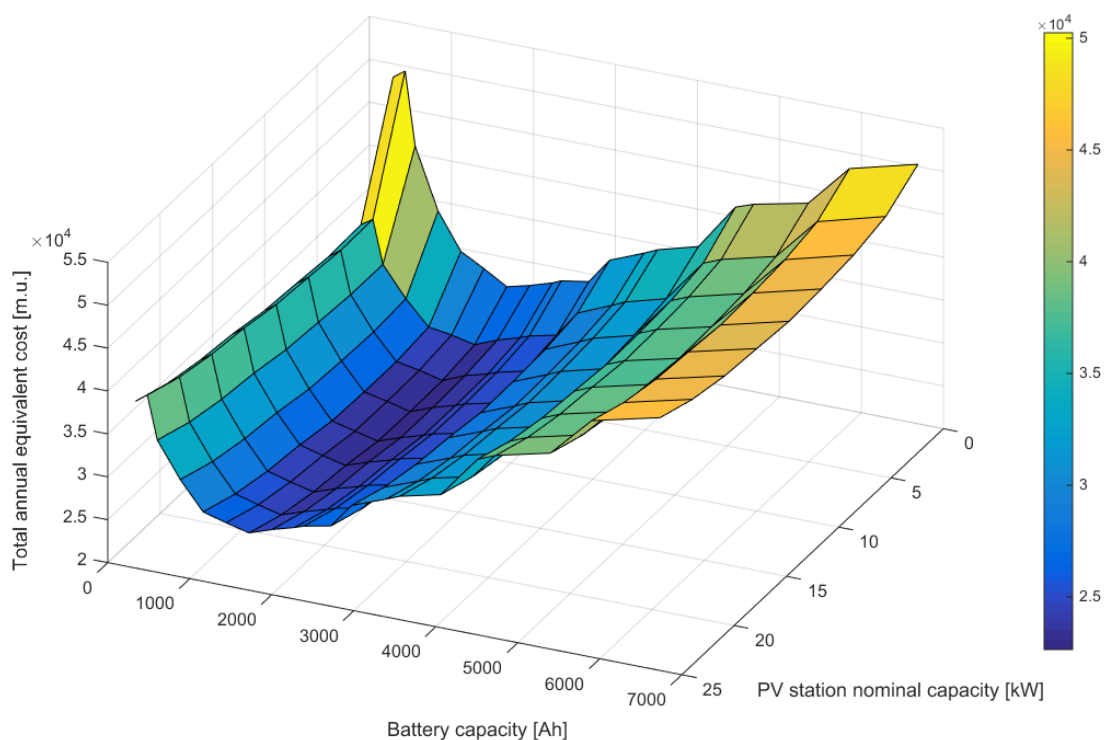


(α)- Τρισδιάστατη παράσταση

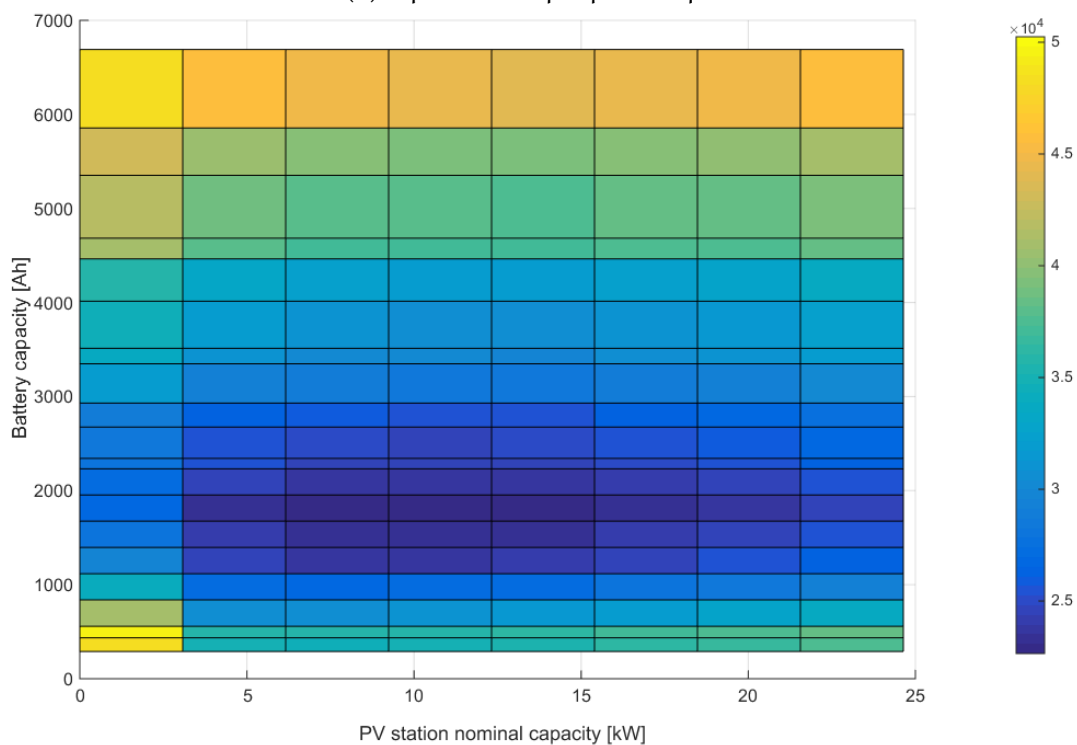


(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.30 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%.



(α)- Τρισδιάστατη παράσταση



(β) – δισδιάστατη προβολή

**Σχήμα 5.31 (α,β):** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για αυτόνομο υβριδικό σύστημα ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%.

**Πίνακας 5.17:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 0%.

Χωρητικότητα [Ah]	Ισχύς φωτοβολταϊκής μονάδας [kW]								
	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,4	18,5	21,6	24,7
290	45337	31420	31134	31400	31638	32058	32460	32934	33636
436	46020	32011	31817	32083	32321	32741	33143	33617	34319
558	37045	26852	26753	26946	27183	27603	28004	28479	29181
838	29662	22689	22256	22268	22430	22842	23244	23718	24420
1116	25251	19697	19095	18972	19012	19392	19782	20256	20958
1396	23170	18715	18022	17811	17756	18081	18461	18931	19631
1676	21388	17902	17152	16935	16925	17247	17603	18073	18774
1954	21505	18433	17717	17407	17316	17629	17980	18447	19146
2232	22070	18992	18187	17933	17869	18147	18497	18964	19664
2342	22405	19274	18474	18188	18141	18405	18755	19224	19924
2676	22768	19812	19046	18726	18600	18894	19235	19689	20384
2931	24888	21993	21212	20854	20670	20915	21268	21722	22415
3348	26092	23289	22481	22066	21848	22058	22392	22844	23538
3513	26637	23834	23042	22593	22369	22540	22877	23331	24022
4014	27662	24863	24046	23531	23275	23403	23731	24178	24867
4464	31371	28111	27186	26773	26592	26647	26949	27395	28087
4684	31906	28745	27830	27427	27208	27307	27603	28041	28730
5352	32887	29957	29053	28607	28362	28464	28759	29187	29867
5855	36385	33476	32499	32020	31718	31771	32040	32457	33134
6690	37961	35153	34110	33567	33237	33234	33491	33905	34570

**Πίνακας 5.18:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 3%.

Χωρητικότητα [Ah]	Ισχύς φωτοβολταϊκής μονάδας [kW]								
	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,4	18,5	21,6	24,7
290	46218	32344	32088	32396	32657	33163	33598	34187	35097
436	46990	33023	32860	33167	33428	33935	34370	34958	35868
558	38390	27893	27826	28060	28320	28826	29262	29850	30760
838	30824	23916	23514	23567	23752	24251	24686	25275	26184
1116	26475	20986	20415	20332	20395	20862	21285	21874	22784
1396	24560	20162	19500	19332	19298	19710	20123	20707	21615
1676	22831	19408	18687	18511	18523	18932	19321	19905	20815
1954	23101	20089	19402	19131	19061	19461	19845	20426	21333
2232	23742	20714	19938	19725	19686	20049	20432	21013	21922
2342	24109	21027	20258	20011	19986	20338	20720	21303	22211
2676	24517	21623	20885	20605	20501	20880	21254	21823	22726
2931	26879	24043	23290	22971	22808	23138	23525	24092	24993
3348	28194	25449	24668	24290	24092	24387	24754	25319	26222
3513	28787	26041	25275	24863	24659	24915	25284	25852	26752
4014	29899	27156	26356	25884	25647	25859	26220	26781	27678
4464	34066	30868	29971	29596	29435	29575	29910	30469	31370
4684	34663	31563	30676	30311	30112	30296	30624	31176	32074
5352	35757	32886	32009	31601	31376	31562	31890	32431	33318
5855	39664	36814	35860	35418	35135	35272	35572	36103	36987
6690	41381	38631	37611	37103	36792	36871	37160	37687	38560

**Πίνακας 5.19:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 για αποπληθωρισμένο επιτόκιο 10%.

Χωρητικότητα [Ah]	Ισχύς φωτοβολταϊκής μονάδας [kW]								
	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,4	18,5	21,6	24,7
290	48441	34781	34604	35000	35346	36132	36624	37491	38928
436	49449	35696	35611	36007	36353	37139	37631	38498	39935
558	40923	30656	30666	30988	31334	32120	32612	33479	34915
838	33875	27175	26849	26989	27259	28038	28530	29397	30833
1116	29680	24397	23901	23906	24054	24800	25281	26147	27584
1396	28202	23998	23412	23333	23384	24074	24545	25407	26842
1676	26608	23388	22741	22651	22748	23437	23882	24744	26181
1954	27272	24459	23845	23659	23672	24351	24792	25650	27084
2232	28097	25253	24551	24425	24473	25114	25554	26412	27847
2342	28541	25642	24947	24786	24846	25478	25916	26777	28212
2676	29069	26377	25711	25516	25496	26155	26585	27431	28861
2931	32054	29418	28736	28501	28420	29028	29472	30317	31745
3348	33639	31092	30379	30084	29967	30541	30963	31806	33236
3513	34348	31798	31100	30771	30647	31181	31606	32451	33877
4014	35670	33121	32376	31995	31839	32326	32743	33582	35005
4464	41091	38095	37270	36980	36901	37319	37709	38546	39973
4684	41841	38942	38126	37845	37727	38190	38573	39402	40826
5352	43211	40540	39732	39406	39264	39725	40108	40926	42340
5855	48184	45533	44643	44283	44081	44492	44847	45655	47066
6690	50246	47693	46734	46307	46076	46428	46772	47576	48975

Σημειώνεται ότι σ' αυτήν τη διαδικασία έχει γίνει η παραδοχή ότι για φωτοβολταϊκή μονάδα ίδιας ονομαστικής ισχύος για συσσωρευτή συγκεκριμένης χωρητικότητας και ντιζελογεννητριών οι ρυθμίσεις του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{Op-min-initial}$  και του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  δε μεταβάλλονται παρά το γεγονός ότι αλλάζει το κόστος της φ/β μονάδας σημαντικά. Αυτό δεν ισχύει ακριβώς, διότι η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή αυξάνεται ελαφρώς όταν μειώνεται το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  και όταν αυξάνεται ο αρχικός ελάχιστος βαθμός φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{Op-min-initial}$ , τα οποία με αυτόν τον τρόπο έμμεσα επηρεάζουν το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής του υβριδικού συστήματος μέσω της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή και κατ' επέκταση την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου βέλτιστης λειτουργίας, το οποίο με τη σειρά του δύναται να επηρεάσει την επιλογή και της βέλτιστης λύσης. Ωστόσο με χρήση της προαναφερθείσας παραδοχής τα αποτελέσματα σε σχέση με τους χρόνους ζωής των γεννητριών και των συσσωρευτών, την ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια, τις ώρες λειτουργίας των συσσωρευτών, την απορριπτόμενη ενέργεια από την πλευρά λειτουργίας της φ/β μονάδας, την απομένουσα χωρητικότητα των συσσωρευτών μετά τη γήρανσή τους κα. παραμένουν αμετάβλητα για κάθε συνδυασμό ισχύος φ/β μονάδας – χωρητικότητας συσσωρευτή και το μόνο που μεταβάλλεται είναι το αντίστοιχο ισοδύναμο ετήσιο κόστος κατασκευής, λειτουργίας – συντήρησης λόγω της αλλαγής του κόστους κατασκευής

της φ/β μονάδας απλοποιώντας την αντίστοιχη υπολογιστική διαδικασία. Στον πίνακα 5.20 καταγράφονται ανά τιμή αποπληθωρισμένου επιτοκίου η βέλτιστη επιλογή διαμόρφωσης υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φ/β μονάδα ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW με βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων με βάση το σύνολο των στοιχείων του παραρτήματος Π.2 και τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.6, συσσωρευτές GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 με κριτήριο την ελάχιστη τιμή του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης.

**Πίνακας 5.20:** Βέλτιστη επιλογή αυτόνομου υβριδικού συστήματος ντιζελογεννητριών 2\*20 kW, φ/β μονάδας ονομαστικής ισχύος από 0 ως 24,64 kW με βήμα 3,08 kW (με το ισοδύναμο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q της Solbian ενδεικτικά) για βέλτιστη επιλογή φ/β πλαισίων και αναστροφέων παραρτήματος Π.2 με τη μεθοδολογία παραγράφου 4.6 και συσσωρευτών GEL VRLA RES SOPzV Sunlight 110 V για μεταβλητή χωρητικότητα κατά τον πίνακα 4.14 ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για διάφορα επιτόκια με την παραδοχή της μη αλλαγής λειτουργικών παραμέτρων.

α/α	Αποπληθωρισμένο επιτόκιο [%]	Ισοδύναμο πλήθος πλαισίων Sxp154Q	Τυπική ονομαστική ισχύς φ/β μονάδας παρ. 4.6 [kW]	Χωρητικότητα συσσωρευτή [Ah]	$SoC_{op-min-initial}$ [-]	$\Delta SoC$ [-]	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος [€]
1	0,0%	80	12,4	1676	0,7	0,3	16924,72
2	0,5%	80	12,4	1676	0,7	0,3	17181,45
3	1,0%	80	12,4	1676	0,7	0,3	17442,09
4	1,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	17705,45
5	2,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	17970,07
6	2,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	18238,45
7	3,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	18510,54
8	3,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	18786,28
9	4,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	19065,63
10	4,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	19342,94
11	5,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	19627,60
12	5,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	19915,66
13	6,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	20207,06
14	6,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	20501,73
15	7,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	20799,62
16	7,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	21100,66
17	8,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	21404,78
18	8,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	21711,91
19	9,0%	60	9,3	1676	0,7	0,3	22021,99
20	9,5%	60	9,3	1676	0,7	0,3	22334,94
21	10%	60	9,3	1676	0,7	0,3	22650,70

Με βάση την παραδοχή της μη μεταβολής του βέλτιστου σημείου λειτουργίας λόγω μεταβολής κόστους της φ/β μονάδας οι αντίστοιχοι συνδυασμοί και τα αποτελέσματα για το βέλτιστο σχεδιασμένο υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πέρα των δύο ντιζελογεννητριών των 20 kW λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα 5.20 και την παράγραφο 4.6 είναι οι εξής:

- Από 0,0% ως 1,0%:
  - φ/β μονάδα ισχύος 12,4 kW, τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου (α/α=95)= ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280

W, πλήθος πλαισίων 45, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=110$ )= SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=0,1$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=0,0$  m.

- Συσσωρευτής συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6SOPzV858 της εταιρείας Sunlight συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές.

Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  ίσο με 30%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής των ντιζελογεννητριών να είναι ίση με 10 έτη, δηλαδή η ονομαστική τους τιμή, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών 4,69 έτη, δηλαδή κάτω από το μίσο της ονομαστικής τους τιμής, η απομένουσα χωρητικότητα του συσσωρευτή κατά την απόσυρση στα 616,76 Ah (ή 36,76% της ονομαστικής της τιμής), η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου κίνησης 731 l, οι συνολικές ώρες λειτουργίας των ντιζελογεννητριών 287, η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια 10064 kWh, οι ημέρες έναρξης και λήξης δυσμενέστερου σεναρίου είναι 929 και 2641 αντίστοιχα. Διαπιστώνεται ότι η βέλτιστα τεχνικο-οικονομικά λύση απαιτεί την ουσιαστική λειτουργία των ντιζελογεννητριών για χρονικό διάστημα της τάξης 3,27% του χρόνου, ενώ κατά το υπόλοιπο καλύπτεται από τα φ/β πλαίσια.

- Από 1,5% ως 4,0%:

- φ/β μονάδα ισχύος 9,3 kW, τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=95$ )= ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W, πλήθος πλαισίων 34, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=110$ )= SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=0,0$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=0,0$  m.

- Συσσωρευτής συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6SOPzV858 της εταιρείας Sunlight συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές.

Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  ίσο με 30%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής των ντιζελογεννητριών να είναι ίση με 10 έτη, δηλαδή η ονομαστική τους τιμή, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών 4,66 έτη, δηλαδή κάτω από το μίσο της ονομαστικής τους τιμής, η απομένουσα χωρητικότητα του συσσωρευτή κατά την απόσυρση στα 615,9 Ah (ή 36,75% της ονομαστικής της τιμής), η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου κίνησης 844 l, οι συνολικές ώρες λειτουργίας των ντιζελογεννητριών 315, η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια 6414 kWh, οι ημέρες έναρξης και λήξης δυσμενέστερου σεναρίου είναι 944 και 2644 αντίστοιχα. Διαπιστώνεται ότι η βέλτιστα τεχνικο-οικονομικά λύση απαιτεί την ουσιαστική λειτουργία των ντιζελογεννητριών για χρονικό διάστημα της τάξης 3,60% του χρόνου, ενώ κατά το υπόλοιπο καλύπτεται από τα φ/β πλαίσια.

- Από 4,5% ως 10%:

- φ/β μονάδα ισχύος 9,3 kW, τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $\alpha/\alpha=95$ )= ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280

W, πλήθος πλαισίων 34, τύπος αναστροφέα ( $\alpha/\alpha=108$ )= SG5KTL-MT-V14 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 5 kW, πλήθος αναστροφέων= 2, επέκταση ταράτσας κατά  $xOx'=0,0$  m, επέκταση ταράτσας κατά  $yOy'=0,0$  m.

- Συσσωρευτής συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6SOPzV858 της εταιρείας Sunlight συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές.

Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή  $SoC_{op-min-initial}$  ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή  $\Delta SoC$  ίσο με 30%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής των ντιζελογεννητριών να είναι ίση με 10 έτη, δηλαδή η ονομαστική τους τιμή, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών 4,66 έτη, δηλαδή κάτω από το μίσο της ονομαστικής τους τιμής, η απομένουσα χωρητικότητα του συσσωρευτή κατά την απόσυρση στα 615,9 Ah (ή 36,75% της ονομαστικής της τιμής), η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου κίνησης 844 l, οι συνολικές ώρες λειτουργίας των ντιζελογεννητριών 315, η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τα φ/β πλαίσια 6414 kWh, οι ημέρες έναρξης και λήξης δυσμενέστερου σεναρίου είναι 944 και 2644 αντίστοιχα. Διαπιστώνεται ότι η βέλτιστα τεχνικο-οικονομικά λύση απαιτεί την ουσιαστική λειτουργία των ντιζελογεννητριών για χρονικό διάστημα της τάξης 3,60% του χρόνου, ενώ κατά το υπόλοιπο καλύπτεται από τα φ/β πλαίσια.

Δηλαδή σε όλες τις περιπτώσεις επιλέγεται ο ίδιος συσσωρευτής (2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6SOPzV858 της εταιρείας Sunlight) με την ίδια χωρητικότητα (1676 Ah), ο ίδιος τύπος φ/β πλαισίων (ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR), αλλά διαφορετικός αριθμός πλαισίων (45 από 0% ως 1%, 34 από 1,5% ως 10%), διαφορετικός τύπος αναστροφέα (SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW από 0% ως 4%, SG5KTL-MT-V14 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 5 kW από 4,5% ως το 10%). Το πλήθος των αναστροφέων είναι πάντα 2. Αντίστοιχα μεταβάλλεται το μέγεθος της ταράτσας. Πρόσθετα παρατηρείται ότι μεταβάλλεται όχι μόνο η ισχύς της φ/β μονάδας, αλλά και η διαμόρφωσή της αλλάζοντας τύπο αναστροφέων για την ίδια ισχύ.

#### *5.5.4. Σύγκριση αυτόνομου υβριδικού συστήματος με ντιζελογεννήτριες, συσσωρευτή και φωτοβολταϊκά γενικής χρήσης με το αντίστοιχο υβριδικό με ντιζελογεννήτριες, συσσωρευτή και φωτοβολταϊκά ναυπηγικής χρήσης*

Από τη σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο σχεδιάσεων (με χρήση μόνο εξειδικευμένων φ/β πλαισίων εταιρείας Solbian για ναυπηγικές χρήσεις και με χρήση φ/β πλαισίων γενικής χρήσης), όπως καταγράφονται στους πίνακες 5.16 και 5.20 πραγματοποιείται μία μείωση του συνολικού ισοδύναμου ετήσιου κόστους μεταξύ 12,45% και 12,79% για όλα τα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου με τις μεγαλύτερες τιμές για τα μικρότερα επιτόκια. Ωστόσο λόγω της μικρότερης συμμετοχής των φ/β πλαισίων στη διαμόρφωση του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η αντίστοιχη έκπτωση περιορίζεται στο  $\frac{1}{4}$  της έκπτωσης που επιτυγχάνεται για το αυτόνομο σύστημα μόνο με φ/β πλαίσια και συσσωρευτές για όλα τα επιτόκια, καθώς η τελευταία κυμαίνεται από 47,4% ως 51,7% για όλα τα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου με τις μεγαλύτερες τιμές για τα μεγαλύτερα επιτόκια.

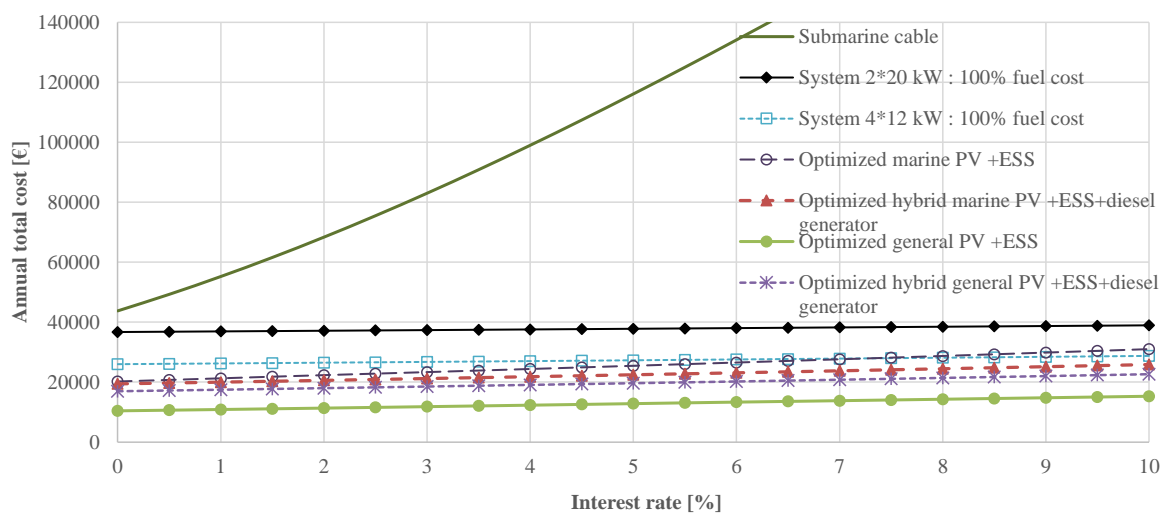


## 5.6. Σύγκριση Βασικών Λύσεων με Βελτιστοποιημένη Διαμόρφωση Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Γενικής Χρήσης και Συσσωρευτές μέσω Ανάλυσης Ευαισθησίας

Όμοια με τις παραγράφους 4.5.3, 4.8 και 5.4.3 πραγματοποιείται η σύγκριση όλων των προηγούμενων λύσεων ως προς το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής – λειτουργίας- συντήρησης σε σχέση με το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.32. Δηλαδή συγκρίνονται το αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, το αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, το υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό μέσης / χαμηλής τάσης μόνο με κόστος συντήρησής του και με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.20, το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight κατά τον πίνακα 4.33, το βέλτιστο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15 και το βέλτιστο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων γενικής χρήσης και αναστροφείς παραρτήματος 2 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.20.

Διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων και αναστροφέων του παραρτήματος 2 με χρήση συσσωρευτή RES SOPzV κατά τον πίνακα 4.33 πλεονεκτεί έναντι όλων των άλλων λύσεων, ακόμη και του υβριδικού συστήματος με χρήση φ/β πλαισίων γενικής χρήσης. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι το κόστος κατασκευής των φ/β γενικής χρήσης μαζί με το κόστος των αντίστοιχων αναστροφέων είναι σημαντικά μικρότερο έναντι της λύσης φ/β πλαισίων ναυπηγικής χρήσης, καθώς και του κόστους κατασκευής - λειτουργίας – συντήρησης των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Δηλαδή στην αρχική περίπτωση υβριδικού συστήματος με φ/β πλαίσια ναυπηγικής χρήσης το κόστος τους ήταν αρκετά υψηλό, ώστε ο περιορισμός της εγκατάστασης φ/β πλαισίων από 110 με 140 τεμάχια τύπου Sxp154Q της Solbian του πίνακα 4.20 μόλις στα 20 τεμάχια του πίνακα 5.15, δηλαδή κατά 84% περίπου, να αντισταθμίζει πλήρως και να υπάρχει οικονομικό όφελος σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης-λειτουργίας- συντήρησης των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Αντίθετα στην περίπτωση υβριδικού συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης το κόστος τους είναι πολύ μικρότερο, με συνέπεια ο περιορισμός της εγκατάστασης φ/β πλαισίων από ονομαστική ισχύ μεταξύ 21,6 ως 22,4 kW του πίνακα 4.33 σε ισχύ 9,3 με 12,4 kW του πίνακα 5.20, δηλαδή κατά 51% περίπου, να μην αντισταθμίζει το κόστος εγκατάστασης-λειτουργίας-συντήρησης των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και να μην υπάρχει οικονομικό όφελος. Επιπλέον η λύση του αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτή είναι ανεξάρτητη του κόστους καυσίμου. Ωστόσο από πλευράς αξιοπιστίας η διάταξη δεν είναι στο ίδιο επίπεδο με το υβριδικό σύστημα λόγω της έλλειψης των ντιζελογεννητριών. Μετά το αυτόνομο σύστημα με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης ακολουθεί από πλευράς ελάχιστου κόστους το υβριδικό σύστημα με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης, συσσωρευτή και ντιζελογεννήτριες, έπειτα το υβριδικό σύστημα με φ/β πλαίσια ναυπηγικής χρήσης,

συσσωρευτή και ντιζελογεννήτριες για όλα τα επιτόκια και έπειτα το αυτόνομο σύστημα με φ/β πλαίσια ναυπηγικής χρήσης και συσσωρευτή ως το επιτόκιο 7% και από εκεί πάνω η συμβατική λύση με 4 ντιζελογεννήτριες των 12 kW, ύστερα η συμβατική λύση με 2 ντιζελογεννήτριες των 20 kW και τέλος η συμβατική λύση του υποβρύχιου καλωδίου με μετασχηματιστή μέσης / χαμηλής τάσης ως η ακριβότερη από όλες.



**Σχήμα 5.32:** Ετήσιο ισοδύναμο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τροφοδοσίας οικίσκου για αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 2\*20 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 5 έτη, αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους 4\*12 kW με απόσβεση κεφαλαίου σε 10 έτη, υποβρύχιο καλώδιο και υποσταθμό, μόνο με κόστος συντήρησής του, με απόσβεση κεφαλαίου σε 50 έτη, βέλτιστο αυτόνομο σύστημα φ/β πλαισίων Sxp154Q και συσσωρευτή Sunlight RES 8 SOPzV1360 κατά τον πίνακα 4.20 (“optimized marine PV+ESS”), βέλτιστο αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης κατά την παράγραφο 4.6 με φ/β πλαίσια και αναστροφείς παραρτήματος 2 για συσσωρευτή GEL VRLA RES SOPzV Sunlight (“optimized general PV+ESS”), βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων Sxp154 και συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.15 (“optimized hybrid PV+ESS+diesel generator”), βέλτιστο αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγών ζευγών 2\*20 kW, φωτοβολταϊκών πλαισίων γενικής χρήσης και αναστροφέν παραρτήματος 2, συσσωρευτή Sunlight RES SOPzV κατά τον πίνακα 5.20 (“optimized general PV+ESS+diesel generator”) με την παραδοχή μη αλλαγής λειτουργικών παραμέτρων, ως προς το αποπληρωμένο επιτόκιο.

Χωρίς την ιδιαίτερη κοστολόγηση του επιπέδου αξιοπιστίας με τεχνικο-οικονομικά κριτήρια η επιλογή είναι για τυπική τιμή επιτοκίου 3% μία φωτοβολταϊκή μονάδα των 22,4 kW με 80 φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W, σε συνδυασμο με 3 αναστροφείς τύπου SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW με συσσωρευτές συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah / ονομαστικής τάσης 110V που απαρτίζεται από δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά τύπου RES6SOPzV850 της εταιρείας Sunlight, ενώ συγχρόνως οι πρόβολοι / επέκταση της ταράτσας πρέπει να

έχουν μήκος κατά xOx' ίσο με 3,5 m και κατά yOy' ίσο με 1,6 m. Αν ο χρήστης του έργου, στην παρούσα περίπτωση ο Α.Δ.Μ.Η.Ε., επέλεγε ακόμη πιο βελτιωμένη - συμβατική λύση από πλευράς αξιοπιστίας, τότε θα διάλεγε τη διαμόρφωση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος 2 ντιζελογεννητριών ονομαστικής ισχύος 20 kW η καθεμία, φ/β μονάδας με 20 τεμάχια Sxp154Q ή Sxp154L και δύο αναστροφείς τύπου Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40 της εταιρείας SMA ονομαστικής ισχύος 4 kW έκαστος, συσσωρευτές συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah / ονομαστικής τάσης 110V που απαρτιζόταν από δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά τύπου RES6SOPzV850 της εταιρείας Sunlight, χωρίς καμία επέκταση της ταράτσας. Άλλες λύσεις για το υβριδικό σύστημα με μεγαλύτερο πλήθος φ/β πλαϊσίων ή χωρητικότητας συσσωρευτή μπορούν να οδηγήσουν σε μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του σταθμού (εκπομπές CO<sub>2</sub>). Με τη λύση του βέλτιστου αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτές το ετήσιο ισοδύναμο κόστος μειώνεται στα 11800 € αντί των 21185 € για το βέλτιστο υβριδικό σύστημα με φ/β πλαίσια ναυπηγικής χρήσης, συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες, το οποίο αντιστοιχεί σε μείωση του κόστους κατά 44,3%.

### 6.1 Συμπεράσματα

Από την ανάπτυξη των ζητημάτων στα κεφάλαια 2 ως 5 διαπιστώνονται τα εξής:

- Διατυπώθηκαν οι βασικές αρχές αρχιτεκτονικής διαμόρφωσης του οικίσκου ελέγχου σταθμού ηλεκτροδίων γείωσης που λείπουν πρακτικά από τις σχετικές οδηγίες από την πλευρά του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE) [E8] και της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνίας (IEC) [E9] δίνοντας έμφαση σε ζητήματα αξιοπιστίας και λειτουργικότητας της αντίστοιχης εγκατάστασης, εξασφαλίζοντας συγχρόνως σχετικές κατασκευαστικές απαιτήσεις, όπως πυρασφάλειας, δομικής αντοχής υπό διάφορες καταπονήσεις, προστασίας από ηλεκτροχημικές διαβρώσεις, ενεργειακής απόδοσης, κα. (κεφάλαιο 2).
- Προσδιορίστηκαν με σαφήνεια και ακρίβεια η ζήτηση φορτίου για διαφορετικές καιρικές συνθήκες που επηρεάζει άμεσα τα υβριδικά συστήματα λαμβάνοντας τις ακραίες συνθήκες που ενδέχεται να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου (κεφάλαιο 3).
- Προσδιορίστηκε το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας για τροφοδοσία από το δίκτυο διανομής, για το αυτόνομο σύστημα με ντιζελογεννήτριες, για το αυτόνομο σύστημα με φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές με κλασική μεθοδολογία διαστασιολόγησής τους κατά το [E16] λαμβάνοντας υπόψη τη γήρανση και την αυτό-εκφόρτιση των συσσωρευτών που στις περισσότερες μελέτες δε λαμβάνεται υπόψη, ενώ είναι κρίσιμα στοιχεία για τη βιωσιμότητα του έργου. Το κριτήριο σύγκρισης είναι το ετήσιο ανηγμένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της εκάστοτε λύσης, οπότε έγινε φανερό ότι το αυτόνομο σύστημα με φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 19,71 kW για ναυπηγικές εφαρμογές και συσσωρευτές AGM VRLA χωρητικότητας 2400 Ah υπό ονομαστική τάση 108 V είναι η καλύτερη λύση για επιτόκια ως 3%, ενώ από εκεί και πάνω το αυτόνομο σύστημα με 4 ντιζελογεννήτριες των 12 kW πλεονεκτεί οικονομικά. Αντίθετα σε όλες τις περιπτώσεις υπολείπεται η διασύνδεση. Πρόσθετα έγινε ανάλυση ευαισθησίας σε διάφορες παραμέτρους, όπως στο αποπληθωρισμένο επιτόκιο των διαφόρων επενδύσεων, το κόστος καυσίμου των ντιζελογεννητριών, το κόστος εγκατάστασης των συσσωρευτών κτλ. Από την τελευταία φάνηκε η μεγάλη ευαισθησία της λύσης του αυτόνομου συστήματος ντιζελογεννητριών στο κόστος καυσίμου (παράγραφος 4.4).
- Πραγματοποιήθηκε μία διαδικασία βέλτιστης διαμόρφωσης αυτόνομου συστήματος φ/β πλαισίων και συσσωρευτή μέσω εξαντλητικών δοκιμών και ανάλυσης ευαισθησίας ως προς το πλήθος των πλαισίων, το είδος των συσσωρευτών και τη χωρητικότητά τους. Αποδείχτηκε ότι ο συσσωρευτής τύπου GEL VRLA (τύπου RES SOPzV της Sunlight) πλεονεκτεί έναντι της αντίστοιχης εφαρμογής με συσσωρευτή AGM VRLA Narada. Για ενδεικτικά επιτόκια μεταξύ 2,0% ως 5,5% προτείνεται τελικά η χρήση αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 17,71 kW για

ναυπηγικές εφαρμογές (Sxp154 της Solbian) και συσσωρευτές RES SOPzV χωρητικότητας 2676 Ah υπό ονομαστική τάση 110 V. Επιπλέον πλεονεκτεί έναντι της χρήσης ντιζελογεννητριών 4\*12 kW για επιτόκια ως 7% και έναντι των συμβατικών λύσεων (υποβρυχίου καλωδίου, ντιζελογεννητριών 2\*20kW) για όλα τα επιτόκια (παράγραφος 4.5).

- Αναπτύχθηκε μία μέθοδος βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού σταθμού ελαχιστοποιώντας το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κατασκευής-λειτουργίας, όπου για κάθε αποπληθωρισμένο επιτόκιο ανάκτησης κεφαλαίου ανά τύπο φ/β πλαισίου: (α) υπολογίζεται για κάθε τιμή πλήθους τεμαχίων η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς του σταθμού, (β) διαμορφώνεται ανά τύπο αναστροφέα η δομή της φ/β μονάδας λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς τάσης / ρεύματος / ισχύος των φ/β πλαισίων, των στοιχειοσειρών και των αναστροφέων υπό συνθήκες ανοικτοκύκλωσης, βραχυκύκλωσης, μέγιστης απόδοσης ισχύος και υπολογίζεται το αντίστοιχο ανηγμένο κόστος εγκατάστασης και το κόστος λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες αναστροφέα για δεδομένη τυπική ετήσια παραγόμενη ενέργεια εκ μέρους των φ/β πλαισίων και επιλεγεται από όλους τους αναστροφείς εκείνος με το μικρότερο κόστος, (γ) υπολογίζεται το κόστος κατάληψης έκτασης γης λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων και της ταράτσας που τοποθετούνται μαζί με τους απαραίτητους διαδρόμους κα., (δ) προσδιορίζεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος ανά τύπο πλαισίου με «κβαντισμένη» μορφή, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διαφορετικών φ/β πλαισίων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε 133 διαφορετικούς τύπους φ/β πλαισίων γενικής και ναυπηγικής χρήσης και 205 διαφορετικούς τύπους αναστροφέων εξετάζοντας 27625 συνδυασμούς και για διαφορετικά επιτόκια και επίπεδα ισχύος προσδιορίζονται οι αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές, όπου κυριαρχούν με τις τρέχουσες τιμές τα φ/β πλαίσια γενικής χρήσης με μεγάλη ισχύ της τάξης 300 W ανά πλαίσιο των εταιρειών Luxor και Trina και αναστροφείς των εταιρειών Sungrow με ονομαστική ισχύ 5 ως 10 kW και Goodwe με ισχύ 15 ως 17 kW (παράγραφος 4.6).
- Με βάση τη μέθοδο βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού σταθμού και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων και επειδή η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή εξαρτάται πρακτικά από την ισχύ του αυτόνομου συστήματος φ/β πλαισίων προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκού σταθμού με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας ανάμεσα στην περίπτωση επιλογής από το σύνολο των πλαισίων της εταιρείας Solbian και στην περίπτωση επιλογής από το σύνολο όλων των φ/β πλαισίων και αναστροφέων υπό εξέταση σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ του υπό διαμόρφωση φ/β σταθμού για τα διάφορα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου. Με χρήση αυτής της διαφοράς υπολογίζεται το αντίστοιχο ισοδύναμο ετήσιο κόστος κατασκευής – λειτουργίας του αυτόνομου σταθμού για φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτών, όπου η ανωτερότητα του συσσωρευτή τύπου GEL VRLA (RES SOPzV της Sunlight) διατηρείται συνολικά, ενώ πραγματοποιείται μία μείωση του συνολικού ισοδύναμου ετήσιου κόστους μεταξύ 47,4% και 51,7% για όλα τα αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου με τις μεγαλύτερες τιμές για τα μεγαλύτερα επιτόκια. Για ενδεικτικά επιτόκια μεταξύ 0% ως 5% προτείνεται τελικά η

χρήση αυτόνομου συστήματος με φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 22,4 kW με 80 πλαίσια τύπου ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W έκαστο, σε συνδυασμό με 3 αναστροφείς τύπου SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW με συσσωρευτές συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah / ονομαστικής τάσης 110V που απαρτιζόνται από δύο παράλληλες σειρές των 55 στοιχείων σε σειρά τύπου RES6SOPzV850 της εταιρείας Sunlight, ενώ συγχρόνως οι πρόβολοι / επέκταση της ταράτσας θα έπρεπε να έχουν μήκος κατά xOx' ίσο με 3,5 m και κατά yOy' ίσο με 1,6 m (παράγραφος 4.7). Επιπλέον πλεονεκτεί έναντι όλων των άλλων λύσεων για όλα τα επιτόκια (παράγραφος 4.8).

- Παρουσιάστηκε η διαμόρφωση και η μέθοδος αξιολόγησης ενός υβριδικού αυτόνομου συστήματος με ντιζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτή τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και από πλευράς αξιοπιστίας επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη λειτουργία των θερμικών μονάδων, όταν απαιτούνται να λειτουργήσουν, ρυθμίζοντας κατάλληλα παραμέτρους, όπως τον αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή, το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή κα.. Τόσο σε επίπεδο προμελέτης, όσο και μετά από εξαντλητικές δοκιμές διαφορετικού πλήθους πλαισίων ναυπηγικών εφαρμογών και χωρητικοτήτων συσσωρευτών προτείνεται η χρήση υβριδικού συστήματος με δύο ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη / ντιζελογεννήτριες των 20 kW, 20 φ/β πλαίσια Sxp154Q ή Sxp154L συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 3,08 kW, με δύο αναστροφείς Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40, με συσσωρευτή συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6 SOPzV 858 συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές. Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή ίσο με 30%. Πλεονεκτεί ως λύση όταν συγκρίνεται οικονομικά με όλες τις άλλες λύσεις για όλα τα επιτόκια, ακόμη και αν αυξηθεί το κόστος καυσίμου κατά 37% για μηδενικό επιτόκιο ή κατά 100% για επιτόκιο 3%, εκτός της περίπτωσης του αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτών, ως προς την οποία υστερεί οικονομικά (παράγραφος 5.4).
- Με βάση τη μέθοδο βέλτιστης διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού σταθμού, των αντίστοιχων αποτελεσμάτων και κάνοντας την παραδοχή ότι για φωτοβολταϊκό σταθμό ίδιας ονομαστικής ισχύος για συσσωρευτή συγκεκριμένης χωρητικότητας και ντιζελογεννήτριες οι ρυθμίσεις του αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή και του ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή δε μεταβάλλονται παρά το γεγονός ότι αλλάζει το κόστος του φ/β σταθμού σημαντικά, προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ ετήσιων ισοδύναμων κοστών κατασκευής – λειτουργίας φωτοβολταϊκού σταθμού με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας ανάμεσα στην περίπτωση επιλογής από τα πλαίσια Sxp154 της εταιρείας Solbian και στην περίπτωση επιλογής από το σύνολο όλων των φ/β πλαισίων και αναστροφέων υπό εξέταση σε συνάρτηση με την ονομαστική ισχύ του υπό διαμόρφωση φ/β σταθμού για τα διάφορα

αποπληθωρισμένα επιτόκια ανάκτησης κεφαλαίου. Με χρήση αυτής της διαφοράς υπολογίζεται το αντίστοιχο ισοδύναμο ετήσιο κόστος κατασκευής – λειτουργίας-συντήρησης του αυτόνομου υβριδικού σταθμού για ντιζελογεννήτριες, φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτών, όπου πραγματοποιείται μία μείωση του συνολικού ισοδύναμου ετήσιου κόστους της τάξης 12,6% για όλα τα αποπληθωρισμένα επιτόκια. Για ενδεικτικά επιτόκια μεταξύ 1,5% ως 4% προτείνεται η χρήση υβριδικού συστήματος με δύο ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη / ντιζελογεννήτριες των 20 kW, 34 φ/β πλαίσια ECO LINE HALF-CELLS P120/280W της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 280 W συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 9,52 kW, με δύο αναστροφείς SG8KTL-MT-V13 της εταιρείας Sungrow ονομαστικής ισχύος εξόδου 8 kW έκαστο, με συσσωρευτή συνολικής χωρητικότητας 1676 Ah που απαρτίζεται από 2 συστοιχίες των 55 στοιχείων Res6 SOPzV 858 συνδεδεμένων σε σειρά, με δύο αντίστοιχους φορτιστές. Η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται έχοντας αρχικό ελάχιστο βαθμό φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή ίσο με 70% και ελάχιστο απαιτούμενο εύρος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή ίσο με 30% (παράγραφος 5.5). Πλεονεκτεί ως λύση όταν συγκρίνεται οικονομικά με όλες τις άλλες λύσεις για όλα τα επιτόκια, εκτός της περίπτωσης του αυτόνομου συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης και συσσωρευτών, καθώς στην περίπτωση υβριδικού συστήματος με φ/β πλαίσια γενικής χρήσης το κόστος τους είναι πολύ μικρότερο, με συνέπεια ο περιορισμός της εγκατάστασης φ/β πλαισίων από ονομαστική ισχύ μεταξύ 21,6 ως 22,4 kW του πίνακα 4.33 σε ισχύ 9,3 με 12,4 kW του πίνακα 5.20, δηλαδή κατά 51% περίπου, να μην αντισταθμίζει το κόστος εγκατάστασης-λειτουργίας-συντήρησης των ντιζελο-γεννητριών και να μην υπάρχει οικονομικό όφελος. Ωστόσο από πλευράς αξιοπιστίας η διάταξη του αυτόνομου συστήματος δεν είναι στο ίδιο επίπεδο με το υβριδικό σύστημα λόγω της έλλειψης των ντιζελογεννητριών. (παράγραφος 5.6).

## 6.2 Μελλοντικά βήματα

Στα πλαίσια αυτής της ερευνητικής εργασίας ο βασικός στόχος είναι η ανάπτυξη, η σχεδίαση και η βέλτιστη λειτουργία υβριδικού αυτόνομου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά πλαίσια, συσσωρευτές και ντιζελογεννήτριες για την περίπτωση του οικίσκου της Σταχτορρόης λαμβάνοντας υπόψη κρίσιμες παράμετρους, όπως τους περιορισμούς λειτουργίας ντιζελογεννητριών, συσσωρευτών, την πραγματική διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, κτλ., τα οποία πρέπει να διερευνηθούν συγχρόνως. Μπορούν να μελετηθούν επιπλέον τα εξής ζητήματα:

- Χρήση περισσότερων ειδών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, γεννητριών, κτλ. καθώς και των οικονομικών μεγέθων τους.
- Διερεύνηση των βασικών κριτηρίων λειτουργίας υβριδικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η προτεραιοποίηση λειτουργίας των διαφορετικών πηγών ενέργειας (ειδικά των εφεδρικών θερμικών μονάδων), η απαιτούμενη παραγωγή ισχύος – ενέργειας κατά τη λειτουργία, καθώς η χρονική στιγμή λειτουργίας τους.

- Ανάπτυξη αλγορίθμου βελτιστοποίησης σχεδίασης του υβριδικού σταθμού λαμβάνοντας υπόψη τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του μέσω πραγματικών δεδομένων ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας.
- Εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων βελτιστοποίησης, πέρα της εξαντλητικής αναζήτησης μεταξύ υπαρκτών τεχνικών λύσεων, προκειμένου να επιτευχθούν λογικοί χρόνοι εκτέλεσης προγραμμάτων προσομοίωσης λειτουργίας και να αποφευχθούν παραδοχές, όπως της μη μεταβολής των ρυθμίσεων αρχικού ελάχιστου βαθμού φόρτισης λειτουργίας συσσωρευτή και ελάχιστου απαιτούμενου εύρους μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου βαθμού φόρτισης συσσωρευτή κατά τη μεταβολή του κόστους κατασκευής φ/β σταθμού ίδιας ονομαστικής ισχύος, που έχει εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία μετά την εξαντλητική αναζήτηση ρύθμισης των παραμέτρων για τους υβριδικούς σταθμούς με φ/β πλαίσια ναυπηγικών εφαρμογών.
- Αντιμετώπιση επιμέρους προβλημάτων, όπως περιορισμούς δυναμικής φόρτισης / εκφόρτισης συσσωρευτών.
- Χρήση πρόσθετων κριτηρίων για την αξιολόγηση λύσης, όπως αξιοπιστίας συστήματος, εκπομπών αέριων ρύπων κα.
- Διερεύνηση γενίκευσης εφαρμογής του αναπτυσσόμενου αλγορίθμου εντάσσοντας και άλλες μορφές Α.Π.Ε., π.χ. ανεμογεννήτριων.



Βιβλιογραφία – Πηγές στην ελληνική γλώσσα

[E1] Β.Κ. Παπαδιάς, Γ. Κονταξής: «Ηλεκτρική Οικονομία», 1<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1999.

[E2] Α. Γ. Μπακιρτζής: «Οικονομική λειτουργία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας», Εκδόσεις Ζήτη, 1998, σελ. 376.

[E3] Α. Γ. Αναστασιάδης: «Συμβολή στην Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Συστημάτων Συμπαράγωγης Ηλεκτρισμού και Θερμότητας», Διδακτορική διατριβή, Νοέμβριος 2014, σελ. 422.

[E4] Ε. Λεκατσάς: «Οικονομική ανάλυση ηλεκτρικών συστημάτων – προβλήματα προσαρμογής εν όψει της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού», ΤΕΕ, 2000, σελ. 410.

[E5] Β. Ράλλης: «Χρηματιστήριο ηλεκτρικής ενέργειας – Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας», IENE 28 Μαρτίου 2018.

[E6] Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης: «Σύνθεση ενεργειακών συστημάτων», Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, 2015, σελ. 398.

[E7] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής: «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμοι Ι και ΙΙ, 1<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1996, σελ. 256.

[E8] Ι.Κ. Χατζηλάου, Γ.Ι. Τσεκούρας: «Θεωρία και πράξη ηλεκτρικών μηχανών», Διδακτικό εγχειρίδιο Σ.Ν.Δ., 2010.

[E9] «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – έκδοση 2017», ΦΕΚ – Τεύχος Β, Αρ. Φύλλο 2367, 12 Ιουλίου 2017, σελ. 20.

[E10] «Έγκριση και εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών ΤΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων», ΦΕΚ – Τεύχος Β, Αρ. Φύλλο 4003, 17 Νοεμβρίου 2017, σελ. 600.

[E11] «Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων – έκδοση 2018», Π.Δ. υπό αριθμόν 41/2018, ΦΕΚ – Τεύχος Α, Αρ. Φύλλο 80, 7 Μαΐου 2018, σελ. 72

[E12] Neufert: «Οικοδομική & Αρχιτεκτονική Σύνθεση», Εκδότης Μ. Γκιούρδας, 33η έκδοση, 1992, σελ. 569.

[E13] Ν. Καλογεράς, Χ. Κριπτόν, Γ. Μακρής, Ι. Παπαϊωάννου, Σ. Ραυτόπουλος, Μ. Τζίτζας, Π. Τουλιάτος: «Θέματα Οικοδομικής», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, σελ. 275.

[E14] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας – Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας - «ΕΑΚ 2000 - Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000», Απρίλιος 2001, σελ.265.

[E15] Κ. Μέμος: «Μαθήματα Λιμενικών Έργων», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, σελ. 404.

[E16] Κ. Θ. Δέρβος: «Φωτοβολταϊκά Συστήματα – από τη θεωρία στην Πράξη», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Ιανουάριος 2013, σελ. 526.

[E17] Β.Δ. Μπιτζιώνης Δ.Β. Μπιτζιώνης: «Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας», Εκδόσεις Τζιόλα, 2011, σελ. 744.

[E18] Π.Δ. Μπούρκας: «Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1998, σελ. 409.

- [E19] Γ. Μαλαχίας, Π. Μιχάλης: «Κεντρικές θερμάνσεις με μονοσωλήνιο», Εκδόσεις Ίων, 1992, σελ. 254.
- [E20] Ευθ. Α. Βουσούρας: «Μηχανές εσωτερικής καύσης», Αθήνα 1980, σελ. 384.
- [E21] Χάρτης συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Ελλάδας / Α.Δ.Μ.Η.Ε. <http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/chartis/>
- [E22] Προκαταρκτική Έκθεση για το «Ερευνητικό έργο διερεύνησης της βέλτιστης διαμόρφωσης συστήματος ηλεκτροδίων γείωσης καλωδίωσης συνεχούς υψηλής τάσης (HVDC) για μεγάλου μήκους διασυνδέσεις Αττικής-Κρήτης», 2019, σελ. 458.

#### Βιβλιογραφία – Πηγές σε ξένες γλώσσες

- [E1] J.A. Momoh, “Electric power system applications of optimization”, Marcen Dekker Inc., New York, USA, 2001.
- [E2] F. Saccomano, “Electric power systems, analysis and control”, Wiley Interscience, IEEE Press, Piscataway, USA, 2003.
- [E3] M.E.EL.Hawary, G.S.Christensen: “Optimal Economic Operation of Electric Power Systems”, Mathematics in Science and Engineering, Vol. 142, 1979, vol. 32, pp.297.
- [E4] Distributed Generation Education Modules, <http://www.dg.history.vt.edu/index.html>, October, 2008.
- [E5] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, W. D’haeseleer and R. Belmans, “Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues”, K.U. Leuven- Energy Institute, August 2003.
- [E6] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziaargyriou, A. Dimeas: “Microgrids management”, IEEE power and energy magazine, vol. 6, no.3, pp.54-65, 2008.
- [E7] George N. Sakalis , George J. Tzortzis and Christos A. Frangopoulos: “Intertemporal Static and Dynamic Optimization of Synthesis, Design, and Operation of Integrated Energy Systems of Ships”, Energies 2019, 12, 893; doi:10.3390/en12050893, p. 50.
- [E8] General Guidelines for HVDC electrode design, 675, CIGRE, Working group B4.61, January 2017.
- [E9] Design of earth electrode stations for high voltage direct current (HVDC) links – General guidelines, IEC/TS 62344, edition 1.0, IEC, 2013.
- [E10] “Technical description of shoreline electrodes for HVDC link Attica-Crete,” Ariadni Interconnection, Athens, Greece, Dec. 24, 2019.
- [E11] Switchgear Manual 11<sup>th</sup> edition, ABB AG, Berlin, Germany, 2008, pp. 1-896.
- [E12] M. Das, M. A. Kumar Singh, A. Biswas, “Techno-economic optimization of an off-grid hybrid renewable energy system using metaheuristic optimization approaches – Case of a radio transmitter station in India,” Energy Conversion and Management, vol. 185, pp. 339-352, 2019, 10.1016/j.enconman.2019.01.107.
- [E13] B. Loganathan, H. Chowdhury, I. Mustary, S. M. Sony, M. M. Rana, F. Alam, “Design of a hybrid household power generation system for a rural area: A case study for Oodnadatta, Australia,” Energy Procedia, vol. 160, pp. 827-833, 2019, 10.1016/j.egypro.2019.02.151.
- [E14] A. Giallanza, M. Poretto, G. L. Puma, G. Marannano, “A sizing approach for stand-alone hybrid photovoltaic-wind-battery systems: A Sicilian study case,” Journal of Cleaner Production, vol. 199, pp. 817-830, 2018, 10.1016/j.clepro.2018.07.223.

- [E15] D. Al. Katsaprakakis, I. Dakanali, C. Condaxakis, D.G. Christakis, “Comparing electricity storage technologies for insular grids,” *Applied Energy*, vol. 251, pp. 1-16, 2019, 10.1016/j.apenergy.2019.113332.
- [E16] S. Ahmadi, S. Abdi, “Application of the hybrid big bang-big crunch algorithm for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system,” *Solar Energy*, vol. 134, pp. 366-374, 2016, 10.1016/j.solener.2016.05.019.
- [E17] M. J. Khan, A. K. Yadav, L. Mathew, “Techno economic feasibility analysis of different combinations of PV- wind-diesel-battery hybrid system for telecommunication applications in different cities of Punjab, India,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 577-607, 2017, 10.1016/j.rser.2017.03.076.
- [E18] M. J. H. Moghaddam, A. Kalam, S.A. Nowdeh, A. Ahmadi, M. Babanezhad, S. Saha, “Optimal sizing and energy management of stand-alone hybrid photovoltaic / wind system based on hydrogen storage considering LOEE and LOLOE reliability indices using flower pollination algorithm,” *Renewable Energy*, vol. 135, pp. 1412-1434, 2019, 10.1016/j.renene.2019.09.078.
- [E19] A. Yahiaoui, F. Fodhil, K. Benmansour, M. Tadjine, N. Cheggaga, “Grey wolf optimizer for optimal design of hybrid renewable energy system PV-diesel generator – battery: Application to the case of Djanet city of Algeria,” *Solar Energy*, vol. 158, pp. 941-951, 2017, 10.1016/j.solener.2017.10.040.
- [E20] S. Mandal, B. K. Das, N. Hoque, “Optimum sizing of a stand-alone hybrid energy system for rural electrification in Bangladesh,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 200, pp. 12-27, 2018, 10.1016/j.clepro.2018.07.257.
- [E21] M. A.M. Ramli, H. R.E.H. Boucekara, A. S. Alghamdi, “Optimal sizing of PV / wind / diesel hybrid microgrid system using multi-objective self-adaptive differential evolution algorithm,” *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 400-411, 2018, 10.1016/j.renene.2018.01.058.
- [E22] J. S. Anagnostopoulos, D.E. Papantonis, “Simulation and size optimization of a pumped-storage power plant for recovery of wind-farms rejected energy,” *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 1685-1694, 2008, 10.1016/j.renene.2007.08.001.
- [E23] S. V. Papaefthymiou, S. A. Papathanassiou, “Optimum sizing of wind – pumped – storage hybrid power stations in island systems,” *Renewable Energy*, vol. 64, pp. 187-196, 2014, 10.1016/j.renene.2013.10.047.
- [E24] J.-L. Duchaud, G. Notton, C. Darras, C. Voyant, “Multi-objective particle swarm optimal sizing of a renewable hybrid power plant with storage,” *Renewable Energy*, vol. 131, pp. 1156-1167, 2019, 10.1016/j.renene.2018.08.058.
- [E25] S. Sanajaoba, “Optimal sizing of off-grid hybrid energy system based on minimum cost of energy and reliability criteria using firefly algorithm,” *Solar Energy*, vol. 188, pp. 655-666, 2019, 10.1016/j.solener.2019.06.049.
- [E26] S. V. Papaefthymiou, E. G. Karamanou, S. A. Papathanassiou, M. P. Papadopoulos, “A wind-hydro-pumped – storage station leading to high RES penetration in the autonomous island system of Ikaria,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 1, no.3, pp. 163-172, Oct. 2010, 10.1109/TSTE.2010.2059053.

- [E27] E. Gul, C. Kang, J. Wang, “Multi-objective short-term integration of hydrothermal operation with wind and solar power using nonlinear programming,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 6274-6281, 2019, 10.1016/j.egypro.2019.01.447.
- [E28] G.S.Chaurasia, A.K.Singh, S.Agrawal, N.K. Sharma, “A meta-heuristic firefly algorithm based smart control strategy and analysis of a grid connected hybrid photovoltaic/wind distributed generation system,” *Solar Energy*, vol. 150, pp. 265-274, 2017, 10.1016/j.solener.2017.03.047.
- [E29] I.Devederkin, G.Nikitenko, S.Antonov, A.Lysakov, “Autonomous wind power system for remote sheep farms,” in *Proc. Engineering for Rural Development*, Jelgava, Latvia, pp. 1497-1502, ERDev.2019.18.N405.
- [E30] E. Solomin, I. Kirpichnikova, R. Amerkhanov, D. Korobatov, M. Lutovats, A. Martyanov, “Wind-hydrogen standalone uninterrupted power supply plant for all-climate application,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, pp. 3433-3449, 2019, 10.1016/j.ijhydene.2018.12.001.
- [E31] H. K. Woud, D. Stapersma, *Design of propulsion and electric power generation systems*, IMarEST Publications, England: London, 2002, pp. 1-494.
- [E32] E. H. J. Pallet, *Aircraft Electrical Systems*, Pearson Prentice Hall, England: Essex, 1987, pp. 1-231.
- [E33] Katsaprakakis DA, Christakis DG, Pavlopoylos K, et al. “Introduction of a wind pumped storage system in the isolated insular power system of Karpathos-Kasos,” *Appl Energy* 2012, vol.97, pp. 38-48.
- [E34] <https://www.elebor.gr/datafiles/files/0707%20DURGLASS%20FL%20%20GLASSPREE%20160909.pdf>
- [E35] NFPA “Standard for the installation of sprinkler systems”, 2013 edition, σελ. 5
- [E36] <http://exarhopoulos.gr/wp-content/uploads/2016/03/aquatherm-egxeiridio.pdf>
- [E37] [https://solbian.gr/index.php?route=product/product&path=20\\_62&product\\_id=74](https://solbian.gr/index.php?route=product/product&path=20_62&product_id=74)
- [E38] [http://www.hindernisfeuer-online.de/download/datasheet/2015\\_lg7404\\_2\\_10cd\\_engl.pdf](http://www.hindernisfeuer-online.de/download/datasheet/2015_lg7404_2_10cd_engl.pdf)
- [E39] <https://adbsafegate.com/documents/7851/en/manual-reliance-obstruction-light-1-810l-with-ir>
- [E40] [http://www.knauf.gr/www/el/plasters\\_4/products/insulation\\_1/insulation.html](http://www.knauf.gr/www/el/plasters_4/products/insulation_1/insulation.html)
- [E41] <http://www.tsolakidis.com.gr/wp-content/uploads/NEOPOR-by-BASF%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9C%CE%9F%CE%9D%CE%A9%CE%A3%CE%97-.pdf>
- [E42] [https://www.inventoraircondition.gr/klimatistika/oikiakatoixou/premium?gclid=CjwKCAiAjMHwBRAVEiwAzdLWGNazMRBYnpAynRN685J3P04ZkBmRRYpn\\_hzSw465TJwxOjVx9ngTaxoC3zYQAvD\\_BwE](https://www.inventoraircondition.gr/klimatistika/oikiakatoixou/premium?gclid=CjwKCAiAjMHwBRAVEiwAzdLWGNazMRBYnpAynRN685J3P04ZkBmRRYpn_hzSw465TJwxOjVx9ngTaxoC3zYQAvD_BwE)
- [E43] [https://www.public.gr/product/afygrantiras-mikron-horon-puredry-pd-625/prod9570097pp?gclid=CjwKCAiA6bvWBRBbEiwAUER6JXfug2CKbMdDnjLswp4L\\_gj375LOmSrWLJwhWQoOCkP6Y0m5qxWIEhoCJUoQAvD\\_BwE](https://www.public.gr/product/afygrantiras-mikron-horon-puredry-pd-625/prod9570097pp?gclid=CjwKCAiA6bvWBRBbEiwAUER6JXfug2CKbMdDnjLswp4L_gj375LOmSrWLJwhWQoOCkP6Y0m5qxWIEhoCJUoQAvD_BwE) (αφυγραντήρας puredry pd25)
- [E44] <https://www.kafkas.gr/proionta/psyxi-thermansia-exaerismos-klimos/exaerismos/exaeristires/>
- [E45] <https://support.industry.siemens.com/tf/WW/en/posts/power-consumption/155421?page=0&pageSize=10>

- [E46] <https://www.kompulsa.com/much-power-computers-consume/>
- [E47] [https://www.hikvision.com/mtsc/uploads/download/2018\\_Q3\\_EU\\_CCTV\\_Catalogue.PDF](https://www.hikvision.com/mtsc/uploads/download/2018_Q3_EU_CCTV_Catalogue.PDF)
- [E48] <https://www.ergo-light.gr/index.php?cPath=262>
- [E49] <https://www.mrled.gr/-antistoichia-fotistikis-apodosis-metaksu-lamptira-puraktoseos-lamptira-fthorismou-kai-lamptira-led.html>
- [E50] <https://www.telethermansia.gr/Upload/Docs/DANFOSS%20BFP%2021.pdf>
- [E51] [https://www.stafilopatis.gr/wp-content/uploads/2016/04/SAM\\_SAT300.pdf](https://www.stafilopatis.gr/wp-content/uploads/2016/04/SAM_SAT300.pdf)
- [E52] <https://www.appliedcompression.com/wp-content/uploads/sites/188/2017/11/Vector-1000-Web.pdf>
- [E53] [http://www.dieselserviceandsupply.com/Diesel\\_Fuel\\_Consumption.aspx](http://www.dieselserviceandsupply.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx)
- [E54] <http://usersupport.homerenergy.com/customer/en/portal/articles/2188634-diesel-o-m-costs>
- [E55] C. F. Matt, L. S. R. Vieira, G. F. W. Soares, L. P. T. de Faria: “Optimization of the Operation of Isolated Industrial Diesel Stations”, 6th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Rio de Janeiro, 30 May - 03 June 2005, Brazil, pages 10.
- [E56] <http://www.europe-solarshop.com/>
- [E57] ABB: «Distribution Transformers Catalogue»
- [E58] Yang Yang, Chong Lian, Chao Ma, Yusheng Zhang: “Research on energy storage optimization for large-scale PV power station under given long-distance delivery mode”, *Energies*, 2020, 13, 27, p. 20; doi:10.3390/en13010027.
- [E59] Shu Wang, Shuran Liu, Fan Yang, Xiaohui Bai, Shuo Wang, Chengyan Yue: “Novel Power Allocation Approach in a Battery Storage Power Station for Aging Minimization”, *Frontiers on Energy Research*, January 2020, vol. 7, article 166, doi: 10.3389/fenrg.2019.00166.
- [E60] PowerThru: “Lead acid battery working – lifetime study”, Technical paper, p.13.
- [E61] Sunlight: “Reserve power RES SOzV Batteries – cyclic applications”, p.6.
- [E62] [https://batteryuniveristy.com/learn/article/bu\\_215\\_summary\\_table\\_of\\_nickel\\_based\\_batteries](https://batteryuniveristy.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries)
- [E63] <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/summary-and-comparison-of-battery-characteristics>
- [E64] Hein Kyaw, Sidun Fang, Yan Xu, Gary Wilson: “Optimal multi-objective scheduling of hybrid ferry with shore to shore power supply considering energy storage degradation”, *Electronics*, 2020, vol. 9, article 849, doi:10.3390/electronics9050849.
- [E65] PowerThru: “Lead acid battery working – lifetime study”, Technical paper, p.13.
- [E66] <https://www.smartcover.gr/>
- [E67] <https://www.mipesun.gr/>
- [E68] <https://www.acdc.com.tr/en>
- [E69] [www.indiamart.com](http://www.indiamart.com)
- [E70] <https://www.powerstore.com/>
- [E71] NFPA 855, “Standard for the installation of stationary energy storage systems”, 2020 edition.
- [E72] [https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/855/Proposed\\_TIA\\_1466\\_NFPA\\_855.pdf](https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/855/Proposed_TIA_1466_NFPA_855.pdf)

[E73] UL9540, “The North American Safety Standard for the energy storage system and equipment”, 2016.

[E74] [https://batteryuniveristy.com/learn/article/bu\\_215\\_summary\\_table\\_of\\_nickel\\_based\\_batteries](https://batteryuniveristy.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries)

[E75] Katsaprakakis DA, Christakis DG, Stefanakis I, Spanos P, Stefanakis N. “Technical details regarding the design, the construction and the operation of seawater pumped storage systems,” Energy 2013, vol. 55, pp. 619-30.

[E76] K. R. Khalilpour, A. Vassalo, “Technoeconomic parametric analysis of PV-battery systems,” Renewable energy, 2016, vol. 97, pp.757-768, 10.1016/j.renene.2016.06.010.

[E77] J.K. Kaldellis, D. Zafirakis, K. Kavadias, “Techno-economic of energy storage systems for island autonomous electrical networks,” Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009, vol.13, pp.378-392, 10.1016/j.rser.2007.011.002.

[E78] J.-L. Duchaud, G. Notton, A. Foulloy, C. Voyant, “Hybrid renewable power plant sizing – Graphical decision tool, sensitivity analysis and applications in Ajaccio and Tilos,” Applied Energy, 2019, vol. 254, p. 8, 10.1016/j.apenergy.2019.0113601.

[E79] J. K. Kaldellis, D. Zafirakis, “Optimum sizing of stand-alone wind photovoltaic hybrid systems for representative wind and solar potential cases of the Greek Territory,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, vol. 107-108, pp. 169-178, 10.1016/j.jweia.2012.04.013.

[E80] A. Kaabeche, Y. Bakelli, “Renewable hybrid system size optimization considering various electrochemical energy storage technologies,” Energy conversion and management, 2019, vol. 193, pp. 162-175, 10.1016/j.enconman.2019.04.064.

[E81] T. Mao, M. S. Javed, “Intergrated sizing of hybrid PV-wind-battery system for remote island considering the saturation of each renewable energy resource,” Energy conversion and management, 2019, vol. 182, pp. 178-190, 10.1016/j.enconman.2018.12.059.

[E82] A.C. Duman, O. Guler, “Techno-economic analysis of off-grid PV/wind/fuel cell hybrid system combinations with a comparison of regularly and seasonally occupied households,” Sustainable cities and society 2018, vol. 42, pp.107-126, 10.1016/j.scs.2018.06.029.

[E83] A. Khiareddine, C.B. Salah, D. Rekioua, M.F. Mimouni, “Sizing methodology for hybrid photovoltaic / wind / hydrogen/ battery integrated to energy management strategy for pumping system,” Energy, 2018, vol. 153, pp. 743-762, 10.1016/j.energy.2018.04.073.

[E84] <https://www.europe-solarstore.com/solar-panels/manufacturer.html>

[E85] <https://www.europe-solarstore.com/solar-inverters.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Παράρτημα Κωδίκων

### Π.1.1. Κώδικας Υπολογισμού Ετήσιου Κόστους Εγκατάστασης – Συντήρησης Λειτουργίας Υποβρυχίου Καλωδίου και Υποσταθμού Μέσης / Χαμηλής Τάσης για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης από Αίγινα

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους εγκατάστασης – λειτουργίας – συντήρησης υποβρυχίου καλωδίου και υποσταθμού μέσης / χαμηλής τάσης για την τροφοδοσία με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του οικίσκου του νησιού Σταχτορρόης από τη νήσο Αίγινα έχοντας ως δεδομένα την κατανάλωση φορτίου χωρίς κλιματισμό, φορτίου λόγω θέρμανσης και φορτίου λόγω ψύξης, τόσο για ομαλή λειτουργία για (365-12) ημέρες / έτος, όσο και για λειτουργία σε φάση συντήρησης για 12 ημέρες / έτος, τα ιστορικά δεδομένα τριώρων θερμοκρασιών (μέσω των οποίων υπολογίζεται το αντίστοιχο φορτίο θέρμανσης / ψύξης γραμμικά), το συνολικό κόστος εγκατάστασης του καλωδίου και του υποσταθμού μέσης / χαμηλής τάσης, το κόστος ενέργειας, το σταθερό κόστος συντήρησης, το χρόνο απόσβεσης και το αποπληρωρισμένο επιτόκιο χωρίς κίνδυνο (που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,5% ως 10% με βήμα 0,5%), με το όνομα «ADMHE\_ypobrixio\_kalwdio.m».

```
clear;
clc;
% ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
T_period_KALWDIOU=50;
epitokio_daneismou_min=0.005;
epitokio_daneismou_max=0.10;
epitokio_daneismou_step=0.005;
% stoixeia gennitrias kampilis katanalwsis isxios pu
Pnom_transformer=30.0; % kVA 30.0
Pconst_transformer=0.110; % kW gia mesi tasi
Pconst_transformer=0.000; % kW gia xamili tasi
% Panalog_transformer=0.585; % kW gia mesi tasi
Panalog_transformer=0.000; % kW gia xamili tasi
Pnom_LOAD=22.0; % kVA
% kostos
cost_Installation_Transformer=2080000; % eurw
%cost_pagio_maintance=(178+25)*12+8.61*12*Pnom_LOAD % eurw gia mesi tasi
%cost_pagio_maintance=178*12+0.60*12*2*Pnom_LOAD % eurw gia xamili tasi
%cost_pagio_maintance=0.0 % eurw xwris leitoyrgika ejoda - ola eswterika
cost_pagio_maintance=178*12 % eurw xwris leitoyrgika ejoda plin H/Z
%cost_kWh=0.09186; % - analogiki prosaujisi gia mesi tasi
%cost_kWh=0.19745; % - analogiki prosaujisi gia xamili tasi
cost_kWh=0.0; % - xwris leitoyrgika ejoda - ola eswterika
% time_operation_generator=8760; % [h]
% ΣΤΟΙΧΕΙΑ THERMOKRASIAS
Energeia_basis_A=16.917-2.693+0.51*13*24/1000+24*Pconst_transformer; %kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_A=52.629-16.917; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_A=45.141-16.917; % KWH
Energeia_basis_B=34.490-2.693+0.51*13*24/1000+24*Pconst_transformer; %kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255=28.272; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B=98.474-34.490-Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255; %
KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_B_18=17.280; % KWH
```

```

Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B=79.994-34.490-Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B_18; %
KWH
% anagnwsi thermokrasias
ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA=xlsread('WeatherAthens.xlsx');
xronika_dedomena_length=length(ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(:,1));
% euresi hmerisias energieias typoy A
ENERGEIA_Atotal=0.0;
for i_metritis=1:xronika_dedomena_length
    ENERGEIA_A(i_metritis)=0.0;
    for j_col=3:10
        Thermokrasia_triwrrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
        if (Thermokrasia_triwrrou<0.0)

ENERGEIA_A_proxeiro=Energieia_basis_A*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<10.0)

ENERGEIA_A_proxeiro=Energieia_basis_A*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0*(10
.0-Thermokrasia_triwrrou)/10.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)

ENERGEIA_A_proxeiro=Energieia_basis_A*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)

ENERGEIA_A_proxeiro=Energieia_basis_A*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0*(Th
ermokrasia_triwrrou-30.0)/10.0;
        else
            ENERGEIA_A_proxeiro=Energieia_basis_A*3.0/24.0;
        end;
ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis)+ENERGEIA_A_proxeiro*(1.0+((ENERGEIA_A_proxeiro/(
3*Pnom_transformer))^2)*Panalog_transformer);
    end;
    ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal+ENERGEIA_A(i_metritis);
end;
ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energieias
% euresi hmerisias energieias typoy B
ENERGEIA_Btotal=0.0;
for i_metritis=1:xronika_dedomena_length
    ENERGEIA_B(i_metritis)=0.0;
    for j_col=3:10
        Thermokrasia_triwrrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
        if (Thermokrasia_triwrrou<0.0)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0+(Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B+Prosthethi_E
nergieia_Klimatismou_00_B_18)*3.0/24.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<10.0)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B*3.0/24.0*(10
.0-Thermokrasia_triwrrou)/10.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<18.0)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0++Prosthethi_Energieia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0
*(18.0-Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0+(Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_B+Prosthethi_E
nergieia_Klimatismou_40_B_255)*3.0/24.0;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_B*3.0/24.0*(Th
ermokrasia_triwrrou-
30.0)/10.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0*(Thermokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>25.5)

ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0+Prosthethi_Energieia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0
*(Thermokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;
        else
            ENERGEIA_B_proxeiro=Energieia_basis_B*3.0/24.0;
        end;
ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+ENERGEIA_B_proxeiro*(1.0+((ENERGEIA_B_proxeiro/(
3*Pnom_transformer))^2)*Panalog_transformer);
    end;
    ENERGEIA_Btotal=ENERGEIA_Btotal+ENERGEIA_B(i_metritis);
end;
ENERGEIA_Btotal=ENERGEIA_Btotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energieias

```



```

% ETHSIA APOTELESMATA
Annual_Energy=(365-12)*ENERGEIA_Atotal+12*ENERGEIA_Btotal
% Syntelestis anaktisis - kosti
Annual_Cost_Energy=Annual_Energy*cost_kWh
i_metritis_megisto=ceil((epitokio_daneismou_max-
epitokio_daneismou_min+.0000001)/epitokio_daneismou_step);
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto
    epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);

CRF_KALWDIOU=((1+epitokio_daneismou)^T_period_KALWDIOU)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^T_period_KALWDIOU)-1.0);

Total_Cost(i_metritis_epitokio)=cost_Installation_Transformer*CRF_KALWDIOU+cost_pagio_maintenance+Annual_Cost_Energy;
end;

```

## Π.1.2. Κώδικας Υπολογισμού Ετήσιου Κόστους Εγκατάστασης – Λειτουργίας – Συντήρησης Αυτόνομου Ντιζελοηλεκτρικού Σταθμού Παραγωγής Οικίσκου Σταχτορρόης

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους εγκατάστασης – λειτουργίας – συντήρησης αυτόνομου ντιζελοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Σταχτορρόης έχοντας ως δεδομένα την κατανάλωση φορτίου χωρίς κλιματισμό, φορτίου λόγω θέρμανσης και φορτίου λόγω ψύξης, τόσο για αυτόνομη ομαλή λειτουργία για (365-12) ημέρες / έτος, όσο και για λειτουργία σε φάση συντήρησης για 12 ημέρες / έτος, τα ιστορικά δεδομένα τριώρων θερμοκρασιών (μέσω των οποίων υπολογίζεται το αντίστοιχο φορτίο θέρμανσης / ψύξης γραμμικά), το συνολικό κόστος εγκατάστασης του σταθμού, τα τυπικά στοιχεία λειτουργίας των όμοιων μονάδων παραγωγής, το κόστος καυσίμου, την προσαύξηση λιπαντικών, το σταθερό κόστος συντήρησης, το αναλογικό κόστος συντήρησης με βάση τις ώρες λειτουργίας, το χρόνο απόσβεσης και το αποπληθωρισμένο επιτόκιο χωρίς κίνδυνο (που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,5% ως 10% με βήμα 0,5%), με το όνομα «ADMHE\_ntizelomixani\_mon.m».

```

clear;
clc;
% ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
T_period_generator=9;
epitokio_daneismou_min=0.005;
epitokio_daneismou_max=0.10;
epitokio_daneismou_step=0.005;
% στοιχεία γεννήτριας kampilis katanalwsis isxios pu
a2=6*10^(-14)*0.36; % 6*10^(-14) για 20 kW, *0.6^2 για 12 kW
a1=4.2833*0.6; % 4.2833 για 20 kW, *0.6 για 12 kW
a0=0.7874*0.6; % 0.7874 για 20, 0.6 για 12 kW
Pnom=12.0; % kW 20.0
Ppumin=0.15; % pu 0.15
% kostos
cost_Installation_Gennitrias=36000; % eurw 35000 για 20 kW, 44000 για 12 kW
cost_fuel=1.35; % eurw/lt
cost_maintenance_analog_per=0.033; % - analogiki prosaujisi
cost_maintenance_time_operation_analog=0.27; % eurw/h 0.45 για 20 kW, 0.27 για 12 kW
cost_maintenance_constant=3*137*12; % eurw / year 2 gennitrias20kW *159*12 mines, 4
gennitrias10kW *137*12 mines
% time operation generator=8760; % [h]
% ΣΤΟΙΧΕΙΑ THERMOKRASIAS
Energeia_basis_A=16.917; %kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_A=52.629-Energeia_basis_A; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_A=45.141-Energeia_basis_A; % KWH
Energeia_basis_B=34.490; %kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255=28.272; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B=98.474-Energeia_basis_B-
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255; % KWH

```

```

Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18=17.280; % KWH
Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B=79.994-Energeia_basis_B-
Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18; % KWH
% anagnwsi thermokrasias
ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA=xlsread('WeatherAthens.xlsx');
xronika_dedomena_length=length(ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(:,1));
% euresi hmerisias energeias typoy A
Fuel_A=0.0;
ENERGEIA_Atotal=0.0;
time_operation_A=0.0;
for i_metritis=1:xronika_dedomena_length
    ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A;
    for j_col=3:10
        Thermokrasia_triwrrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
        if (Thermokrasia_triwrrou<0.0)

ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0;
        P_A=(Energeia_basis_A+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_A)/(Pnom*24.0);
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<10.0)

ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0*(10
.0-Thermokrasia_triwrrou)/10.0;
        P_A=(Energeia_basis_A+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_A*(10.0-
Thermokrasia_triwrrou)/10.0)/(Pnom*24.0);
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)

ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0;
        P_A=(Energeia_basis_A+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_A)/(Pnom*24.0);
        elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)

ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0*(Th
ermokrasia_triwrrou-30.0)/10.0;
        P_A=(Energeia_basis_A+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_A*(Thermokrasia_triwrrou-
30.0)/10.0)/(Pnom*24.0);
        else
            ENERGEIA_A(i_metritis)=ENERGEIA_A(i_metritis);
            P_A=Energeia_basis_A/(Pnom*24.0);
        end;
        if (Ppumin>P_A)
            P_A=Ppumin;
        end;
        Fuel_A=Fuel_A+3.0*(a2*(P_A^2)+a1*P_A+a0);
        time_operation_A=time_operation_A+3.0*ceil(P_A-0.0001);
    end;
    ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal+ENERGEIA_A(i_metritis);
end;
Fuel_A=Fuel_A/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi xronikis periodou
ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energeias
time_operation_A=time_operation_A/xronika_dedomena_length;
PmeanA=ENERGEIA_Atotal/24.0;
PmeanpuA=PmeanA/Pnom;
Fuel_A_deuterios=24.0*(a2*(PmeanpuA^2)+a1*PmeanpuA+a0);
% euresi hmerisias energeias typoy B
Fuel_B=0.0;
ENERGEIA_Btotal=0.0;
time_operation_B=0.0;
for i_metritis=1:xronika_dedomena_length
    ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B;
    for j_col=3:10
        Thermokrasia_triwrrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
        if (Thermokrasia_triwrrou<0.0)

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+(Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B+Prosthethi_E
nergeia_Klimatismou_00_B_18)*3.0/24.0;

        P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_
18)/(Pnom*24.0);
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<10.0)

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B*3.0/24.0*(10
.0-Thermokrasia_triwrrou)/10.0+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
        P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B*(10.0-
Thermokrasia_triwrrou)/10.0+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0)/(Pnom*24.0);
        elseif (Thermokrasia_triwrrou<18.0)

```

```

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0*
(18.0-Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_00_B_18*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0)/(Pnom*24.0);
elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+(Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B+Prosthethi_E
nergeia_Klimatismou_40_B_255)*3.0/24.0;

P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B_
255)/(Pnom*24.0);
elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B*3.0/24.0*(Th
ermokrasia_triwrrou-
30.0)/10.0+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0*(Thermokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;
P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B*(Thermokrasia_triwrrou-
30.0)/10.0+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B_255*(Thermokrasia_triwrrou-
25.5)/14.5)/(Pnom*24.0);
elseif (Thermokrasia_triwrrou>25.5)

ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis)+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0
*(Thermokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;

P_B=(Energeia_basis_B+Prosthethi_Energeia_Klimatismou_40_B_255*(Thermokrasia_triwrrou-
25.5)/14.5)/(Pnom*24.0);
else
ENERGEIA_B(i_metritis)=ENERGEIA_B(i_metritis);
P_B=Energeia_basis_B/(Pnom*24.0);
end;
if (Ppumin>P_B)
P_B=Ppumin;
end;
Fuel_B=Fuel_B+3.0*(a2*(P_B^2)+a1*P_B+a0);
time_operation_B=time_operation_B+3.0*ceil(P_B-0.0001);
end;
ENERGEIA_Btotal=ENERGEIA_Btotal+ENERGEIA_B(i_metritis);
end;
Fuel_B=Fuel_B/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi xronikis periodou
ENERGEIA_Btotal=ENERGEIA_Btotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energeias
time_operation_B=time_operation_B/xronika_dedomena_length;
PmeanB=ENERGEIA_Btotal/24.0;
PmeanpuB=PmeanB/Pnom;
Fuel_B_deuterios=24.0*(a2*(PmeanpuB^2)+a1*PmeanpuB+a0);
% ETHSIA APOTELESMATA
Annual_Energy=(365-12)*ENERGEIA_Atotal+12*ENERGEIA_Btotal
Annual_Fuel=((365-12)*Fuel_A+12*Fuel_B)/0.832 % kg/year !!! 0.832 kg/litra
time_operation_generator=(365-12)*time_operation_A+12*time_operation_B
% Syntelestis anaktisis - kosti
cost_fuel_maintance=(1+cost_maintance_analog_per)*cost_fuel;
Annual_Cost_fuel_oil=Annual_Fuel*cost_fuel_maintance
i_metritis_megisto=ceil((epitokio_daneismou_max-
epitokio_daneismou_min+.0000001)/epitokio_daneismou_step);
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto
epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);

CRF_Generator=((1+epitokio_daneismou)^T_period_generator)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_dan
eismou)^T_period_generator)-1.0);

Total_Cost(i_metritis_epitokio)=cost_Installation_Gennitrias*CRF_Generator+cost_maintance_cons
tant+cost_maintance_time_operation_analog*time_operation_generator+Annual_Cost_fuel_oil;
end;

```

### Π.1.3. Κώδικας Υπολογισμού Χρόνου Ζωής Συσσωρευτή για Αυτόνομο Σύστημα Φωτοβολταϊκού – Συσσωρευτή για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του χρόνου ζωής συσσωρευτή για ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών πανέλων – συσσωρευτή, των οποίων το αρχικό μέγεθος έχει υπολογιστεί με τη μεθοδολογία της §4.4 έχοντας ως δεδομένα την κατανάλωση φορτίου

χωρίς κλιματισμό, φορτίου λόγω θέρμανσης και φορτίου λόγω ψύξης για ομαλή λειτουργία, τα ιστορικά δεδομένα τριώρων θερμοκρασιών (μέσω των οποίων υπολογίζεται το αντίστοιχο φορτίο θέρμανσης / ψύξης γραμμικά), την ισοδύναμη μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, τους συντελεστές μετατροπής σε τριώρη ακτινοβολία για τη μέση μέρα τού εκάστοτε μήνα, τους συντελεστές απόδοσης φωτοβολταϊκών, μετατροπέα φωτοβολταϊκών – εναλλασσόμενου δικτύου, φόρτισης συσσωρευτή, εκφόρτισης συσσωρευτή, απόδοσης συστήματος Φ/Β συστήματος λόγω θερμοκρασίας, απωλειών, κτλ., το μέγεθος των φωτοβολταϊκών ως εμβαδόν, των συσσωρευτών, κτλ., με το όνομα «ADMHE\_FB\_proseggisi2.m».

```
clear;
clc;
% ΣΤΟΙΧΕΙΑ THERMOKRASIAS
Energeia_basis_A=11.932; % kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_A=47.644-Energeia_basis_A; % kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_A=40.156-Energeia_basis_A; % kWh
month_days=[31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31];
Esolarday=[2.190 2.710 3.977 5.334 6.336 7.145 7.058 6.409 5.328 3.558 2.282 1.885]; %
kWh/m2/day
sintelestes_3wra_month=[0.000000 0.000000 0.088905 0.411095 0.411095 0.088905
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.113712 0.386288 0.386288 0.113712
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.140113 0.359887 0.359887 0.140113
0.000000 0.000000;
0.000000 0.003388 0.162749 0.333863 0.333863 0.162749
0.003388 0.000000;
0.000000 0.011966 0.172577 0.315457 0.315457 0.172577
0.011966 0.000000;
0.000000 0.017657 0.175682 0.306660 0.306660 0.175682
0.017657 0.000000;
0.000000 0.015276 0.174561 0.310163 0.310163 0.174561
0.015276 0.000000;
0.000000 0.006826 0.167962 0.325212 0.325212 0.167962
0.006826 0.000000;
0.000000 0.000213 0.151049 0.348738 0.348738 0.151049
0.000213 0.000000;
0.000000 0.000000 0.123640 0.376360 0.376360 0.123640
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.096031 0.403969 0.403969 0.096031
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.081524 0.418476 0.418476 0.081524
0.000000 0.000000];
efficiency_PVsun=0.147; % Sxp154WQ
efficiency_PVloss=[0.9429 0.9421 0.9369 0.9219 0.9063 0.8864 0.8753 0.8754 0.8893 0.9085
0.9259 0.9377];
efficiency_convPVtoAC=0.92;
efficiency_ESSdis=0.92;
efficiency_ESSch=0.92;
limit_Ppv=0.200; % kW/m2
Area_per_PV=1.04186; % m2 Sxp154WQ
Population_PVpanel=100; % plithos 128 100
Pch_max=92.4; % kW 3800->146.3, 2400-> 92.4
Pdis_max=4.18; % kW
nr=0.02/720; % apwleies ana wra gia ESS
Tbat_life=10*365; % days
SoCmin=0.20; % 0.20 VLRA
SoCmax=0.95; % 0.95 VLRA
Cnom=2400; % Ah 3800 -2400
Vnom=110; % V
parameter_c=1200.0; % parameter c kata sxesi (4.57) - yperboliki sinartisi Nd-DoD 1822.9
parameter_d=0.0; % parameter d kata sxesi (4.57) -811.9
Eess_initial=0.80*Cnom*Vnom/1000; % kWh
% anagnwsi thermokrasias
ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA=xlsread('WeatherAthens.xlsx');
xronika_dedomena_length=length(ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(:,1));
% isxis nominal PV
Nominal_Area_PV=Area_per_PV*Population_PVpanel;
% arxikopoiisi
i_total_minimum_metritis=xronika_dedomena_length;
```

```

j_metritis=0;
iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=0;
while ((j_metritis<xronika_dedomena_length)&&(iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit==0))
    j_metritis=j_metritis+1;
    disp(['Current start day [-]: ',num2str(j_metritis)]);
% euresi hmerisias energieas typoy A
ENERGEIA_Atotal=0.0;
for j_month=1:12
    ENERGEIA_Amonth(j_month,1)=0; % plithos hmerwn
    ENERGEIA_Amonth(j_month,2)=0.0; % energiea katanalwsis mina
    ENERGEIA_Amonth(j_month,3)=0.0; % energiea PV mina
end;
E_add=0.0; % mh ekmetalleuomeni energiea
E_loe=0.0; % mh ejipiretoumeni energiea
iflag_energopoisisi_E_loe=0;
Cn_age(j_metritis)=Cnom;
Eess(j_metritis)=Eess_initial;
% for i_metritis=j_metritis:xronika_dedomena_length
i_metritis=j_metritis;
iflag_xronika_dedomena_length=0;
while (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
    % euresi elaxistou se mia imera
    minEess=Cnom*Vnom*0.001;
    current_month=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,1);
    for j_col=3:10
        current_triwro=j_col-2;
        if
            ((Esolarday(current_month)*sintelestes_3wra_month(current_month,current_triwro)/3.0)>=limit_Pp
            v)
                current_Energy_PV(i_metritis)=Nominal_Area_PV*efficiency_PVsun*efficiency_PVloss(current_month
                )*efficiency_convPVtoAC*Esolarday(current_month)*sintelestes_3wra_month(current_month,current_
                triwro);
            else
                current_Energy_PV(i_metritis)=0.0;
            end;
            Thermokrasia_triwrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
            if (Thermokrasia_triwrou<0.0)
                ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0;
            elseif (Thermokrasia_triwrou<10.0)
                ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0*
                (10.0-Thermokrasia_triwrou)/10.0;
            elseif (Thermokrasia_triwrou>40.0)
                ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0;
            elseif (Thermokrasia_triwrou>30.0)
                ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0*
                (Thermokrasia_triwrou-30.0)/10.0;
            else
                ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0;
            end;
            % ypologismos energieiakos gia triwro
            if (current_Energy_PV(i_metritis)>ENERGEIA_A(i_metritis))
                % charging phase
                Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-
                3*nr)+efficiency_ESSch*(current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis));
                % elegxos isxios
                if (((Eess_proxeiro-Eess(i_metritis))*(1.0-3*nr))/(3.0*efficiency_ESSch))>Pch_max)
                    % elegxos energieas - mi ikanopoisii isxios
                    if ((Eess(i_metritis))*(1.0-
                    3*nr)+3.0*efficiency_ESSch*Pch_max)>(SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001))
                        E_add=E_add+Eess_proxeiro-SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
                        Eess(i_metritis)=SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
                    else
                        E_add=E_add+Eess_proxeiro-(Eess(i_metritis)*(1.0-
                        3*nr)+3.0*efficiency_ESSch*Pch_max);
                        Eess(i_metritis)=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+3.0*efficiency_ESSch*Pch_max;
                    end;
                else
                    % elegxos energieas - ikanopoisii isxios
                    if (Eess_proxeiro>(SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001))
                        E_add=E_add+Eess_proxeiro-SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
                        Eess(i_metritis)=SoCmax*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
                    else

```

```

        Eess(i_metritis)=Eess_proxeiro;
    end;
end;
else
    % decharging phase
    Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+(current_Energy_PV(i_metritis)-
ENERGEIA_A(i_metritis))/efficiency_ESSdis;
    % elegxos isxios
    if ((efficiency_ESSdis*(Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)-Eess_proxeiro)/3.0)>Pdis_max)
        % elegxos energieas me periorismo isxios
        Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)-3.0*Pdis_max/efficiency_ESSdis
        % parabiasi isxios & energieas
        if ((Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)-
3.0*Pdis_max/efficiency_ESSdis)<SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001)
            E_loe=E_loe-Eess_proxeiro+SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
            Eess(i_metritis)=SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
            if (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
                iflag_energopoisisi_E_loe=1;
                disp(['Current ESS end day for energy violation with power restriction [-
]: ',num2str(i_metritis)]);
                if (i_total_minimum_metritis>(i_metritis-
j_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length))
                    i_total_minimum_metritis=-
j_metritis+i_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length;
                    i_metritis_total=i_metritis;
                    j_metritis_total=j_metritis;
                end;
            end;
        else
            % parabiasi mono isxios , oxi energieas
            E_loe=E_loe-Eess_proxeiro+Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)-
3.0*Pdis_max/efficiency_ESSdis;
            Eess(i_metritis)=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)-3.0*Pdis_max/efficiency_ESSdis;
            if (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
                iflag_energopoisisi_E_loe=1;
                disp(['Current ESS end day for power violation without energy restriction
[-]: ',num2str(i_metritis)]);
                if (i_total_minimum_metritis>(i_metritis-
j_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length))
                    i_total_minimum_metritis=-
j_metritis+i_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length;
                    i_metritis_total=i_metritis;
                    j_metritis_total=j_metritis;
                end;
            end;
        end;
    else
        % elegxos energieas / ikanopoisisi isxios
        if (Eess_proxeiro<SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001)
            E_loe=E_loe-Eess_proxeiro+SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
            Eess(i_metritis)=SoCmin*Cn_age(i_metritis)*Vnom*0.001;
            if (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
                iflag_energopoisisi_E_loe=1;
                disp(['Current ESS end day for energy violation without power restriction
[-]: ',num2str(i_metritis)]);
                if (i_total_minimum_metritis>(i_metritis-
j_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length))
                    i_total_minimum_metritis=-
j_metritis+i_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length;
                    i_metritis_total=i_metritis;
                    j_metritis_total=j_metritis;
                end;
            end;
        else
            Eess(i_metritis)=Eess_proxeiro;
        end;
    end; % elegxos isxios
end;
if (minEess>Eess(i_metritis))
    minEess=Eess(i_metritis);
end;

ENERGEIA_Amonth(current_month,2)=ENERGEIA_Amonth(current_month,2)+ENERGEIA_A(i_metritis);
ENERGEIA_Amonth(current_month,3)=ENERGEIA_Amonth(current_month,3)+current_Energy_PV(i_metritis
);
ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal+ENERGEIA_A(i_metritis);

```

```

end;
% giransi
ENERGEIA_Amonth(current_month,1)=ENERGEIA_Amonth(current_month,1)+1;
DoD=1.0-minEess/(Cnom*Vnom*0.001);
ND=parameter_c/DoD+parameter_d;
gamma_giransi=1/Tbat_life+1/ND;
Cn_age(i_metritis+1)=Cn_age(i_metritis)*(1.0-gamma_giransi);
Eess(i_metritis+1)=Eess(i_metritis);
i_metritis=i_metritis+1;
if (i_metritis>xronika_dedomena_length)
    Cn_age(1)=Cn_age(i_metritis);
    Eess(1)=Eess(i_metritis);
    iflag_xronika_dedomena_length=1;
    i_metritis=1;
end;
end; % while i_metritis
for j_month=1:l2
    if (ENERGEIA_Amonth(j_month,1)>0)
        ENERGEIA_Amonth(j_month,2)=ENERGEIA_Amonth(j_month,2)/ENERGEIA_Amonth(j_month,1);
        ENERGEIA_Amonth(j_month,3)=ENERGEIA_Amonth(j_month,3)/ENERGEIA_Amonth(j_month,1);
    end;
end;
ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energeias
if (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
    iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=1; % lh fora pou den tha energopoihthei o periorismos
    stamata h ektelesi
end;
end;

% SYNOLIKA APOTELESMATA
disp(['Maximum time life [days]: ',num2str(i_total_minimum_metritis),' for start day counter
[day]: ',num2str(j_metritis_total),' for ESS end day counter [day]:
',num2str(i_metritis_total),' Time study period [days]: ',num2str(xronika_dedomena_length)]);

```

#### Π.1.4. Κώδικας Υπολογισμού Συνολικού Κόστους Κατασκευής και Λειτουργίας Υβριδικού Αυτόνομου Σταθμού με Ντιζελογεννήτριες, Φωτοβολταϊκό Σύστημα και Συσσωρευτή για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του συνολικού κόστους κατασκευής και λειτουργίας για ένα υβριδικό αυτόνομο σύστημα ντιζελογεννητριών - φωτοβολταϊκών πανέλων – συσσωρευτή, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του κεφαλαίου 5, έχοντας ως δεδομένα την κατανάλωση φορτίου χωρίς κλιματισμό, φορτίου λόγω θέρμανσης και φορτίου λόγω ψύξης για ομαλή λειτουργία, χωρίς ή με τη λειτουργία ντιζελογεννητριών, τα ιστορικά δεδομένα τρίωρων θερμοκρασιών (μέσω των οποίων υπολογίζεται το αντίστοιχο φορτίο θέρμανσης / ψύξης γραμμικά), την ισοδύναμη μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, τους συντελεστές μετατροπής σε τρίωρη ακτινοβολία για τη μέση μέρα του εκάστοτε μήνα, τους συντελεστές απόδοσης φωτοβολταϊκών, μετατροπέα φωτοβολταϊκών – εναλλασσόμενου δικτύου, φόρτισης συσσωρευτή, εκφόρτισης συσσωρευτή, απόδοσης συστήματος Φ/Β συστήματος λόγω θερμοκρασίας, απωλειών, κτλ., το μέγεθος των φωτοβολταϊκών ως εμβαδόν, των συσσωρευτών, κτλ., τις συναρτήσεις κόστους λειτουργίας και συντήρησης των ντιζελογεννητριών και τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας τους, τα κόστη κατασκευής, τις τυπικές διάρκειες ζωής τους κτλ., ρυθμίζει με βάση το ελάχιστο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης τα όρια μέγιστου βαθμού φόρτισης και το εύρος εκφόρτισης υπολογίζοντας το δυσμενέστερο χρόνο ζωής συσσωρευτή και ντιζελογεννήτριας με βάση τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα. Το όνομα του σχετικού αρχείου είναι «ADMHE\_Ybridiko\_proseggisi1ver4.m».

```

clear;
clc;
% ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
epitokio_daneismou_min=0.000;
epitokio_daneismou_max=0.10;
epitokio_daneismou_step=0.005;
i_metritis_megisto_epitokio=ceil((epitokio_daneismou_max-
epitokio_daneismou_min+.0000001)/epitokio_daneismou_step);
% stoixeia gennitrias kampilis katanalwsis isxios pu
a2=6*10^(-14); % 6*10^(-14) gia 20 kW, *0.6^2 gia 12 kW
a1=4.2833; % 4.2833 gia 20 kW, *0.6 gia 12 kW
a0=0.7874; % 0.7874 gia 20, 0.6 gia 12 kW
Pnom=20.0; % kW 20.0
PThmin=0.15*Pnom; % 0.15 pu
PThmax=1.0*Pnom; % 1.0 pu
NGEN_plithos=2; % plithos gennitriwn 2 gia 20 kW, 4 gia 12 kW
% kostos
cost_Installation_Gennitrias=36000; % eurw 35000 gia 2*20 kW, 44000 gia 4*12 kW
cost_fuel=1.35; % eurw/lt
cost_maintance_analog_per=0.033; % - analogiki prosaujisi
cost_maintance_time_operation_analog=0.45; % eurw/h 0.45 gia 20 kW, 0.27 gia 12 kW
cost_maintance_constant=2*159*12; % eurw / year 2 gennitries20kW *159*12 mines, 4
gennitries10kW *137*12 mines
time_maximum_operation_generator=25000; % [h]
time_generator_life=10.0; % 10 years
cost_fuel_maintance=(1+cost_maintance_analog_per)*cost_fuel;

% ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ - THERMOKRASIAS
Energeia_basis_A=11.932; % kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_A=47.644-Energeia_basis_A; % kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_A=40.156-Energeia_basis_A; % kWh
Energeia_basis_B=16.629; % kWh
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255=0.0; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B=52.341-Energeia_basis_B-
Prostheti_Energeia_Klimatismou_40_B_255; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_B_18=0.0; % KWH
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_B=44.853-Energeia_basis_B-
Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_B_18; % KWH
% anagnwsi thermokrasias
ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA=xlsread('WeatherAthens.xlsx');
xronika_dedomena_length=length(ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(:,1));
% stoixeia gia HLIAKH AKTINOBOLIA
month_days=[31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 31];
Esolarday=[2.190 2.710 3.977 5.334 6.336 7.145 7.058 6.409 5.328 3.558 2.282 1.885]; %
kWh/m2/day
sintelestes_3wra_month=[0.000000 0.000000 0.088905 0.411095 0.411095 0.088905
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.113712 0.386288 0.386288 0.113712
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.140113 0.359887 0.359887 0.140113
0.000000 0.000000;
0.000000 0.003388 0.162749 0.333863 0.333863 0.162749
0.003388 0.000000;
0.000000 0.011966 0.172577 0.315457 0.315457 0.172577
0.011966 0.000000;
0.000000 0.017657 0.175682 0.306660 0.306660 0.175682
0.017657 0.000000;
0.000000 0.015276 0.174561 0.310163 0.310163 0.174561
0.015276 0.000000;
0.000000 0.006826 0.167962 0.325212 0.325212 0.167962
0.006826 0.000000;
0.000000 0.000213 0.151049 0.348738 0.348738 0.151049
0.000213 0.000000;
0.000000 0.000000 0.123640 0.376360 0.376360 0.123640
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.096031 0.403969 0.403969 0.096031
0.000000 0.000000;
0.000000 0.000000 0.081524 0.418476 0.418476 0.081524
0.000000 0.000000];
% stoixeia PV
efficiency_PVsun=0.147; % Sxp154WQ
efficiency_PVloss=[0.9429 0.9421 0.9369 0.9219 0.9063 0.8864 0.8753 0.8754 0.8893 0.9085
0.9259 0.9377];
efficiency_convPVtoAC=0.92;
efficiency_ESSdis=0.92;
efficiency_ESSch=0.92;
limit_Ppv=0.200; % kW/m2

```



```

Area_per_PV=1.04186; % m2 Sxp154WQ
Population_PVpanel=100; % plithos 128 100
Time_PV_life=10.0; % 10 years
Time_restPV_life=20.0; % 20 years
Time_restPV_taratsa=25.0; % 20 years
Nominal_Area_PV=Area_per_PV*Population_PVpanel; % isxis nominal PV
cost_Installation_PV1=Population_PVpanel*755.00; % eurw 755 / plaisio
cost_Installation_PV2=2*2458.0; % eurw 2817-2458 / metatropeas
cost_Installation_PV3_taratsa=0000.0; % eurw 7000 / 0 taratsa
cost_Installation_PV2=cost_Installation_PV2*1.10+0.10*cost_Installation_PV1; % synoliko kostos

% stoixeia battariwn
nr=0.02/720; % apwleies ana wra gia ESS 0.05 AGM VRLA, 0.02 gia RESOPZ
Tbat_life=10; % days 6 eti AGM VRLA, 10 gia RESOPZ
SoCmin_initial=0.20; % 0.20 VRLA, RESOPZ
SoCmax_initial=0.95; % 0.95 VRLA, RESOPZ
Cnom=1950; % Ah 3800 -2400
Vnom=110; % V
Pch_max=5*0.70*Cnom/10*Vnom/1000; % kW = 500% tou 70% Cnom gia 10 h kampili fortisis opote
3800->146.3, 2400-> 92.4
Pdis_max=Cnom/100*Vnom/1000; % kW = 100% Cnom gia 100 h ekfortisi
parameter_c=1200.0; % parameter c kata sxesi (4.57) - yperboliki sinartisi Nd-DoD 1822.9
1200.0
parameter_d=0.0; % parameter d kata sxesi (4.57) -811.9 0.0
Eess_initial=0.80*Cnom*Vnom/1000; % kWh
SoCmin_op_initial_min=0.20; % arxiko orio
SoCmin_op_initial_max=0.70; % arxiko orio
SoCmin_op_initial_step=0.10; % arxiko orio
DSoC_op_initial_min=0.10; % arxiko orio
DSoC_op_initial_max=0.80; % arxiko orio
DSoC_op_initial_step=0.10; % arxiko orio
Time_restBat_life=20.0; % 20 years
cost_Installation_Battery1=110*315.00; % eurw 342*180, 216*180 gia AGM VRLA, 165*400, 110*370
RESOPZV
cost_Installation_Battery2=18000.0; % eurw 22000 / 18000
i_metritis_megisto_SoCmin_op=ceil((SoCmin_op_initial_max-
SoCmin_op_initial_min+.0000001)/SoCmin_op_initial_step);
i_metritis_megisto_DSoC_op=ceil((DSoC_op_initial_max-
DSoC_op_initial_min+.0000001)/DSoC_op_initial_step);
% TELIKA APOTELESMATA gia ola (SoCmin_op,DSoC_op)
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
    FINAL_Cost(i_metritis_epitokio)=10^15;
    FINAL_Cost_SoCmin_op(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_DSoC_op(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_i_metritis(i_metritis_epitokio)=0;
    FINAL_Cost_j_metritis(i_metritis_epitokio)=0;
    FINAL_Cost_time_generator(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_time_battery(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_fuel_consumption(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_time_operation_generator(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_E_add(i_metritis_epitokio)=0.0;
    FINAL_Cost_Cgiransi(i_metritis_epitokio)=0.0;
end;
% epanalifeis (SoCmin_op,DSoC_op)
for i_SoCmin_op=1:i_metritis_megisto_SoCmin_op
    SoCmin_op_initial=SoCmin_op_initial_min+SoCmin_op_initial_step*(i_SoCmin_op-1); % arxiko orio
SoCmin_op_initial
iflag_DSoC_op_KATALLHLO=1;
for i_DSoC_op=1:i_metritis_megisto_DSoC_op
    DSoC_op_initial=DSoC_op_initial_min+DSoC_op_initial_step*(i_DSoC_op-1);
if (iflag_DSoC_op_KATALLHLO==1)
    iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=0;
    for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
        Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0;
        Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0;
        Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
        Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
    end;
else
    iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=1;
    for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
        Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=10^15;

```

```

Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0;
Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0;
Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
Total_Cost_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=0.0;
end;
end; % elegxos iflag_DSoC_op_KATALLLHLO KATALLLHLOTHTAS
% arxikopoiisi
i_total_minimum_metritis=xronika_dedomena_length;
j_metritis=0;
while ((j_metritis<xronika_dedomena_length)&&(iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit==0))
j_metritis=j_metritis+1;
disp(['Current start day [-]: ',num2str(j_metritis)]);
% euresi hmerisias energeias typoy A kai B
ENERGEIA_Atotal=0.0;
ENERGEIA_Btotal=0.0;
for j_month=1:12
ENERGEIA_Amonth(j_month,1)=0; % plithos hmerwn
ENERGEIA_Amonth(j_month,2)=0.0; % energeia katanalwsis mina
ENERGEIA_Amonth(j_month,3)=0.0; % energeia PV mina
ENERGEIA_Bmonth(j_month,1)=0; % plithos hmerwn
ENERGEIA_Bmonth(j_month,2)=0.0; % energeia katanalwsis mina
ENERGEIA_Bmonth(j_month,3)=0.0; % energeia PV mina
end;
E_add=0.0; % mh ekmetalleuomeni energeia
iflag_energopoisisi_E_loe=0;
Cn_age(j_metritis)=Cnom;
Eess(j_metritis)=Eess_initial;
i_metritis=j_metritis;
iflag_xronika_dedomena_length=0;
gamma_giransi_tot=0.0;
SoCmin_op=SoCmin_op_initial;
DSoC_op=DSoC_op_initial;
fuel_consumption_tot=0.0;
time_operation_generator=0.0;
SoCmin=SoCmin_initial;
SoCmax=SoCmax_initial;
while (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
% euresi elaxistou se mia imera
minEess=Cnom*Vnom*0.001;
current_month=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,1);
% sxesi (4.131)-(4.132)
if (SoCmax>=(Cn_age(i_metritis)/Cnom))
SoCmax=Cn_age(i_metritis)/Cnom;
end;
if (SoCmin_op>SoCmax-DSoC_op)
SoCmin_op=SoCmax-DSoC_op;
end;
if (SoCmin_op<SoCmin)
SoCmin_op=SoCmin;
end;
% prosdiorismos fortiou
for j_col=3:10
current_triwro=j_col-2;
% sxesi (4.91-4.92)
if
((Esolarday(current_month)*sintelestes_3wra_month(current_month,current_triwro)/3.0)>=limit_Ppv)
current_Energy_PV(i_metritis)=Nominal_Area_PV*efficiency_PVsun*efficiency_PVloss(current_month)
)*efficiency_convPVtoAC*Esolarday(current_month)*sintelestes_3wra_month(current_month,current_triwro);
else
current_Energy_PV(i_metritis)=0.0;
end;
% sxesi (4.93)
Thermokrasia_triwrou=ENERGOS_TABLE_THERMOKRASIA(i_metritis,j_col);
if (Thermokrasia_triwrou<0.0)
ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0;
elseif (Thermokrasia_triwrou<10.0)
ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthети_Energeia_Klimatismou_00_A*3.0/24.0*
(10.0-Thermokrasia_triwrou)/10.0;

```

```

elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)
ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0;
elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)
ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_A*3.0/24.0*
(Thermokrasia_triwrrou-30.0)/10.0;
else
ENERGEIA_A(i_metritis)=Energeia_basis_A*3.0/24.0;
end;
% ypologismos energeiakos gia triwro - sxesi (4.94)
if (current_Energy_PV(i_metritis)>=ENERGEIA_A(i_metritis)) % charging phase from PV
Pch=(current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0; %sxesi (4.96)
if (Pch>Pch_max) % sxesi (4.97)
Pch=Pch_max; % sxesi (4.98)
end;
Padd=(current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0-Pch; %sxesi (4.99)
Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+efficiency_ESSch*Pch*3.0; %sxesi (4.100)
% elegxos energeias
Ess_orio_maximum=SoCmax*Cnom*Vnom*0.001; %ypologismos oriou sxesis (4.101)
if (Eess_proxeiro>Ess_orio_maximum) %sxesi (4.101)
Eess_proxeiro=Ess_orio_maximum; %sxesi (4.102)
Pch=(Eess_proxeiro-Eess(i_metritis))*(1.0-3*nr)/3.0; %sxesi (4.103)
Padd=(current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0-Pch; %sxesi
(4.104)
end;
Eess(i_metritis)= Eess_proxeiro;
E_add=E_add+Padd*3.0;
end; % end gia if (current_Energy_PV(i_metritis)>ENERGEIA_A(i_metritis))
% ypologismos energeiakos gia triwro - sxesi (4.94)
if ((current_Energy_PV(i_metritis)<ENERGEIA_A(i_metritis))&&(Eess(i_metritis)-
0.75*(Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_A+Energeia_basis_A)>=(SoCmin_op*Cnom*Vnom*0.001))&&(((
current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0+Pdis_max)>=0.0)) % discharging
phase - sxesi (4.95)
Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+(current_Energy_PV(i_metritis)-
ENERGEIA_A(i_metritis))/efficiency_ESSdis; % sxesi (4.105) - (4.106)
Eess(i_metritis)= Eess_proxeiro;
Padd=0.0;
end; % end gia if (current_Energy_PV(i_metritis)<ENERGEIA_A(i_metritis)) + phase
ekfortisis
% ypologismos energeiakos gia triwro - sxesi (4.94) - gia leitoyrgia DIESELOMIXANWN
if ((current_Energy_PV(i_metritis)<ENERGEIA_A(i_metritis))&&((Eess(i_metritis)-
0.75*(Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_A+Energeia_basis_A)<(SoCmin_op*Cnom*Vnom*0.001))||(((c
urrent_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0+Pdis_max)<0.0))) % discharging phase
- sxesi (4.95)
% ypologismos neu fortiou logw leitourgiias ntizelomixanwn
if (Thermokrasia_triwrrou<0.0)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+(Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_B+Prosthetai_Energei
a_Klimatismou_00_B_18)*3.0/24.0;
elseif (Thermokrasia_triwrrou<10.0)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_B*3.0/24.0*(10.0-
Thermokrasia_triwrrou)/10.0+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
elseif (Thermokrasia_triwrrou<18.0)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_00_B_18*3.0/24.0*(18.0-
Thermokrasia_triwrrou)/18.0;
elseif (Thermokrasia_triwrrou>40.0)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+(Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_B+Prosthetai_Energei
a_Klimatismou_40_B_255)*3.0/24.0;
elseif (Thermokrasia_triwrrou>30.0)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_B*3.0/24.0*(Thermokr
asia_triwrrou-
30.0)/10.0+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0*(Thermokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;
elseif (Thermokrasia_triwrrou>25.5)
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B+Prosthetai_Energeia_Klimatismou_40_B_255*3.0/24.0*(Ther
mokrasia_triwrrou-25.5)/14.5;
else
ENERGEIA_B(i_metritis)=Energeia_basis_B;
end;
% ypologismos gennitriwn poy leitoyrgoun

```

```

Nth_op=ceil( ( (ENERGEIA_B(i_metritis)-current_Energy_PV(i_metritis))/(3.0*PThmax)
) ); %sxesi (4.107)
% beltisto simeio leitoyrgias gennitrias (4.108-4.111)
if (a2>0)
    Pth=(a0/a2)^0.5;
    if (Pth>PThmax)
        Pth=PThmax;
    end;
else
    Pth=PThmax;
end;
% elegxos anagkaiou plithous gennitriwn - sxesi (4.112)
if (Nth_op>NGEN_plithos)
    disp(['There is no the necessary generators for power system in case of :
',num2str(NGEN_plithos),' generators instead of ',num2str(Nth_op),' This happens in
',num2str(i_metritis)])
    iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=2; % MH APODEKTO SCENARIO
end;
% Isozygio isxios (4.113)
Pch=(current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_B(i_metritis))/3.0+Nth_op*Pth;
% ypologismos oriou leitoyrgias ESS
Ess_orio_maximum=SoCmax*Cnom*Vnom*0.001; %ypologismos oriou sxesis (4.101)/
(4.114)
Pchmax_diesel=(Ess_orio_maximum-Eess(i_metritis)*(1.0-
3*nr))/(3.0*efficiency_ESSch); % sxesi (4.114)
if (Pchmax_diesel>Pch_max)
    Pchmax_diesel=Pch_max; % sxesi (4.114)
end;
if (Pch>Pchmax_diesel)
    Pch=Pchmax_diesel; % sxesi (4.114)
Pth=(Pch+(ENERGEIA_B(i_metritis)-current_Energy_PV(i_metritis))/3.0)/Nth_op;
%sxesi (4.116)
end;
if (Pth<PThmin) % katw orio thermikis isxios (4.115)
    Pth=PThmin; %sxesi (4.117)
    Padd=Nth_op*PThmin-Pch+(current_Energy_PV(i_metritis)-
ENERGEIA_B(i_metritis))/3.0; %sxesi (4.118)
else
    Padd=0.0;
end;
if (((current_Energy_PV(i_metritis)-ENERGEIA_A(i_metritis))/3.0+Pdis_max)<0.0) %
energopoihmenos o periorismos isxios
Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+efficiency_ESSch*Pch*3.0; %sxesi
(4.119)
Eess(i_metritis)=Eess_proxeiro;
P_B=Pth/Pnom; % pu thermika
fuel_consumption_tot=fuel_consumption_tot+Nth_op*3.0*(a2*(P_B^2)+a1*P_B+a0); %
AYJHSH KATANALWSHS KAYSIMOU - sxesi (4.120)
time_operation_generator= time_operation_generator+3.0*Nth_op; %sxesi (4.121)
E_add=E_add+Padd*3.0;
else % energopoiisi sinthikis energeias (4.95)
Dtime_operation=0.75*(Prostheti_Energeia_Klimatismou_00_A+Energeia_basis_A)/Pth; %sxesi
(4.122)
if (Dtime_operation>3.0)
    Eess_proxeiro=Eess(i_metritis)*(1.0-3*nr)+efficiency_ESSch*Pch*3.0; %sxesi
(4.123)
    Eess(i_metritis)=Eess_proxeiro;
    P_B=Pth/Pnom; % pu thermika
fuel_consumption_tot=fuel_consumption_tot+Nth_op*3.0*(a2*(P_B^2)+a1*P_B+a0); % AYJHSH
KATANALWSHS KAYSIMOU - sxesi (4.124)
time_operation_generator= time_operation_generator+3.0*Nth_op; %sxesi
(4.125)
    E_add=E_add+Padd*3.0;
else
    Eess_proxeiro1=Eess(i_metritis)*(1.0-
Dtime_operation*nr)+efficiency_ESSch*Pch*Dtime_operation; %sxesi (4.126)
    P_B=Pth/Pnom; % pu thermika
fuel_consumption_tot=fuel_consumption_tot+Nth_op*Dtime_operation*(a2*(P_B^2)+a1*P_B+a0); %
AYJHSH KATANALWSHS KAYSIMOU - sxesi (4.127)
time_operation_generator= time_operation_generator+Dtime_operation*Nth_op;
%sxesi (4.128)
% ekfortisi

```

```

                Ess_proxeiro=Ess_proxeiro1*(1.0-(3.0-
Dtime_operation)*nr)+(current_Energy_PV(i_metritis)-
ENERGEIA_A(i_metritis))/efficiency_ESSdis*(3.0-Dtime_operation)/3.0; % sxesi (4.129) -(4.130)
                Ess(i_metritis)=Ess_proxeiro;
                E_add=E_add+Padd*Dtime_operation;
            end;
        end; % end gia if energopoisiiis sinthikis isxios h energieias (4.95)
    end; % end gia if (current_Energy_PV(i_metritis)<ENERGEIA_A(i_metritis)) + phase
DIESELOMHXANWN
        if (minEess>Eess(i_metritis))
            minEess=Eess(i_metritis);
        end;
ENERGEIA_Amonth(current_month,2)=ENERGEIA_Amonth(current_month,2)+ENERGEIA_A(i_metritis);
ENERGEIA_Amonth(current_month,3)=ENERGEIA_Amonth(current_month,3)+current_Energy_PV(i_metritis
);
        ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal+ENERGEIA_A(i_metritis);
    end;
    % giransi
    ENERGEIA_Amonth(current_month,1)=ENERGEIA_Amonth(current_month,1)+1;
    DoD=1.0-minEess/(Cnom*Vnom*0.001);
    if (DoD>0.000001)
        ND=parameter_c/DoD+parameter_d;
    else
        ND=1000000;
    end;
    gamma_giransi=1/(Tbat_life*365)+1/ND;
    gamma_giransi_tot=gamma_giransi_tot+gamma_giransi;
    Time_life_battery_total=(-
j_metritis+i_metritis+iflag_xronika_dedomena_length*xronika_dedomena_length)/365;
    if (gamma_giransi_tot>=1.0) %sxesi (4.135)
        iflag_energopoisisi_E_loe=2;
        disp(['Current ESS end day for energy violation without power restriction [-]:
',num2str(i_metritis), ' Stop criteria flag: ',num2str(iflag_energopoisisi_E_loe)]);
        if (Tbat_life<Time_life_battery_total)
            Time_life_battery_total=Tbat_life;
        end;
    end;
    %sxesi (4.136)
    if (time_operation_generator>0)
Time_life_generator_total=NGEN_plithos*time_maximum_operation_generator*Time_life_battery_tota
l/time_operation_generator;
        else
            Time_life_generator_total=100000000000000000000000000000000.0;
        end;
        if (Time_life_generator_total>time_generator_life)
            Time_life_generator_total=time_generator_life;
        end;

        %sxesi giransis
        Cn_age(i_metritis+1)=Cn_age(i_metritis)*(1.0-gamma_giransi);
        Eess(i_metritis+1)=Eess(i_metritis);
        i_metritis=i_metritis+1;
        if (i_metritis>xronika_dedomena_length)
            Cn_age(1)=Cn_age(i_metritis);
            Eess(1)=Eess(i_metritis);
            iflag_xronika_dedomena_length=1;
            i_metritis=1;
        end;
    end; % while i_metritis
    for j_month=1:12
        if (ENERGEIA_Amonth(j_month,1)>0)
            ENERGEIA_Amonth(j_month,2)=ENERGEIA_Amonth(j_month,2)/ENERGEIA_Amonth(j_month,1);
            ENERGEIA_Amonth(j_month,3)=ENERGEIA_Amonth(j_month,3)/ENERGEIA_Amonth(j_month,1);
        end;
        if (ENERGEIA_Bmonth(j_month,1)>0)
            ENERGEIA_Bmonth(j_month,2)=ENERGEIA_Bmonth(j_month,2)/ENERGEIA_Bmonth(j_month,1);
            ENERGEIA_Bmonth(j_month,3)=ENERGEIA_Bmonth(j_month,3)/ENERGEIA_Bmonth(j_month,1);
        end;
    end;
ENERGEIA_Atotal=ENERGEIA_Atotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energieias
ENERGEIA_Btotal=ENERGEIA_Btotal/xronika_dedomena_length; % mesi hmerisia katanalwsi energieias
% ypologismos kostous
fuel_consumption_tot=fuel_consumption_tot/Time_life_battery_total;
time_operation_generator= time_operation_generator/Time_life_battery_total;

```

```

E_add=E_add/Time_life_battery_total;
Annual_Cost_fuel_oil=fuel_consumption_tot*cost_fuel_maintenance;
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
    epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);
    if (epitokio_daneismou>0.0001)

CRF_Generator=((1+epitokio_daneismou)^Time_life_generator_total)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_life_generator_total)-1.0);

CRF_Battery=((1+epitokio_daneismou)^Time_life_battery_total)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_life_battery_total)-1.0);

CRF_PV1=((1+epitokio_daneismou)^Time_PV_life)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_PV_life)-1.0);

CRF_PV2=((1+epitokio_daneismou)^Time_restPV_life)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_restPV_life)-1.0);

CRF_PV3=((1+epitokio_daneismou)^Time_restPV_taratsa)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_restPV_taratsa)-1.0);

CRF_restBat=((1+epitokio_daneismou)^Time_restBat_life)*epitokio_daneismou/(((1+epitokio_daneismou)^Time_restBat_life)-1.0);
    else
        CRF_Generator=1.0/Time_life_generator_total;
        CRF_Battery=1.0/Time_life_battery_total;
        CRF_PV1=1.0/Time_PV_life;
        CRF_PV2=1.0/Time_restPV_life;
        CRF_PV3=1.0/Time_restPV_taratsa;
        CRF_restBat=1.0/Time_restBat_life;
    end;

Total_Cost_proxeiro=cost_Installation_Gennitrias*CRF_Generator+cost_maintenance_constant+cost_maintenance_time_operation_analog*time_operation_generator+Annual_Cost_fuel_oil+cost_Installation_PV1*CRF_PV1+cost_Installation_PV2*CRF_PV2+cost_Installation_PV3_taratsa*CRF_PV3+cost_Installation_Battery1*CRF_Battery+cost_Installation_Battery2*CRF_restBat;
disp(['For start day counter [day]: ',num2str(j_metritis), ' for hybrid system end day counter [day]: ',num2str((i_metritis-1)), ' Interest rate [-]: ',num2str(epitokio_daneismou), ' Total cost [eurw]: ',num2str(Total_Cost_proxeiro), ' Economic time life for generators [years]: ',num2str(Time_life_generator_total), ' Economic time life for battery [years]: ',num2str(Time_life_battery_total), ' Fuel consumption [lt]',num2str(fuel_consumption_tot), ' Annual time operation for generators [hours]: ',num2str(time_operation_generator), ' Annual additional produced energy [kWh/year]: ',num2str(E_add)]);
    if (Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)<Total_Cost_proxeiro)
        Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=Total_Cost_proxeiro;
        Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=i_metritis-1;
        Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=j_metritis;

Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=Time_life_generator_total;
;

Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=Time_life_battery_total;

Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=fuel_consumption_tot;

Total_Cost_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=time_operation_generator;
        Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=E_add;
        Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)=Cn_age(i_metritis);
    end;
end;
% if (iflag_energopoisisi_E_loe==0)
% iflag_ejetasi_olwn_hmerwn_xwris_limit=1; % 1h fora pou den tha energopoihthei o periorismos stamata h ektelesi
% end;
end; % lo while loop - ejetasi_olwn_twn_istorikwn_dedomenwn
% SYNOLIKA APOTELESMATA ana SoCmin_op_initial, DSoC_op_initial
if (iflag_DSoC_op_KATALLHLO==1)
    for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
        epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);
        disp(['TOTAL: SoCmin= ',num2str(SoCmin_op_initial), ' DSoC= ',num2str(DSoC_op_initial), ' For start day counter [day]: ',num2str(Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' for hybrid system end day counter [day]: ',num2str(Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Interest rate [-]: ',num2str(epitokio_daneismou), ' Total cost [eurw]: ',num2str(Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Economic time life for

```

```

generators [years]:
',num2str(Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Economic
time life for battery [years]:
',num2str(Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Fuel
consumption
[lt]',num2str(Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Annual
time operation for generators [hours]:
',num2str(Total_Cost_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), '
Annual additional produced energy [kWh/year]:
',num2str(Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio)), ' Battery capacitance
[Ah]',num2str(Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio))]);
end;
end;
% elegxos allilopikalyfis oriwn SoCmin for operation - topothetisi edw wste
% prwri fora poy tha simbei na ektelestei to scenario, alliws jefeugei
elegxos_SoCmin_op_limit=SoCmax_initial-DSoC_op_initial;
if (elegxos_SoCmin_op_limit<=SoCmin_op_initial)
iflag_DSoC_op_KATALLHLO=0;
end;
end;
%-----
% epilogi beltistou apotelesmatos apo ola ta zeygi (SoCmin_op,DSoC_op) ->
% epilogi toy elaxistou kostous oson afora ton tropo leitoyrgias
if (FINAL_Cost(i_metritis_epitokio)>Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio))
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
FINAL_Cost(i_metritis_epitokio)=Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);
FINAL_Cost_SoCmin_op(i_metritis_epitokio)=SoCmin_op_initial;
FINAL_Cost_DSoC_op(i_metritis_epitokio)=DSoC_op_initial;

FINAL_Cost_i_metritis(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metri
tis_epitokio);

FINAL_Cost_j_metritis(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metri
tis_epitokio);

FINAL_Cost_time_generator(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op
,i_metritis_epitokio);
FINAL_Cost_time_battery(i_metritis_epitokio)=
Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

FINAL_Cost_fuel_consumption(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSo
C_op,i_metritis_epitokio);

FINAL_Cost_time_operation_generator(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_time_operation_generator(i
_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

FINAL_Cost_E_add(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitok
io);

FINAL_Cost_Cgiransi(i_metritis_epitokio)=Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_
epitokio);
end; % epilogi - for
end; % epilogi - if
%-----
end; % i_DSoC_op -loop
end; % i_SoCmin_op - loop
% TELIKH SYGKRISH - EKTYPWSH
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);
disp(['BELTISTH LEITOYRGIA & KOSTOS FINAL: SoCmin=
',num2str(FINAL_Cost_SoCmin_op(i_metritis_epitokio)), ' DSoC= ',
num2str(FINAL_Cost_DSoC_op(i_metritis_epitokio)), ' For start day counter [day]:
',num2str(FINAL_Cost_j_metritis(i_metritis_epitokio)), ' for hybrid system end day counter
[day]: ',num2str(FINAL_Cost_i_metritis(i_metritis_epitokio)), ' Interest rate [-]:
',num2str(epitokio_daneismou), ' Total cost [eurw]:
',num2str(FINAL_Cost(i_metritis_epitokio)), ' Economic time life for generators [years]:
',num2str(FINAL_Cost_time_generator(i_metritis_epitokio)), ' Economic time life for battery
[years]: ',num2str(FINAL_Cost_time_battery(i_metritis_epitokio)), ' Fuel consumption
[lt]',num2str(FINAL_Cost_fuel_consumption(i_metritis_epitokio)), ' Annual time operation for
generators [hours]: ',num2str(FINAL_Cost_time_operation_generator(i_metritis_epitokio)), '
Annual additional produced energy [kWh/year]:
',num2str(FINAL_Cost_E_add(i_metritis_epitokio)), ' Battery capacitance
[Ah]',num2str(FINAL_Cost_Cgiransi(i_metritis_epitokio))]);
end;
% Teliki kataxwrisi se arxeio
name_arxeio_Cost=['FB_',num2str(Population_PVpanel), '_Ba_',num2str(Cnom), '_Cost.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis=['FB_',num2str(Population_PVpanel), '_Ba_',num2str(Cnom), '_i_metritis.xl
sx'];

```

```

name_arxeio_j_metritis=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_j_metritis.xlsx'];
name_arxeio_Cost_time_generator=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_time_generator.xlsx'];
name_arxeio_Cost_time_battery=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_time_battery.xlsx'];
name_arxeio_Cost_fuel_consumption=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_fuel_consumption.xlsx'];
name_arxeio_Cost_time_operation_generator=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_time_operation_generator.xlsx'];
name_arxeio_Cost_E_add=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_E_add.xlsx'];
name_arxeio_Cost_Cgiransi=['FB_',num2str(Population_PVpanel),'_Ba_',num2str(Cnom),'_Cost_Cgiransi.xlsx'];
%katagrafi se sheet excel
for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
    for i_SoCmin_op=1:i_metritis_megisto_SoCmin_op
        for i_DSoC_op=1:i_metritis_megisto_DSoC_op

pinakas_katagrafis_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_i_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_j_metritis(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_time_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_time_battery(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_fuel_consumption(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_time_operation_generator(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_E_add(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);

pinakas_katagrafis_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op)=Total_Cost_Cgiransi(i_SoCmin_op,i_DSoC_op,i_metritis_epitokio);
        end;
        end;
        xlswrite(name_arxeio_Cost,pinakas_katagrafis_Cost,i_metritis_epitokio);
        xlswrite(name_arxeio_i_metritis,pinakas_katagrafis_i_metritis,i_metritis_epitokio);
        xlswrite(name_arxeio_j_metritis,pinakas_katagrafis_j_metritis,i_metritis_epitokio);

    end;
end;
xlswrite(name_arxeio_Cost_time_generator,pinakas_katagrafis_time_generator,i_metritis_epitokio);

xlswrite(name_arxeio_Cost_time_battery,pinakas_katagrafis_time_battery,i_metritis_epitokio);

xlswrite(name_arxeio_Cost_fuel_consumption,pinakas_katagrafis_fuel_consumption,i_metritis_epitokio);

xlswrite(name_arxeio_Cost_time_operation_generator,pinakas_katagrafis_time_operation_generator,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Cost_E_add,pinakas_katagrafis_E_add,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Cost_Cgiransi,pinakas_katagrafis_Cgiransi,i_metritis_epitokio);
end; % epilogi - for

```

### Π.1.5. Κώδικας Σύγκρισης Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Σταθμού προσαρμοσμένου για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης χωρίς Απαίτησεις Αυξημένης Αξιοπιστίας

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής για ένα φωτοβολταϊκό σταθμό, σύμφωνα με τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.7, έχοντας



ως δεδομένα τα συνολικά κόστη αγοράς φωτοβολταϊκών πανέλων και μετατροπέων διαφόρων τεχνικών εταιρειών, καθώς και μία σειρά από τεχνικά χαρακτηριστικά και τυπική διάρκεια ζωής, καθώς επίσης και άλλες παραμέτρους, όπως το κόστος κατάληψης έκτασης ταράτσας, το κόστος αυξημένων απωλειών από πλευράς μετατροπέων κα., χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις αξιοπιστίας. Τα τεχνικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλασιών δίνονται σε ένα κατάλληλο φύλλο του excel με το όνομα «PV\_panel.xlsx», ενώ των μετατροπέων αντίστοιχα στο «PV\_inverter.xlsx». Πραγματοποιείται μία στοιχειώδης τεχνική μελέτη – επιλογή φωτοβολταϊκών πανέλων και μετατροπέων για την εκάστοτε ζητούμενη ισχύ σε κατάλληλα διακριτά βήματα και από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προσδιορίζεται εκείνη η λύση με το μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος. Το όνομα του σχετικού αρχείου είναι «KostologisiFB1ver3.m».

```
clear;
clc;
% genika stoixeia
Pminimum=1000.0; % W
Pmaximum=25000.0; % W
dPstep=100.0; % W
i_metritis_plithos_Psteps=ceil((Pmaximum-Pminimum+.0000001)/dPstep);
% taratsa
Lx=13.3; % m mikos taratsas 13.3
Ly=7.6; % m platos taratsas 7.6
d_Lx=4.00; % m epektasi kata mikos taratsas 4.0
d_Ly=4.00; % m epektasi kata platos taratsas 4.0
d_L_step=0.10; %m
d_diadromos=[ 0.40 0.00; % kata x dx -dy
              0.00 0.40]; % kata y dx -dy
megisto_mikos_diadromwn=2.1; % m
costos_epektasis_taratsas1=225.0; % eurw/m2
costos_epektasis_taratsas2=300.0; % eurw/m2
Lx1_lim=2.0; % m gia costos_epektasis_taratsas1
Ly1_lim=2.0; % m gia costos_epektasis_taratsas2
Lx2_lim=4.0; % m gia costos_epektasis_taratsas1
Ly2_lim=4.0; % m gia costos_epektasis_taratsas2
Timelife_roof=25.0; % diärkeia zwis taratsas
i_metritis_megisto_LX=ceil((d_Lx+.0000001)/d_L_step);
i_metritis_megisto_LY=ceil((d_Ly+.0000001)/d_L_step);
plithos_d_diadromos=length(d_diadromos(:,1));
% ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
sin_prosaujisi_costous_kataskeuis=0.10; % sintelestis prosaujisis gia kalwdia ktl
cost_energy_apwleiw=0.42; % eurw/kWh
epitokio_daneismou_min=0.000;
epitokio_daneismou_max=0.10;
epitokio_daneismou_step=0.005;
i_metritis_megisto_epitokio=ceil((epitokio_daneismou_max-
epitokio_daneismou_min+.0000001)/epitokio_daneismou_step);
%values = {1, 'Solbian', 'Sxp154Q', 154.0, 18.2, 8.5, 23.0, 9.1, 1046.0, 996.0, 2.0, 755.0,
10.0, 30.0, 25.0, 0.0038, 0.027, 0.05, 1000.0, 12.0; 2, 'Solbian', 'Sxp154L', 154.0, 18.2,
8.5, 23.0, 9.1, 1523.0, 683.0, 2.0, 755.0, 10.0, 30.0, 25.0, 0.0038, 0.027, 0.05, 1000.0, 12.0
; };
%headers = {'a/a', 'Company', 'Type', 'Ppanel (W)', 'Vnom (V)', 'Inom (A)', 'Vosc (V)', 'Iscmax (A)',
'Length (mm)', 'Width (mm)', 'Height (mm)', 'Cost (eurw)', 'Lifetime (year)', 'DTen-PV (oC)', 'Tref-
en (oC)', 'fd_Pnom_temp (%oC)', 'fd_Voc_temp (%oC)', 'fd_Isc_temp (%oC)', 'Maximum insulation
voltage (V)', 'Maximum reverse current (A)'};
%xlswrite('PV_panel.xlsx', [headers; values]);
% anagnwsi arxeiou PV panelwn
filename = 'PV_panel.xlsx';
[Anum, Atext] = xlsread(filename); % Keimeno tha to briskw jexwrista
Panel_Stoixeia_AR=[Anum(:,1), Anum(:,4:20)];
plithos_Panel=length(Panel_Stoixeia_AR(:,1));
Panel_Stoixeia_text=[Atext(2:(plithos_Panel+1),2), Atext(2:(plithos_Panel+1),3)];
% anagnwsi arxeiou PV inverter
%values2 = {1, 'SMA', 'Sunny Tripower 8000 TL', 8200.0, 1000.0, 330.0, 800.0, 580.0, 150.0,
188.0, 10.0, 15.0, 2, 2, 1969.0, 10.0, 97.6, 3, 400.0, 50.0, 0.80, 0.80 ; 2, 'SMA', 'Sunny
Tripower 9000 TL', 9225.0, 1000.0, 370.0, 800.0, 580.0, 150.0, 188.0, 10.0, 15.0, 2, 2,
2192.0, 10.0, 97.6, 3, 400.0, 50.0, 0.80, 0.80 ;};
%headers2 = {'a/a', 'Company', 'Type', 'Pinverter (W)', 'Maximum input voltage (V)', 'MPPmin
voltage (V)', 'MPPmax voltage (V)', 'rated input voltage (V)', 'minimum input
voltage (V)', 'Start/initial input voltage (V)', 'Imax (A)', 'Iscmax (A)', 'Number of inputs',
```

```

'String per input', 'Cost(eurw)', 'Lifetime (year)', 'typical efficiency', 'single or three
phase', 'Output voltage (V)', 'Nominal frequency (Hz)', 'cosf capacitive', 'cosf inductive');
%xlswrite('PV_inverter.xlsx', [headers2; values2]);
filename2 = 'PV_inverter.xlsx';
[Bnum, Btext] = xlsread(filename2); % Keimeno tha to briskw jexwrista
Inverter_Stoixeia_AR=[Bnum(:,1), Bnum(:,4:22)];
plithos_inverter=length(Inverter_Stoixeia_AR(:,1));
Inverter_Stoixeia_text=[Btext(2:(plithos_inverter+1),2), Btext(2:(plithos_inverter+1),3)];
% arxikopoiiseis
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
    Pisis_epipeda(i_metritis_Psteps)=Pminimum+dPstep*(i_metritis_Psteps-1);
end;
% Teliki kataxwrisi se arxeio - epipedopoiimeno
name_arxeio_Cost=['Total_Cost_MIN_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_panels=['Number_panels_per_type_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LX=['i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LY=['i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_inverter=['i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_inverter=['Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
% teliki kataxwrisi xwris epipeda
name_arxeio_Cost2=['Total_Cost_MIN_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_panels2=['Number_panels_per_type_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LX2=['i_metritis_LX_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LY2=['i_metritis_LY_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_inverter2=['i_metritis_inverter_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_inverter2=['Number_inverter_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];

for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
%for i_metritis_epitokio=1:1
    epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);
% gia sygkekrimeno epitokio - ereuna
    if (epitokio_daneismou>=0.00001)

CRFroof=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_roof)/(((1+epitokio_daneismou)^Tim
elife_roof)-1.0);
    else
        CRFroof=1/Timelife_roof;
    end;
% beltisto kosmos ana epitokio
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
    EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=10^25;
    EPIT_type_panel_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
    EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
    EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
    EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
    EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
    EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
end;

for i_metritis_type_panel=1:plithos_Panel
    disp(['EPITOKIO: ',num2str(epitokio_daneismou*100),' AYJWN ARITMOS PANELOY:
',num2str(i_metritis_type_panel)])
%for i_metritis_type_panel=1:1

Npanel_minimum(i_metritis_type_panel)=floor(Pminimum/Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2
));

Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)=ceil(Pmaximum/Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2
));

Pnom_PV=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2);
Vmmp=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,3);
Vosc_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,5);
Vmax_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,17);
Immp=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,4);
Isc=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,6);
Cost_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,10);
Timelife_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,11);
mikos_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,7)/1000.0; % m (apo mm)
platos_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,8)/1000.0; % m (apo mm)
% ypologismos megistou plithous panelwn k kostous se kathe epifanea
a_b=[mikos_panel platos_panel;
    platos_panel mikos_panel];
n_a_b=[floor(megisto_mikos_diadromwn/mikos_panel)
floor(megisto_mikos_diadromwn/platos_panel);
    floor(megisto_mikos_diadromwn/platos_panel)
floor(megisto_mikos_diadromwn/mikos_panel)];
plithos_a_b=length(a_b(:,1));

```

```

for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX
    Lx_current=Lx+(i_metritis_LX-1)*d_L_step;
    for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
        Ly_current=Ly+(i_metritis_LY-1)*d_L_step;
        Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=0;
        % elegxos pithanoi sindiasmoi
        for i1=1:plithos_d_diadromos
            for i2=1:plithos_a_b
                if (d_diadromos(i1,1)<0.001) %x
                    nxtot=floor(Lx_current/a_b(i2,1));
                else
                    nxprox=floor((Lx_current+d_diadromos(i1,1))/(n_a_b(i2,1)*a_b(i2,1)+d_diadromos(i1,1)));
                    Lx_current_2=Lx_current-nxprox*(n_a_b(i2,1)*a_b(i2,1)+d_diadromos(i1,1));
                    if (Lx_current_2>0)
                        dnx=floor(Lx_current_2/a_b(i2,1));
                    else
                        dnx=0.0;
                    end;
                    nxtot=nxprox*n_a_b(i2,1)+dnx;
                end;
                if (d_diadromos(i1,2)<0.001) %y
                    nytot=floor(Ly_current/a_b(i2,2));
                else
                    nyprox=floor((Ly_current+d_diadromos(i1,2))/(n_a_b(i2,2)*a_b(i2,2)+d_diadromos(i1,2)));
                    Ly_current_2=Ly_current-nyprox*(n_a_b(i2,2)*a_b(i2,2)+d_diadromos(i1,2));
                    if (Ly_current_2>0)
                        dny=floor(Ly_current_2/a_b(i2,2));
                    else
                        dny=0.0;
                    end;
                    nytot=nyprox*n_a_b(i2,2)+dny;
                end;
                if (Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)<(nytot*nxtot))
                    Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=nytot*nxtot;
                end;
            end; %for i2=1,plithos_a_b
        end; %i1=1,plithos_d_diadromos
        Ly1=Ly_current-Ly;
        if (Ly1<0)
            Ly1=0;
        end;
        if (Ly1>Ly1_lim)
            Ly1=Ly1_lim;
        end;
        Ly2=Ly_current-Ly-Ly1_lim;
        if (Ly2<0)
            Ly2=0;
        end;
        Lx1=Lx_current-Lx;
        if (Lx1<0)
            Lx1=0;
        end;
        if (Lx1>Lx1_lim)
            Lx1=Lx1_lim;
        end;
        Lx2=Lx_current-Lx-Lx1_lim;
        if (Lx2<0)
            Lx2=0;
        end;
        E1=Lx1*Ly+Ly1*Lx+Lx1*Ly1;
        E2=Lx2*(Ly1_lim+Ly)+Ly2*(Lx1_lim+Lx)+Lx2*Ly2;
    end;
    Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=CRFroof*(E1*costos_epektasis_taratsas1+E2*costos_epektasis_taratsas2);
end; % for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
end; % for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX

% ypologismos katallilou metatropea
i_metritis_panel=0;
for
N_metritis_panel=Npanel_minimum(i_metritis_type_panel):Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)
    i_metritis_panel=i_metritis_panel+1;
    i_metritis_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
    Number_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=-1;
    Cost_inverter_MIN=10^12;
end;

```

```

Cost_inverter_MIN2=10^12;

Idaniki_Energeia_PV=N_metritis_panel*Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2)/pi*8760.0/1000
.0; % idaniki paragomeni energeia se kWh
for i_metritis_inverter=1:plithos_inverter
    flag_MH_EKTELESH_inverter=0;
    if (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==3)
        flag_trifasikos=1;
        if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,17)>=380)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter
,17)<=420))
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
        elseif (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==1)
            flag_trifasikos=0;
            if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,17)>=220)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter
,17)<=240))
                else
                    flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
                end;
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
            % elegxos sixnotitas
            if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,18)>=49.5)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverte
r,18)<=50.5))
                else
                    flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
                end;
                % elegxos cosf
                if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,19)<=0.8001)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inver
ter,20)<=0.8001))
                    else
                        flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
                    end;
                if (flag_MH_EKTELESH_inverter==0)
                    Pnom_INV=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,2);
                    Vrated_inv=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,6);
                    Vmax_inv=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,3);
                    Vmpp_inv_min=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,4);
                    Vmpp_inv_max=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,5);
                    Inom_inv_input=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,9);
                    Isc_inv_input=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,10);
                    Number_inputs=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,11);
                    Number_strings_input_con=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,12);
                    Cost_inverter_construction=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,13);
                    Timelife_inverter=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,14);
                    Efficiency_inverter=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,15)/100.0;
                    if (Vmax_panel<=Vmax_inv)
                        Nsmax=floor(Vmax_panel/(1.15* Vosc_panel));
                    else
                        Nsmax=floor(Vmax_inv/(1.15* Vosc_panel));
                    end;
                    if (Nsmax<floor(Vmpp_inv_max/Vmpp))
                        Nsmax=floor(Vmpp_inv_max/Vmpp);
                    end;
                    Ns=round(Vrated_inv/Vmpp);
                    if (Ns>Nsmax)
                        Ns=Nsmax;
                    end;
                    if (Ns<1)
                        flag_MH_EKTELESH_inverter=2;
                    else
                        Number_strings=ceil(N_metritis_panel/Ns);
                        Npmax_strings_input=floor((1.10*Inom_inv_input)/(1.25*Impp));
                        if (Npmax_strings_input>floor(Isc_inv_input/(1.25*Isc)))
                            Npmax_strings_input=floor(Isc_inv_input/(1.25*Isc));
                        end;
                        if (Npmax_strings_input==0)
                            flag_MH_EKTELESH_inverter=2;
                        else
                            if (Npmax_strings_input>Number_strings_input_con)
                                Npmax_strings_input=Number_strings_input_con;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

end;
Number_inverter=ceil(Number_strings/(Npmax_strings_input*Number_inputs));
Number_inverter_isxis=ceil(N_metritis_panel*Pnom_PV/Pnom_INV);
if (Number_inverter_isxis>Number_inverter)
    Number_inverter=Number_inverter_isxis;
end;
if (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==1) % an einai monofasikos
o metatropeas
    Number_inverter=3*ceil(Number_inverter/3);
end;
% exeis brei plithos inverter -> proxwras se ypologismo kostous
if (epitokio_daneismou>=0.00001)
CRFinv=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_inverter)/(((1+epitokio_daneismou)^
Timelife_inverter)-1.0);
else
    CRFinv=1/Timelife_inverter;
end;
Cost_Inverter=Number_inverter*Cost_inverter_construction*CRFinv+(1-
Efficiency_inverter)*Idaniki_Energeia_PV*cost_energy_apwleiw;
end;
end; % (Ns<1)
end;
if (flag_MH_EKTELESH_inverter>0)
    Cost_Inverter=10^15; % apeirismos kostous inverter ws akatallili lysi
end;
% elegxos elaxistou kostous inverter
if (Cost_inverter_MIN>Cost_Inverter)
i_metritis_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=i_metritis_inverter;
    Number_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=Number_inverter;
    Cost_inverter_MIN=Cost_Inverter;
    Cost_inverter_MIN2=Number_inverter*Cost_inverter_construction*CRFinv;
end;
end; % for i_metritis_inverter=1:plithos_inverter
% kostos egkatastasis f/b panelwn
if (epitokio_daneismou>=0.00001)
CRFpv_panel=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_panel)/(((1+epitokio_daneismou)
)^Timelife_panel)-1.0);
else
    CRFpv_panel=1/Timelife_panel;
end;
Cost_construction_PV_panel=N_metritis_panel*Cost_panel*CRFpv_panel;
% kostos katalambanomenis ektasis
Cost_Construction_roof_MIN=10^15; % apeirismos kostous taratsas an den xwroun panela
i_metritis_LX_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
i_metritis_LY_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX
    for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
        if (Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)>=N_metritis_panel)
            if (Cost_Construction_roof_MIN>Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY))
                Cost_Construction_roof_MIN=Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY);
i_metritis_LX_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=i_metritis_LX;
i_metritis_LY_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=i_metritis_LY;
end;
end;
end; % for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY gia euresi kostous
end; % for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX
Total_Cost_MIN(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=Cost_Construction_roof_MIN+(1.0+sin_pro
saujisi_costous_kataskeuis)*(Cost_construction_PV_panel+Cost_inverter_MIN2)+(Cost_inverter_MIN
-Cost_inverter_MIN2);
Pnominal_FB(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=N_metritis_panel*Panel_Stoixeia_AR(i_metri
tis_type_panel,2);
    Number_panels_per_type(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=N_metritis_panel;
end; % for
N_metritis_panel=Npanel_minimum(i_metritis_type_panel):Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)
% epipedopoiisi stoixeiwn metajy tw n akraiw n timw n isxiw n gia sigkekrimeno bima
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
    flag_find=0; % boithitiki simaia euresis
    i_metritis_panel=1;
    while (flag_find==0)

```

```

        if
(Pisxis_epipeda(i_metritis_Psteps)<=Pnominal_FB(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel))
            flag_find=1;

Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Total_Cost_MIN(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Number_panels_per_type(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LX_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LY_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Number_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);
        else
            i_metritis_panel=i_metritis_panel+1;
        end;
    end;
% euresi ana epitokio toy beltistou sindiasmou
    if
(EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)>Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps))

EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_type_panel_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_type_panel;

EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);
    end;
end; % for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
end; %for i_metritis_type_panel=1:plithos_Panel
%katagrafi se sheet excel me epideda isxios
    xlswrite(name_arxeio_Cost,Total_Cost_MIN_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_panels,Number_panels_per_type_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LX,i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LY,i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);

    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_inverter,i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);

    xlswrite(name_arxeio_Number_inverter,Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
%katagrafi se sheet excel xwris epideda isxios me basi ta pana
    xlswrite(name_arxeio_Cost2,Total_Cost_MIN,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_panels2,Number_panels_per_type,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LX2,i_metritis_LX_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LY2,i_metritis_LY_MIN_cost,i_metritis_epitokio);

    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_inverter2,i_metritis_inverter_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_inverter2,Number_inverter_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
end; % for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio

% Beltista apotelesmata - KATAGRAFH se excel
name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA=['TELIKA APOTELESMATA.xlsx'];
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,Pisxis_epipeda,'Pisxis_epipeda');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo,'Total_Cost');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_type_panel_Pepipedo,'Type_Panel');

```

```

xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo,'Number_Panels')
;
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo,'Metritis_LX');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo,'Metritis_LY');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo,'Type_Inverter');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo,'Number_Inverters');

```

## Π.1.6. Κώδικας Σύγκρισης Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους Κατασκευής Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Σταθμού προσαρμοσμένου για την Τροφοδοσία Οικίσκου Σταχτορρόης με Απαιτήσεις Αυξημένης Αξιοπιστίας

Ακολουθεί ο κώδικας υπολογισμού του ετήσιου ισοδύναμου κόστους κατασκευής για ένα φωτοβολταϊκό σταθμό με αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.7, έχοντας ως δεδομένα τα συνολικά κόστη αγοράς φωτοβολταϊκών πανέλων και μετατροπέων διαφόρων τεχνικών εταιρειών, καθώς και μία σειρά από τεχνικά χαρακτηριστικά και τυπική διάρκεια ζωής, καθώς επίσης και άλλες παραμέτρους, όπως το κόστος κατάληψης έκτασης ταράτσας, το κόστος αυξημένων απωλειών από πλευράς μετατροπέων κα. Τα τεχνικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλαισίων δίνονται σε ένα κατάλληλο φύλλο του excel με το όνομα «PV\_panel.xlsx», ενώ των μετατροπέων αντίστοιχα στο «PV\_inverter.xlsx». Πραγματοποιείται μία στοιχειώδης τεχνική μελέτη – επιλογή φωτοβολταϊκών πανέλων και μετατροπέων για την εκάστοτε ζητούμενη ισχύ σε κατάλληλα διακριτά βήματα και από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προσδιορίζεται εκείνη η λύση με το μικρότερο ετήσιο ισοδύναμο κόστος θεωρώντας ειδικά οι μετατροπείς να είναι τουλάχιστον δύο, δηλαδή να υπάρχουν τουλάχιστον δύο ξεχωριστά διακριτά υποσυστήματα. Το όνομα του σχετικού αρχείου είναι «KostologisiFB2ver3.m». Πρόκειται για τροποποίηση του προηγούμενου προγράμματος.

```

clear;
clc;
% genika stoixeia - version 2 - exei gia logous ajiopistias toylaxiston 2
% trifasikous h 6 monofasikou metatropeis
Pminimum=1000.0; % W
Pmaximum=25000.0; % W
dPstep=100.0; % W
i_metritis_plithos_Psteps=ceil((Pmaximum-Pminimum+.0000001)/dPstep);
% taratsa
Lx=13.3; % m mikos taratsas 13.3
Ly=7.6; % m platos taratsas 7.6
d_Lx=4.00; % m epektasi kata mikos taratsas 4.0
d_Ly=4.00; % m epektasi kata platos taratsas 4.0
d_L_step=0.10; %m
d_diadromos=[ 0.40 0.00; % kata x dx -dy
              0.00 0.40]; % kata y dx -dy
megisto_mikos_diadromwn=2.1; % m
costos_epektasis_taratsas1=225.0; % eurw/m2
costos_epektasis_taratsas2=300.0; % eurw/m2
Lx1_lim=2.0; % m gia costos_epektasis_taratsas1
Ly1_lim=2.0; % m gia costos_epektasis_taratsas2
Lx2_lim=4.0; % m gia costos_epektasis_taratsas1
Ly2_lim=4.0; % m gia costos_epektasis_taratsas2
Timelife_roof=25.0; % diärkeia zwis taratsas
i_metritis_megisto_LX=ceil((d_Lx+.0000001)/d_L_step);
i_metritis_megisto_LY=ceil((d_Ly+.0000001)/d_L_step);
plithos_d_diadromos=length(d_diadromos(:,1));
% ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
sin_prosaujisi_costous_kataskeuis=0.10; % sintelestis prosaujisis gia kalwdia ktl
cost_energy_apwleiwn=0.42; % eurw/kWh
epitokio_daneismou_min=0.000;

```

```

epitokio_daneismou_max=0.10;
epitokio_daneismou_step=0.005;
i_metritis_megisto_epitokio=ceil((epitokio_daneismou_max-
epitokio_daneismou_min+.0000001)/epitokio_daneismou_step);
%values = {1, 'Solbian', 'Sxp154Q', 154.0, 18.2, 8.5, 23.0, 9.1, 1046.0, 996.0, 2.0, 755.0,
10.0, 30.0, 25.0, 0.0038, 0.027, 0.05, 1000.0, 12.0; 2, 'Solbian', 'Sxp154L', 154.0, 18.2,
8.5, 23.0, 9.1, 1523.0, 683.0, 2.0, 755.0, 10.0, 30.0, 25.0, 0.0038, 0.027, 0.05, 1000.0, 12.0
};
%headers = {'a/a','Company','Type','Ppanel(W)','Vnom(V)','Inom(A)','Vosc(V)','Iscmax(A)',
'Length(mm)', 'Width(mm)', 'Height(mm)', 'Cost(eurw)', 'Lifetime (year)', 'DTen-PV(oC)', 'Tref-
en(oC)', 'fd_Pnom_temp(‰oC)', 'fd_Voc_temp(‰oC)', 'fd_Isc_temp(‰oC)', 'Maximum insulation
voltage(V)', 'Maximum reverse current(A)'};
%xlswrite('PV_panel.xls', [headers; values]);
% anagnwsi arxeiou PV panelwn
filename = 'PV_panel.xlsx';
[Anum, Atext] = xlsread(filename); % Keimeno tha to briskw jexwrista
Panel_Stoixeia_AR=[Anum(:,1), Anum(:,4:20)];
plithos_Panel=length(Panel_Stoixeia_AR(:,1));
Panel_Stoixeia_text=[Atext(2:(plithos_Panel+1),2), Atext(2:(plithos_Panel+1),3)];
% anagnwsi arxeiou PV inverter
%values2 = {1, 'SMA', 'Sunny Tripower 8000 TL', 8200.0, 1000.0, 330.0, 800.0, 580.0, 150.0,
188.0, 10.0, 15.0, 2, 2, 1969.0, 10.0, 97.6, 3, 400.0, 50.0, 0.80, 0.80 ; 2, 'SMA', 'Sunny
Tripower 9000 TL', 9225.0, 1000.0, 370.0, 800.0, 580.0, 150.0, 188.0, 10.0, 15.0, 2, 2,
2192.0, 10.0, 97.6, 3, 400.0, 50.0, 0.80, 0.80 };
%headers2 = {'a/a','Company','Type','Pinverter(W)','Maximum input voltage(V)','MPPmin
voltage(V)', 'MPPmax voltage(V)', 'rated input voltage(V)', 'minimum input
voltage(V)', 'Start/initial input voltage(V)', 'Imax(A)', 'Iscmax(A)', 'Number of inputs',
'String per input', 'Cost(eurw)', 'Lifetime (year)', 'typical efficiency', 'single or three
phase', 'Output voltage (V)', 'Nominal frequency (Hz)', 'cosf capacitive', 'cosf inductive'};
%xlswrite('PV_inverter.xls', [headers2; values2]);
filename2 = 'PV_inverter.xlsx';
[Bnum, Btext] = xlsread(filename2); % Keimeno tha to briskw jexwrista
Inverter_Stoixeia_AR=[Bnum(:,1), Bnum(:,4:22)];
plithos_inverter=length(Inverter_Stoixeia_AR(:,1));
Inverter_Stoixeia_text=[Btext(2:(plithos_inverter+1),2), Btext(2:(plithos_inverter+1),3)];
% arxikopoiiseis
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
Pisxis_epipeda(i_metritis_Psteps)=Pminimum+dPstep*(i_metritis_Psteps-1);
end;
% Teliki kataxwrisi se arxeio - epipedopoiimeno
name_arxeio_Cost=['Total_Cost_MIN_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_panels=['Number_panels_per_type_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LX=['i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LY=['i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_inverter=['i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_inverter=['Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo_ana_epitokio.xlsx'];
% teliki kataxwrisi xwris epipeda
name_arxeio_Cost2=['Total_Cost_MIN_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_panels2=['Number_panels_per_type_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LX2=['i_metritis_LX_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_LY2=['i_metritis_LY_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_i_metritis_inverter2=['i_metritis_inverter_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];
name_arxeio_Number_inverter2=['Number_inverter_MIN_cost_ana_epitokio.xlsx'];

for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio
%for i_metritis_epitokio=1:1
epitokio_daneismou=epitokio_daneismou_min+epitokio_daneismou_step*(i_metritis_epitokio-1);
% gia sygkekrimeno epitokio - ereuna
if (epitokio_daneismou>=0.00001)

CRFroof=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_roof)/(((1+epitokio_daneismou)^Timelife_roof)-1.0);
else
CRFroof=1/Timelife_roof;
end;
% beltisto kostos ana epitokio
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=10^25;
EPIT_type_panel_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=-1;
end;

for i_metritis_type_panel=1:plithos_Panel

```



```

disp(['EPITOKIO: ',num2str(epitokio_daneismou*100),' AYJWN ARITMOS PANELOY:
',num2str(i_metritis_type_panel)])
%for i_metritis_type_panel=1:1

Npanel_minimum(i_metritis_type_panel)=floor(Pminimum/Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2
));

Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)=ceil(Pmaximum/Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2
));

Pnom_PV=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2);
Vmp=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,3);
Vosc_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,5);
Vmax_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,17);
Iimp=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,4);
Isc=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,6);
Cost_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,10);
Timelife_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,11);
mikos_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,7)/1000.0; % m (apo mm)
platos_panel=Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,8)/1000.0; % m (apo mm)
% ypologismos megistou plithous panelwn k kostous se kathe epifaneia
a_b=[mikos_panel platos_panel;
platos_panel mikos_panel];
n_a_b=[floor(megisto_mikos_diadromwn/mikos_panel)
floor(megisto_mikos_diadromwn/platos_panel)
floor(megisto_mikos_diadromwn/mikos_panel)];
plithos_a_b=length(a_b(:,1));
for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX
Lx_current=Lx+(i_metritis_LX-1)*d_L_step;
for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
Ly_current=Ly+(i_metritis_LY-1)*d_L_step;
Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=0;
% elegxos pithanoi sindiasmoi
for il=1:plithos_d_diadromos
for i2=1:plithos_a_b
if (d_diadromos(il,1)<0.001) %x
nxtot=floor(Lx_current/a_b(i2,1));
else
nxprox=floor((Lx_current+d_diadromos(il,1))/(n_a_b(i2,1)*a_b(i2,1)+d_diadromos(il,1)));
Lx_current_2=Lx_current-nxprox*(n_a_b(i2,1)*a_b(i2,1)+d_diadromos(il,1));
if (Lx_current_2>0)
dnx=floor(Lx_current_2/a_b(i2,1));
else
dnx=0.0;
end;
nxtot=nxprox*n_a_b(i2,1)+dnx;
end;
if (d_diadromos(il,2)<0.001) %y
nytot=floor(Ly_current/a_b(i2,2));
else
nyprox=floor((Ly_current+d_diadromos(il,2))/(n_a_b(i2,2)*a_b(i2,2)+d_diadromos(il,2)));
Ly_current_2=Ly_current-nyprox*(n_a_b(i2,2)*a_b(i2,2)+d_diadromos(il,2));
if (Ly_current_2>0)
dny=floor(Ly_current_2/a_b(i2,2));
else
dny=0.0;
end;
nytot=nyprox*n_a_b(i2,2)+dny;
end;
if (Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)<(nytot*nxtot))
Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=nytot*nxtot;
end;
end; %for i2=1,plithos_a_b
end; %il=1,plithos_d_diadromos
Ly1=Ly_current-Ly;
if (Ly1<0)
Ly1=0;
end;
if (Ly1>Ly1_lim)
Ly1=Ly1_lim;
end;
Ly2=Ly_current-Ly-Ly1_lim;
if (Ly2<0)
Ly2=0;
end;
end;

```

```

Lx1=Lx_current-Lx;
if (Lx1<0)
    Lx1=0;
end;
if (Lx1>Lx1_lim)
    Lx1=Lx1_lim;
end;
Lx2=Lx_current-Lx-Lx1_lim;
if (Lx2<0)
    Lx2=0;
end;
E1=Lx1*Ly+Ly1*Lx+Lx1*Ly1;
E2=Lx2*(Ly1_lim+Ly)+Ly2*(Lx1_lim+Lx)+Lx2*Ly2;

Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY)=CRFroof*(E1*costos_epektasis_taratsas1+E2*costos_epektasis_taratsas2);
end; % for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
end; % for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX

% ypologismos katallilou metatropea
i_metritis_panel=0;
for
N_metritis_panel=Npanel_minimum(i_metritis_type_panel):Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)
    i_metritis_panel=i_metritis_panel+1;
    i_metritis_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
    Number_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=-1;
    Cost_inverter_MIN=10^12;
    Cost_inverter_MIN2=10^12;

Idaniki_Energieia_PV=N_metritis_panel*Panel_Stoixeia_AR(i_metritis_type_panel,2)/pi*8760.0/1000
.0; % idaniki paragomeni energieia se kWh
for i_metritis_inverter=1:plithos_inverter
    flag_MH_EKTELESH_inverter=0;
    if (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==3)
        flag_trifasikos=1;
        if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,17)>=380)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter
,17)<=420))
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
        elseif (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==1)
            flag_trifasikos=0;
            if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,17)>=220)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverte
r,17)<=240))
                else
                    flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
                end;
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
        end;
        % elegxos sixnotitas
        if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,18)>=49.5)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverte
r,18)<=50.5))
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
        end;
        % elegxos cosf
        if
((Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,19)<=0.8001)&(Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverte
r,20)<=0.8001))
            else
                flag_MH_EKTELESH_inverter=1;
            end;
        end;
        if (flag_MH_EKTELESH_inverter==0)
            Pnom_INV=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,2);
            Vrated_inv=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,6);
            Vmax_inv=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,3);
            Vmpp_inv_min=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,4);
            Vmpp_inv_max=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,5);
            Inom_inv_input=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,9);
            Isc_inv_input=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,10);
            Number_inputs=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,11);
            Number_strings_input_con=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,12);
            Cost_inverter_construction=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,13);

```

```

Timelife_inverter=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,14);
Efficiency_inverter=Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,15)/100.0;
if (Vmax_panel<=Vmax_inv)
    Nsmax=floor(Vmax_panel/(1.15* Vosc_panel));
else
    Nsmax=floor(Vmax_inv/(1.15* Vosc_panel));
end;
if (Nsmax<floor(Vmpp_inv_max/Vmpp))
    Nsmax=floor(Vmpp_inv_max/Vmpp);
end;
Ns=round(Vrated_inv/Vmpp);
if (Ns>Nsmax)
    Ns=Nsmax;
end;
if (Ns<1)
    flag_MH_EKTELESH_inverter=2;
else
    Number_strings=ceil(N_metritis_panel/Ns);
    Npmax_strings_input=floor((1.10*Inom_inv_input)/(1.25*Impp));
    if (Npmax_strings_input>floor(Isc_inv_input/(1.25*Isc)))
        Npmax_strings_input=floor(Isc_inv_input/(1.25*Isc));
    end;
    if (Npmax_strings_input==0)
        flag_MH_EKTELESH_inverter=2;
    else
        if (Npmax_strings_input>Number_strings_input_con)
            Npmax_strings_input=Number_strings_input_con;
        end;
        Number_inverter=ceil(Number_strings/(Npmax_strings_input*Number_inputs));
        Number_inverter_isxis=ceil(N_metritis_panel*Pnom_PV/Pnom_INV);
        if (Number_inverter_isxis>Number_inverter)
            Number_inverter=Number_inverter_isxis;
        end;
        % gia logous ajiopistias prepei na einai toylaxiston 2
        if (Number_inverter==1)
            Number_inverter=2;
        end;
        if (Inverter_Stoixeia_AR(i_metritis_inverter,16)==1) % an einai monofasikos
o metatropeas
            Number_inverter=3*ceil(Number_inverter/3);
            % gia logous ajiopistias prepei na einai toylaxiston 2*3
            if (Number_inverter==3)
                Number_inverter=6;
            end;
        end;
        % exeis brei plithos inverter -> proxwras se ypologismo kostous
        if (epitokio_daneismou>=0.00001)

CRFinv=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_inverter)/(((1+epitokio_daneismou)^
Timelife_inverter)-1.0);
        else
            CRFinv=1/Timelife_inverter;
        end;
        Cost_Inverter=Number_inverter*Cost_inverter_construction*CRFinv+(1-
Efficiency_inverter)*Idaniki_Energeia_PV*cost_energy_apwleiw;
        end;
        end; % if (Ns<1)
    end;
    if (flag_MH_EKTELESH_inverter>0)
        Cost_Inverter=10^15; % apeirismos kostous inverter ws akatallili lysi
    end;
    % elegxos elaxistou kostous inverter
    if (Cost_inverter_MIN>Cost_Inverter)

i_metritis_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=i_metritis_inverter;
    Number_inverter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=Number_inverter;
    Cost_inverter_MIN=Cost_Inverter;
    Cost_inverter_MIN2=Number_inverter*Cost_inverter_construction*CRFinv;
    end;
    end; % for i_metritis_inverter=1:plithos_inverter
    % kostos egkatastasis f/b panelwn
    if (epitokio_daneismou>=0.00001)

CRFpv_panel=epitokio_daneismou*((1+epitokio_daneismou)^Timelife_panel)/(((1+epitokio_daneismou)
)^Timelife_panel)-1.0);
        else
            CRFpv_panel=1/Timelife_panel;

```

```

end;
Cost_construction_PV_panel=N_metritis_panel*Cost_panel*CRFpv_panel;

% kostos katalambanomenis ektasis
Cost_Construction_roof_MIN=10^15; % apeirismos kostous taratsas an den xwroun panela
i_metritis_LX_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
i_metritis_LY_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=0;
for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX
    for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY
        if (Total_plithos(i_metritis_LX,i_metritis_LY)>=N_metritis_panel)
            if (Cost_Construction_roof_MIN>Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY))
                Cost_Construction_roof_MIN=Total_cost_roof(i_metritis_LX,i_metritis_LY);
            end;
        end;
    end; % for i_metritis_LY=1:i_metritis_megisto_LY gia euresi kostous
end; % for i_metritis_LX=1:i_metritis_megisto_LX

Total_Cost_MIN(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=Cost_Construction_roof_MIN+(1.0+sin_pro
saujisi_costous_kataskeuis)*(Cost_construction_PV_panel+Cost_inverter_MIN2)+(Cost_inverter_MIN
-Cost_inverter_MIN2);

Pnominal_FB(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=N_metritis_panel*Panel_Stoixeia_AR(i_metri
tis_type_panel,2);
Number_panels_per_type(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel)=N_metritis_panel;
end; % for
N_metritis_panel=Npanel_minimum(i_metritis_type_panel):Npanel_maximum(i_metritis_type_panel)
% epipedopoiisi stoixeiwn metajy tw n akraiwn timwn isxiwn gia sigkekrimeno bima
for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
    flag_find=0; % boithitiki simaia euresis
    i_metritis_panel=1;
    while (flag_find==0)
        if
(Pisxis_epipeda(i_metritis_Psteps)<=Pnominal_FB(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel))
            flag_find=1;
        end;
    end;
Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Total_Cost_MIN(i_metritis_typ
e_panel,i_metritis_panel);

Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Number_panels_per_typ
e(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LX_MIN_cos
t(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LY_MIN_cos
t(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=i_metritis_inve
rter_MIN_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);

Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps)=Number_inverter_MIN
_cost(i_metritis_type_panel,i_metritis_panel);
    else
        i_metritis_panel=i_metritis_panel+1;
    end;
end;
% euresi ana epitokio toy beltistou sindiasmou
if
(EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)>Total_Cost_MIN_Pepipedo(i
_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps))
    EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Total_Cost_MIN_Pepipedo(i
_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);
    EPIT_type_panel_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_type_panel;
    EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Number_panels_per_
type_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);
    EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LX_MIN_
cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

```

```

EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_LY_MIN_
cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=i_metritis_i
nverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);

EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_epitokio,i_metritis_Psteps)=Number_inverter_
MIN_cost_Pepipedo(i_metritis_type_panel,i_metritis_Psteps);
    end;
    end; % for i_metritis_Psteps=1:i_metritis_plithos_Psteps
end; %for i_metritis_type_panel=1:plithos_Panel
%katagrafi se sheet excel me epideda isxios
    xlswrite(name_arxeio_Cost,Total_Cost_MIN_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_panels,Number_panels_per_type_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LX,i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LY,i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);

xlswrite(name_arxeio_i_metritis_inverter,i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epit
okio);

xlswrite(name_arxeio_Number_inverter,Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo,i_metritis_epitokio);
%katagrafi se sheet excel xwris epideda isxios me basi ta panela
    xlswrite(name_arxeio_Cost2,Total_Cost_MIN,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_panels2,Number_panels_per_type,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LX2,i_metritis_LX_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_i_metritis_LY2,i_metritis_LY_MIN_cost,i_metritis_epitokio);

xlswrite(name_arxeio_i_metritis_inverter2,i_metritis_inverter_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
    xlswrite(name_arxeio_Number_inverter2,Number_inverter_MIN_cost,i_metritis_epitokio);
end; % for i_metritis_epitokio=1:i_metritis_megisto_epitokio

% Beltista apotelesmata - KATAGRAFH se excel
name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA=['TELIKA APOTELESMATA.xlsx'];
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,Pisxis_epipeda,'Pisxis_epipeda');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Total_Cost_MIN_Pepipedo,'Total_Cost');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_type_panel_Pepipedo,'Type_Panel');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Number_panels_per_type_Pepipedo,'Number_Panels')
;
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_LX_MIN_cost_Pepipedo,'Metritis_LX');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_LY_MIN_cost_Pepipedo,'Metritis_LY');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_i_metritis_inverter_MIN_cost_Pepipedo,'Type_Inve
rter');
xlswrite(name_arxeio_TELIKA_APOTELESMATA,EPIT_Number_inverter_MIN_cost_Pepipedo,'Number_Invert
ers');

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:

### Παράρτημα Δεδομένων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων και Αναστροφών

#### Π.2.1. Δεδομένα Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Στην παρούσα παράγραφο καταγράφονται τα δεδομένα των 133 φωτοβολταϊκών πλαισίων από την εταιρεία Solbian [Ε37] και από τον ιστότοπο της εταιρείας Europe Solar Store [Ε84].

**Πίνακας Π2.1(α1):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – εταιρεία – τύπος -ονομασία – ονομαστική ισχύς.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
1	Solbian	Sxp154Q	154
2	Solbian	Sxp154L	154
3	Solbian	SX108	108
4	Solbian	SX160Q	160
5	Solbian	SX62	62
6	Solbian	SX72L	72
7	Solbian	SX72Q	72
8	Solbian	ISP42L	42
9	Solbian	ISP42Q	42
10	Solbian	ISP94L	96
11	Solbian	SR72Q	72
12	Solbian	SR72L	72
13	Solbian	SR108Q	108
14	Solbian	SR62	62
15	Solbian	SR160L	160
16	Solbian	SR160Q	160
17	Solbian	SP118L	118
18	Solbian	SP118Q	118
19	Solbian	SP130	130
20	Solbian	SP78	78
21	Solbian	SP52Q	52
22	Solbian	SP52L	52
23	LG	415N2T-L5	415
24	LG	335N1K-V5	335
25	LG	350N1C-V5	350
26	LG	360Q1K-V5	360
27	LG	400N2T-J5	400
28	LG	335N1T-V5	335
29	LG	340N1C-V5	340
30	LG	370Q1C-V5	370

Πίνακας Π2.1(α2): Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – εταιρεία – τύπος -ονομασία – ονομαστική ισχύς.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
31	LG	330N1K-V5	330
32	LG	335N1C-A5 NeON2	335
33	LG	295S1C-A5	295
34	LG	300S1C-A5	300
35	LG	360Q1C-A5 NeON R	360
36	LG	355Q1K-V5	355
37	LG	370Q1C-A5	370
38	LG	325N1K-V5	325
39	LG	400N2T-A5	400
40	REC	Alpha REC360AA	360
41	REC	Peak REC310 N-PEAK Black	310
42	REC	N-Peak REC315 N-PEAK Black	315
43	BenQ	SunVivo PM060MB2--300 W	300
44	BenQ	SunVivo PM060MW2-300 W	300
45	BenQ	SunForte PM096B00-335 W	335
46	Sharp	NU-BA385	385
47	Sharp	NU-AH370	370
48	Sharp	NU-AC310	310
49	Sharp	NU-AC300B	300
50	Sharp	ND-AF330C	330
51	Sharp	ND-AC275	275
52	Sharp	NU-AF370	370
53	Sharp	NU-RD310D	310
54	Sharp	ND-RB270	270
55	Trina	HoneyM TSM-335DE06M.08(II)	335
56	Trina	HoneyM TSM-330DE06M.08(II)	330
57	Trina	HoneyBlack TSM-320DD06M.05(II)	320
58	Trina	Honey M+ TSM-310DD05A.08(II)	310
59	Trina	Honey TSM-285PE06H	285
60	Trina	Honey TSM-280PD05A	280
61	Trina	HoneyM TSM-340DE06M.08(II)	340
62	Panasonic	VBHN335SJ53	335
63	Panasonic	VBHN250SJ25	250
64	Panasonic	VBHN325KJ01	325
65	Panasonic	VBHN320KJ01	320
66	Panasonic	VBHN325SJ53	325
67	Panasonic	VBHN330KJ01	330
68	Axitec	AXIpower AC-330P/72S	330
69	Axitec	Axitec AXIpremium AC-300M/156-60S	330
70	Axitec	AXIpremium AC-350M/156-72S	350
71	Axitec	AXIpremium AC-360M/156-72S	360
72	Axitec	AXIpremium AC-310MH/60S	310
73	Axitec	AXIpremium AC-315MH/60S	315
74	Axitec	AXIpremium AC-320MH/60S	320
75	Axitec	AXIworldpremium AC-300M/156-60S	300
76	Axitec	AXIworldpremiumplus SE AC-310M/156-60SE	310

Πίνακας Π2.1(α3): Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος -ονομασία – ονομαστική ισχύς.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
77	Axitec	AXIpremium AC-300M/60S	300
78	Axitec	AXIblackpremium AC-300M/156-60S	300
79	Axitec	AXIblackpremium AC-300M/60S	300
80	Axitec	AXIpower AC-330P/156-72S	330
81	Axitec	AXIpower AC-270P/60S	270
82	Axitec	AXIpower AC-275P/60S	275
83	Axitec	AXIpower AC-275P/156-60S	275
84	Axitec	AXIpower AC-280P/156-60S	280
85	Axitec	AXIpower AC-280PH/60S	280
86	Axitec	AXIpower AC-285PH/60S	285
87	Axitec	AXIpower AC-290PH/60S	290
88	Axitec	AXIworldplus SE AC-270P/156-60SE	270
89	Luxor	SOLO LINE P36/50W	50
90	Luxor	ECO LINE P60/270W	270
91	Luxor	ECO LINE M72/200W	200
92	Luxor	ECO LINE GLAS-GLAS M60/300W	300
93	Luxor	ECO LINE GLAS-GLAS M60/310W	310
94	Luxor	ECO LINE FULL BLACK GLAS-GLAS M60/300W	300
95	Luxor	ECO LINE HALF-CELLS P120/280W	280
96	Luxor	ECO LINE HALF-CELLS P120/285W	285
97	Luxor	ECO LINE HALF-CELLS M120/310W	310
98	Luxor	ECO SMART LINE P60/275W	275
99	Luxor	ECO LINE P60/275W	275
100	Luxor	ECO LINE P72/330W	330
101	Luxor	SOLO LINE M36/100W	100
102	Luxor	SOLO LINE P36/150W	150
103	Luxor	SECURE LINE FULL BLACK M60/300W	300
104	Luxor	SECURE LINE FULL BLACK M60/290W	290
105	Luxor	SECURE SMART LINE FULL BLACK M60/270W	270
106	Luxor	SECURE LINE M60/300W	300
107	Luxor	SECURE LINE FRAMELESS M60/300W	300
108	Luxor	ECO LINE M60/300W	300
109	Luxor	ECO LINE M48/245W	245
110	Luxor	ECO SMART LINE P60/270W	270
111	SunPower	SPR-MAX2-360	360
112	SunPower	SPR-MAX3-400	400
113	SunPower	SPR-MAX3-390	390
114	Victron	20W-12V Mono	20
115	Victron	30W-12V Mono	30
116	Victron	40W-12V Mono	40
117	Victron	55W-12V Mono	55
118	Victron	90W-12V Mono	90
119	Victron	115W-12V Mono	115
120	Victron	175W-12V Mono	175
121	Victron	215W-24V Mono	215
122	Victron	305W-20V Mono	305



**Πίνακας Π2.1(α4):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος -ονομασία – ονομαστική ισχύς.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
123	Victron	360W-24V Mono	360
124	Victron	20W-12V Poly	20
125	Victron	30W-12V Poly	30
126	Victron	45W-12V Poly	45
127	Victron	60W-12V Poly	60
128	Victron	90W-12V Poly	90
129	Victron	115W-12V Poly	115
130	Victron	175W-12V Poly	175
131	Victron	260W-20V Poly	260
132	Victron	270W-20V Poly	270
133	Victron	330W-24V Poly	330

**Πίνακας Π2.1(β1):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – ονομαστική τάση και ονομαστική ένταση υπό συνθήκες μέγιστης παραγωγής ισχύος – τάση ανοικτοκύκλωσης – ένταση βραχυκύκλωσης – μήκος –πλάτος –ύψος-κόστος και διάρκεια ζωής.

Αύξων αριθμός	Ονομαστική τάση [V]	Ονομαστική ένταση [A]	Τάση ανοικτοκύκλωσης [V]	Ένταση βραχυκύκλωσης [A]	Μήκος [mm]	Πλάτος [mm]	Υψος [mm]	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]
1	18,2	8,5	23	9,1	1046	996	2	755	10
2	18,2	8,5	23	9,1	1523	683	2	755	10
3	12,6	8,6	15,3	9	1046	683	2	583	10
4	18,6	8,6	23	9	1046	996	2	868	10
5	7,2	8,6	8,9	9,1	1205	365	2	362	10
6	8,4	8,6	10,2	9	1364	365	2	409	10
7	8,4	8,6	10,2	9	728	683	2	409	10
8	9	4,6	11	4,8	1109	292	2	858	10
9	9	4,6	11	4,8	601	546	2	858	10
10	20,5	4,6	24,5	4,8	1236	546	2	1927	10
11	8	8,6	10,1	9	728	683	2	509	10
12	8	8,6	10,1	9	1364	365	2	509	10
13	12,6	8,6	15,4	9	1046	683	2	677	10
14	7,2	9	8,9	9	1205	365	2	419	10
15	18,6	8,6	23	9	1523	683	2	1053	10
16	18,6	8,6	23	9	1046	996	2	1053	10
17	19,7	5,7	24,5	6	1236	546	2	1069	10
18	19,7	5,7	24,5	6	855	800	2	1069	10
19	22	5,7	27	6,1	1363	546	2	1187	10
20	13,7	5,7	16,4	6,1	855	546	2	737	10
21	9,1	5,7	10,9	6	601	546	2	512	10
22	9,1	5,7	10,9	6	1109	292	2	512	10
23	42,3	9,82	49,5	10,5	2024	1024	40	351	5
24	34,5	9,72	41,1	10,31	1686	1016	40	281	5
25	35,3	9,92	41,3	10,61	1686	1016	40	292	5

**Πίνακας Π2.1(β2):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλακιδίων- αύξων αριθμός – ονομαστική τάση και ονομαστική ένταση υπό συνθήκες μέγιστης παραγωγής ισχύος – τάση ανοικτοκύκλωσης – ένταση βραχυκύκλωσης – μήκος –πλάτος –ύψος-κόστος και διάρκεια ζωής.

Αύξων αριθμός	Ονομαστική τάση [V]	Ονομαστική ένταση [A]	Τάση ανοικτοκύκλωσης [V]	Ένταση βραχυκύκλωσης [A]	Μήκος [mm]	Πλάτος [mm]	Υψος [mm]	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]
26	36,7	9,82	43,3	10,5	1700	1016	40	413	5
27	41,5	9,65	49,7	10,22	2024	1024	40	339	5
28	34,1	9,83	40,7	10,34	1686	1061	40	292	5
29	34,5	9,86	41,1	10,53	1686	1061	40	282	5
30	37	10,01	42,8	10,82	1700	1016	40	398	5
31	34,1	9,69	41	10,27	1686	1016	40	279	5
32	34,1	9,83	41	10,49	1686	1016	40	296	5
33	31,3	9,43	38,6	10,02	1686	1016	40	235	5
34	31,6	9,5	38,9	10,07	1686	1016	40	243	5
35	36,5	9,87	42,7	10,79	1700	1016	40	397	5
36	36,4	9,76	43,1	40,44	1700	1016	40	355	5
37	37	10,01	42,8	10,82	1700	1016	40	456	5
38	33,7	9,65	40,9	10,23	1686	1016	40	246	5
39	41,5	9,65	49,7	10,22	2064	1024	40	339	5
40	37,7	9,55	44,1	10,23	1721	1016	30	330	5
41	33,6	9,24	40,2	10,01	1675	997	30	230	5
42	33,9	9,31	40,5	10,05	1675	997	30	237	5
43	32,7	9,18	39,9	9,8	1640	992	40	237	5
44	32,7	9,18	39,9	9,8	1640	992	40	230	5
45	54,7	6,13	64,9	6,62	1559	1046	46	320	5
46	48,15	10,2	40,15	9,6	2010	992	40	215	5
47	47,8	9,97	39,4	9,39	1956	992	35	210	5
48	40,82	9,89	33,18	9,35	1650	992	35	188	5
49	40,03	9,71	32,68	9,18	1650	992	35	186	5
50	45,96	8,91	39,11	8,45	1960	992	40	185	5
51	39,08	9,31	31,77	8,77	1650	992	35	165	5
52	48,82	9,87	39,66	9,33	1960	992	40	210	5
53	39,9	10,02	32,8	9,51	1660	990	42	240	5
54	38,4	9,18	30,9	8,73	1650	992	35	182	5
55	34	9,85	40,7	10,48	1698	1004	35	188	5
56	33,8	9,76	40,4	10,3	1698	1004	35	185	5
57	33,4	9,58	40,3	10,2	1698	1004	35	190	5
58	33,1	9,37	40,2	9,94	1650	992	35	176	5
59	31,5	9,05	38,8	9,53	1698	1004	35	160	5
60	31,4	8,92	38,2	9,4	1650	992	35	165	5
61	34,2	9,94	41,1	10,55	1698	1004	35	190	5
62	59,4	5,65	71	6,08	1590	1053	40	294	5
63	44,3	5,65	53,2	6,03	1580	798	35	245	5
64	59,2	5,5	70,9	5,94	1590	1053	40	304	5
65	58,7	5,46	70,5	5,89	1590	1053	40	287	5
66	57,6	5,65	69,6	6,03	1590	1053	40	289	5
67	59,5	5,55	71,2	5,99	1590	1053	40	283	5

**Πίνακας Π2.1(β3):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – ονομαστική τάση και ονομαστική ένταση υπό συνθήκες μέγιστης παραγωγής ισχύος – τάση ανοικτοκύκλωσης – ένταση βραχυκύκλωσης – μήκος –πλάτος –ύψος-κόστος και διάρκεια ζωής.

Αύξων αριθμός	Ονομαστική τάση [V]	Ονομαστική ένταση [A]	Τάση ανοικτοκύκλωσης [V]	Ένταση βραχυκύκλωσης [A]	Μήκος [mm]	Πλάτος [mm]	Υψος [mm]	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]
68	37,82	8,73	46,97	9,28	1956	992	40	196	5
69	32,16	9,34	40,08	9,82	1640	992	35	196	5
70	38,2	9,16	46,7	9,56	1956	992	40	240	5
71	38,45	9,38	47	9,77	1956	992	40	250	5
72	32,74	9,47	40,01	9,96	1675	992	35	202	5
73	32,74	9,47	40,01	9,96	1675	992	35	225	5
74	33,45	9,73	40,37	10,18	1675	992	35	228	5
75	32,16	9,34	40,08	9,82	1650	991	40	198	5
76	32,51	9,54	39,94	9,94	1645	985	40	266	5
77	32,37	9,27	39,72	9,74	1640	992	35	195	5
78	32,16	9,34	40,08	9,82	1640	992	35	205	5
79	32,37	9,27	39,72	9,74	1640	992	35	205	5
80	37,7	8,76	45,83	9,27	1956	992	40	195	5
81	31,26	8,64	38,31	9,15	1640	992	35	172	5
82	31,47	8,74	38,5	9,24	1640	992	35	172	5
83	31,25	8,83	38,29	9,32	1640	992	35	179	5
84	31,48	8,9	38,61	9,37	1640	992	35	181	5
85	31,67	8,85	38,96	9,33	1675	992	35	181	5
86	31,87	8,96	38,88	9,42	1675	992	35	186	5
87	32,06	9,05	39,07	9,51	1675	992	35	195	5
88	31,12	8,71	38,21	9,25	1650	991	40	220	5
89	17,44	2,88	21,6	3,24	52	156	35	144	5
90	31,16	8,68	38,32	9,18	1640	992	35	175	5
91	36,49	5,5	45,62	5,85	1580	808	35	210	5
92	32,02	9,38	38,89	9,88	1682	992	35	263	5
93	32,08	9,5	39,28	9,98	1682	992	35	275	5
94	32,02	9,38	38,89	9,88	1682	992	35	270	5
95	31,69	8,85	38,88	9,37	1675	992	35	144	5
96	31,92	8,94	39,17	9,46	1675	992	35	188	5
97	33,21	9,35	39,48	9,79	1675	992	35	204	5
98	31,42	8,77	38,58	9,77	1650	991	40	229	5
99	31,42	8,77	38,58	9,27	1640	992	35	174	5
100	37,66	8,77	46,29	9,27	1956	992	40	198	5
101	18,7	5,39	21,6	5,87	1194	542	35	165	5
102	18,45	8,14	22,39	8,59	1194	542	35	200	5
103	31,8	9,44	37,82	9,88	1682	1000	40	280	5
104	31,28	9,34	38,22	9,85	1682	1000	40	272	5
105	30,22	9,03	37,38	9,56	1682	1000	41	303	5
106	31,71	9,53	38,6	10,03	1682	1000	40	276	5
107	31,71	9,53	38,6	10,03	1673	991	6,8	270	5
108	32,14	9,35	38,78	9,85	1640	992	35	241	5
109	26,07	9,41	30,24	9,9	1324	992	34	225	5

**Πίνακας Π2.1(β4):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – ονομαστική τάση και ονομαστική ένταση υπό συνθήκες μέγιστης παραγωγής ισχύος – τάση ανοικτοκύκλωσης – ένταση βραχυκύκλωσης – μήκος –πλάτος –ύψος - κόστος και διάρκεια ζωής.

Αύξων αριθμός	Ονομαστική τάση [V]	Ονομαστική ένταση [A]	Τάση ανοικτοκύκλωσης [V]	Ένταση βραχυκύκλωσης [A]	Μήκος [mm]	Πλάτος [mm]	Υψος [mm]	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]
110	31,16	8,68	38,32	9,18	1650	991	40	221	5
111	59,1	6,09	70,6	6,5	1690	1046	40	343	5
112	65,8	6,08	75,6	6,58	1690	1046	40	444	5
113	64,5	6,05	75,3	6,55	1690	1046	40	407	5
114	18,5	1,09	22,6	1,19	440	350	25	74	5
115	18,7	1,61	22,87	1,76	560	350	25	79	5
116	18,3	2,19	22,45	2,4	425	668	25	89	5
117	18,8	2,94	22,9	3,22	545	688	25	108	5
118	19,6	4,59	24,06	5,03	780	668	30	146	5
119	19	6,04	23,32	6,61	1015	668	30	155	5
120	19,4	9,03	23,7	9,89	1485	668	30	195	5
121	37,4	5,75	45,82	6,3	1580	808	35	254	5
122	32,5	9,38	39,7	10,27	1640	992	35	295	5
123	38,4	9,38	47,4	10,24	1956	992	40	402	5
124	18,4	1,09	21,96	1,18	440	350	25	74	5
125	18,2	1,66	21,8	1,8	655	350	25	78	5
126	19,1	2,36	22,9	2,55	425	668	25	89	5
127	19,3	3,12	23,1	3,37	545	668	25	105	5
128	19,5	4,61	23,44	4,98	780	668	30	141	5
129	18,94	6,08	22,73	6,56	1015	668	30	146	5
130	18,3	9,56	21,9	10,24	1485	668	30	179	5
131	30	8,66	36,75	9,3	1640	992	40	200	5
132	31,7	8,52	38,04	9,21	1640	992	35	228	5
133	37,3	8,86	44,72	9,57	1956	992	40	268	5

**Πίνακας Π2.1(γ1):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός – θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης για τυπική θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος – πλαισίου 30 °C και τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C - μέγιστη τάση πλαισίου ως προς τη γη - μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης.

Αύξων αριθμός	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης [%/°C]	Μέγιστη τάση πλαισίου ως προς γη [V]	Μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης [A]
1	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
2	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
3	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
4	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
5	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
6	-0,38	-0,27	0,05	1000	12

**Πίνακας Π2.1(γ2):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης για τυπική θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος - πλαισίου 30 °C και τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C - μέγιστη τάση πλαισίου ως προς τη γη - μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης.

Αύξων αριθμός	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης [%/°C]	Μέγιστη τάση πλαισίου ως προς γη [V]	Μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης [A]
7	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
8	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
9	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
10	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
11	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
12	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
13	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
14	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
15	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
16	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
17	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
18	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
19	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
20	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
21	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
22	-0,38	-0,27	0,05	1000	12
23	-0,35	-0,26	0,03	1000	20
24	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
25	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
26	-0,3	-0,24	0,037	1000	20
27	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
28	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
29	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
30	-0,3	-0,24	0,037	1000	20
31	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
32	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
33	-0,41	-0,3	0,03	1000	20
34	-0,41	-0,3	0,03	1000	20
35	-0,3	-0,24	0,04	1000	20
36	-0,3	-0,24	0,04	1000	20
37	-0,3	-0,24	0,04	1000	20
38	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
39	-0,36	-0,27	0,03	1000	20
40	-0,26	-0,24	0,04	1000	25
41	-0,35	-0,27	0,04	1000	25
42	-0,35	-0,27	0,04	1000	27
43	-0,42	-0,3	0,05	1000	15
44	-0,42	-0,3	0,05	1000	15
45	-0,33	-0,26	0,05	1000	20
46	-0,39	-0,29	0,05	1000	20
47	-0,39	-0,3	0,06	1000	15

**Πίνακας Π2.1(γ3):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης για τυπική θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος - πλαισίου 30 °C και τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C - μέγιστη τάση πλαισίου ως προς τη γη - μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης.

Αύξων αριθμός	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης [%/°C]	Μέγιστη τάση πλαισίου ως προς γη [V]	Μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης [A]
48	-0,375	-0,273	0,037	1000	15
49	-0,375	-0,273	0,037	1000	15
50	-0,38	-0,28	0,039	1000	15
51	-0,38	-0,28	0,039	1000	15
52	-0,375	-0,273	0,037	1000	15
53	-0,4	-0,25	0,05	1000	20
54	-0,41	-0,32	0,05	1000	20
55	-0,37	-0,29	0,05	1000	20
56	-0,37	-0,29	0,05	1000	20
57	-0,37	-0,29	0,05	1000	20
58	-0,39	-0,29	0,05	1000	15
59	-0,38	-0,31	0,05	1000	20
60	-0,41	-0,32	0,05	1000	15
61	-0,37	-0,29	0,05	1000	20
62	-0,258	-0,235	0,055	1000	15
63	-0,258	-0,235	0,055	1000	15
64	-0,258	-0,23	0,056	1000	15
65	-0,258	-0,23	0,056	1000	15
66	-0,258	-0,23	0,055	1000	15
67	-0,258	0,235	0,055	1000	15
68	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
69	-0,4	-0,3	0,04	1000	16
70	-0,4	-0,3	0,04	1000	16
71	-0,4	-0,3	0,04	1000	16
72	-0,39	-0,29	0,04	1000	20
73	-0,39	-0,29	0,04	1000	20
74	-0,39	-0,29	0,04	1000	20
75	-0,4	-0,3	0,04	1000	15
76	-0,4	-0,3	0,04	1000	15
77	-0,39	-0,29	0,04	1000	20
78	-0,4	-0,3	0,04	1000	16
79	-0,39	-0,29	0,04	1000	20
80	-0,42	-0,3	0,04	1000	16
81	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
82	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
83	-0,42	-0,3	0,04	1000	16
84	-0,42	-0,3	0,04	1000	16
85	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
86	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
87	-0,4	-0,3	0,04	1000	20
88	-0,42	-0,33	0,05	1000	15

**Πίνακας Π2.1(γ4):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης για τυπική θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος - πλαισίου 30 °C και τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C - μέγιστη τάση πλαισίου ως προς τη γη - μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης.

Αύξων αριθμός	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης [%/°C]	Μέγιστη τάση πλαισίου ως προς γη [V]	Μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης [A]
89	-0,45	-0,35	0,05	1000	0
90	-0,41	-0,3	0,05	1000	15
91	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
92	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
93	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
94	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
95	-0,4	-0,3	0,055	1000	25
96	-0,4	-0,3	0,055	1000	25
97	-0,4	-0,3	0,055	1000	25
98	-0,41	-0,3	0,05	1000	15
99	-0,41	-0,3	0,05	1000	15
100	-0,41	-0,3	0,05	1000	15
101	-0,49	-0,35	0,05	1000	0
102	-0,45	-0,32	0,05	1000	0
103	-0,39	-0,3	0,06	1000	15
104	-0,39	-0,3	0,06	1000	15
105	-0,39	-0,3	0,06	1000	15
106	-0,39	-0,3	0,06	1000	15
107	-0,39	-0,3	0,06	1000	15
108	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
109	-0,4	-0,3	0,06	1000	15
110	-0,41	-0,3	0,05	1000	15
111	-0,35	-0,28	0,04	1000	15
112	-0,29	-0,23	0,044	1000	15
113	-0,29	-0,23	0,044	1000	15
114	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
115	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
116	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
117	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
118	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
119	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
120	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
121	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
122	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
123	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
124	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
125	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
126	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
127	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
128	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
129	-0,45	-0,35	0,04	1000	0

**Πίνακας Π2.1(γ5):** Δεδομένα φωτοβολταϊκών πλαισίων- αύξων αριθμός - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης - θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης για τυπική θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος - πλαισίου 30 °C και τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C - μέγιστη τάση πλαισίου ως προς τη γη - μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης.

Αύξων αριθμός	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής μέγιστης ισχύος [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής τάσης ανοικτοκύκλωσης [%/°C]	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης [%/°C]	Μέγιστη τάση πλαισίου ως προς γη [V]	Μέγιστο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης [A]
130	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
131	-0,45	-0,35	0,04	1000	0
132	-0,47	-0,34	0,045	1000	0
133	-0,45	-0,35	0,04	1000	0

## Π.2.2. Δεδομένα Αναστροφών

Στην παρούσα παράγραφο καταγράφονται τα δεδομένα των 205 αναστροφών από τον ιστότοπο της εταιρείας Europe Solar Store [Ε85] έχοντας εξαιρέσει αναστροφείς που έχουν ενσωματωμένους φορτιστές (συνήθως χαρακτηριζόμενους ως “hybrid”) και αναστροφείς που δεν έχουν ενσωματωμένο σύστημα αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος.

**Πίνακας Π2.2(α1):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός - εταιρεία - τύπος - ονομασία - ονομαστική ισχύς εισόδου.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
1	SMA	Sunny Tripower 3.0-STP3.0AV40	3100
2	SMA	Sunny Tripower 4.0-STP4.0AV40	4200
3	SMA	Sunny Tripower 5.0-STP5.0AV40	5250
4	SMA	Sunny Tripower 6.0-STP6.0AV40	6300
5	SMA	Sunny Tripower 8.0-STP8.0AV40	8400
6	SMA	Sunny Tripower 10.0-STP10.0AV40	10500
7	SMA	Sunny Tripower 8000 TL	8200
8	SMA	Sunny Tripower 9000 TL	9225
9	SMA	Sunny Tripower 15000 TL	15330
10	SMA	Sunny Tripower 20000 TL	20440
11	SMA	Sunny Tripower 25000 TL	25550
12	SMA	Sunny Tripower CORE1	51000
13	SMA	Sunny Tripower CORE2-STP110-60	112500
14	SMA	Sunny Boy 1.5	1600
15	SMA	Sunny Boy 2.0	2100
16	SMA	Sunny Boy 2.5	2700
17	SMA	Sunny Boy3.0-1AV-41	3200
18	SMA	Sunny Boy3.6-1AV-41	3880
19	SMA	Sunny Boy4.0-1AV-41	4200
20	SMA	Sunny Boy5.0-1AV-41	5250
21	SMA	Sunny Boy6.0-1AV-41	6300
22	Fronius	Symo GEN24 6.0 plus	6250
23	Fronius	Symo GEN24 8.0 plus	8330



**Πίνακας Π2.2(α2):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος - ονομασία – ονομαστική ισχύς εισόδου.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
24	Fronius	Symo GEN24 10.0 plus	10400
25	Fronius	Symo 3.0-3-S	3150
26	Fronius	Symo 3.7-3-S	3850
27	Fronius	Symo 4.5-3-S	4650
28	Fronius	Symo 3.0-3-M	3150
29	Fronius	Symo 3.7-3-M	3850
30	Fronius	Symo 4.5-3-M	4650
31	Fronius	Symo 5.0-3-M	5200
32	Fronius	Symo 6.0-3-M	6200
33	Fronius	Symo 7.0-3-M	7200
34	Fronius	Symo 8.2-3-M	8400
35	Fronius	Symo 10-3-M	10300
36	Fronius	Symo 12.5-3-M	12850
37	Fronius	Symo 15-3-M	15400
38	Fronius	Symo 17.5-3-M	17950
39	Fronius	Symo 20-3-M	20500
40	Fronius	Eco 25.0-3-S	25550
41	Fronius	Eco 27.0-3-S	27600
42	Fronius	PRIMO 3.0-1	3150
43	Fronius	PRIMO 3.5-1	3650
44	Fronius	PRIMO 3.6-1	3750
45	Fronius	PRIMO 4.0-1	4150
46	Fronius	PRIMO 4.6-1	4750
47	Fronius	PRIMO 5.0-1	5200
48	Fronius	PRIMO 6.0-1	6200
49	Fronius	PRIMO 8.0-1	8450
50	Fronius	Primo GEN24 3.0 plus	3150
51	Fronius	Primo GEN24 3.6 plus	3750
52	Fronius	Primo GEN24 4.0 plus	4150
53	Fronius	Primo GEN24 4.6 plus	4800
54	Fronius	Primo GEN24 5.0 plus	5200
55	Fronius	Primo GEN24 6.0 plus	6250
56	Kaco	blueplanet 3.0 TL1 M1	3100
57	Kaco	blueplanet 3.0 TL1 M2	3100
58	Kaco	blueplanet 3.5 TL1	3600
59	Kaco	blueplanet 3.7 TL1	3800
60	Kaco	blueplanet 4.0 TL1	4100
61	Kaco	blueplanet 4.6 TL1	4700
62	Kaco	blueplanet 5.0 TL1	5140
63	Kaco	blueplanet 3.0 TL3	3200
64	Kaco	blueplanet 4.0 TL3	4200
65	Kaco	blueplanet 5.0 TL3	5200
66	Kaco	blueplanet 6.5 TL3	6700
67	Kaco	blueplanet 7.5 TL3	7700
68	Kaco	blueplanet 8.6 TL3	8800
69	Kaco	blueplanet 9.0 TL3	9200

**Πίνακας Π2.2(α3):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος - ονομασία – ονομαστική ισχύς εισόδου.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
70	Kaco	blueplanet 10.0 TL3	10200
71	Kaco	blueplanet 15.0 TL3	15400
72	Kaco	blueplanet 20.0 TL3	20400
73	Kaco	blueplanet 50.0 XL TL3	51000
74	Kaco	blueplanet 92.0 TL3	93400
75	Kaco	Powador 39.0 XL TL3	37000
76	Kaco	Powador 60.0 XL TL3	51100
77	Kaco	Powador 48.0 XL TL3	40850
78	Kaco	Powador 72.0 XL TL3	61350
79	Kostal	PIKO MP PLUS 1.5-1	1540
80	Kostal	PIKO MP PLUS 2.0-1	2050
81	Kostal	PIKO MP PLUS 2.5-1	2560
82	Kostal	PIKO MP PLUS 3.0-1	3070
83	Kostal	PIKO MP PLUS 3.0-2	3070
84	Kostal	PIKO MP PLUS 3.5-1	3770
85	Kostal	PIKO MP PLUS 3.5-2	3770
86	Kostal	PIKO MP PLUS 4.0-2	4740
87	Kostal	Plenticore Plus 3.0	3090
88	Kostal	Plenticore Plus 4.2	4330
89	Kostal	Plenticore Plus 5.5	5670
90	Kostal	Plenticore Plus 7.0	7220
91	Kostal	Plenticore Plus 8.5	8760
92	Kostal	Plenticore Plus 10.0	10310
93	Kostal	PIKO 4.2 IQ	4330
94	Kostal	PIKO 5.5 IQ	5670
95	Kostal	PIKO 7.0 IQ	7220
96	Kostal	PIKO 8.5 IQ	8760
97	Kostal	PIKO 10.0 IQ	10310
98	Kostal	PIKO 12	12900
99	Kostal	PIKO 15	16900
100	Kostal	PIKO 17	19200
101	Kostal	PIKO 20	22600
102	Kostal	PIKO 36 EPC	37000
103	Sungrow	SG2K5-S Residential single phase inverter	2565
104	Sungrow	SG3K-S Residential single phase inverter	3070
105	Sungrow	SG3K6-S Residential string inverter	3767
106	Sungrow	SG4K6-S Residential string inverter	4694
107	Sungrow	SG5K-S Residential string inverter	5102
108	Sungrow	SG5KTL-MT-V14	5123
109	Sungrow	SG6KTL-MT-V13	6141
110	Sungrow	SG8KTL-MT-V13	8163
111	Sungrow	SG10KTL-MT-V15	10194
112	Sungrow	SG33CX Multi-MPPT string inverter	33571
113	Sungrow	SG40CX Multi-MPPT string inverter	40692
114	Sungrow	SG50CX Multi-MPPT string inverter	50813
115	Sungrow	SG110CX Multi-MPPT string inverter	111675

**Πίνακας Π2.2(α4):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος - ονομασία – ονομαστική ισχύς εισόδου.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
116	Sungrow	SG125HV-V122 APID Hight Voltage string solar inverter	126646
117	Sungrow	SG125HV-V122 APID Q&N Hight Voltage string solar inverter	126646
118	Solax	X1-0.7 MINI	737
119	Solax	X1-1.1 MINI	1158
120	Solax	X1-1.5 MINI	1579
121	Solax	X1-2.0 MINI	2105
122	Solax	X1-2.5 AIR	2561
123	Solax	X1-3.0 AIR	3074
124	Solax	X1-3.3 AIR	3381
125	Solax	X1-3.0T Boost	3093
126	Solax	X1-3.3T Boost	3402
127	Solax	X1-3.6T Boost	3712
128	Solax	X1-4.2T Boost	4330
129	Solax	X1-5.0T Boost	5155
130	Solax	X3-4.0T	4090
131	Solax	X3-5.0T	5112
132	Solax	X3-6.0T	6135
133	Solax	X3-7.0T	7143
134	Solax	X3-8.0T	8163
135	Solax	X3-9.0T	9184
136	Solax	X3-10.0T	10204
137	Huawei	SUN2000-3KTL-M1	3100
138	Huawei	SUN2000-4KTL-M1	4120
139	Huawei	SUN2000-5KTL-M1	5120
140	Huawei	SUN2000-6KTL-M1	6140
141	Huawei	SUN2000-8KTL-M1	8160
142	Huawei	SUN2000-10KTL-M1	10190
143	Huawei	SUN2000L-2KTL-L1	2068
144	Huawei	SUN2000L-3KTL-L1	3083
145	Huawei	SUN2000L-3.68KTL-L1	3780
146	Huawei	SUN2000L-4KTL-L1	4100
147	Huawei	SUN2000 -4.6KTL-L1	4700
148	Huawei	SUN2000L-5KTL-L1	5120
149	Huawei	SUN2000L-6KTL-L1	6130
150	Huawei	SUN2000-12KTL-M2	15250
151	Huawei	SUN2000-15KTL-M2	15260
152	Huawei	SUN2000-17KTL-M2	17290
153	Huawei	SUN2000-20KTL-M2	20350
154	Huawei	SUN2000-33 KTL-A	30480
155	Huawei	SUN2000-36 KTL	36510
156	Huawei	SUN2000-30KTL-M3	30480
157	Huawei	SUN2000-36KTL-M3	36580
158	Huawei	SUN2000-40KTL-M3	40650
159	Huawei	SUN2000-60KTL-M0	60790
160	Huawei	SUN2000-100 KTL-M1	101420

**Πίνακας Π2.2(α5):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – εταιρεία - τύπος - ονομασία – ονομαστική ισχύς εισόδου.

Αύξων αριθμός	Εταιρεία	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [W]
161	Huawei	SUN2000-105 KTL-H1	106275
162	Huawei	SUN2000-185 KTL-H1	187455
163	ABB	UNO-DM-1.2-TL-PLUS	1300
164	ABB	UNO-DM-2.0-TL-PLUS	2100
165	ABB	UNO-DM-3.0-TL-PLUS	3150
166	ABB	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	3420
167	ABB	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	4150
168	ABB	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	4770
169	ABB	UNO-DM-5.0-TL-PLUS	5190
170	ABB	UNO-DM-6.0-TL-PLUS	6180
171	ABB	TRIO-5.8-TL-OUTD-S	5950
172	ABB	TRIO-7.5-TL-OUTD-S	7690
173	ABB	TRIO-8.5-TL-OUTD-S	8760
174	ABB	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	20400
175	ABB	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400	28160
176	ABB	PVI-10.0-TL-OUTD-S	11340
177	ABB	PVI-10.0-TL-OUTD-FS	11340
178	ABB	PVI-12.5-TL-OUTD-FS	14220
179	ABB	PVS-50-TL	51020
180	ABB	PVS-100-TL	61220
181	ABB	PVS-120-TL	101830
182	ABB	PVS-175-TL-SX2	101420
183	GoodWe	GW12KN-DT	12500
184	GoodWe	GW15KN-DT	15306
185	GoodWe	GW17KN-DT	17330
186	GoodWe	GW20KN-DT	20390
187	GoodWe	GW3000D-NS	3100
188	GoodWe	GW3600D-NS	3780
189	GoodWe	GW4200D-NS	4038
190	GoodWe	GW5000D-NS	5130
191	GoodWe	GW6000D-NS	6155
192	DELTA	H2.5 Flex	2600
193	DELTA	H3 Flex	3190
194	DELTA	H4A Flex	4320
195	DELTA	H5A Flex	5280
196	DELTA	RPI M6A	6600
197	DELTA	RPI M8A	8800
198	DELTA	RPI M10A	11000
199	DELTA	RPI M15A	16500
200	DELTA	RPI M20A	22000
201	DELTA	RPI M30A_120	35000
202	DELTA	RPI M30A_121	35000
203	DELTA	RPI M50A_12S	58000
204	DELTA	M88H_122 CF	70000
205	DELTA	M88H_121 ST	76000

**Πίνακας Π2.2(β1):** Δεδομένα αναστροφέων- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
1	850	140	800	580	125	150	12	18	2	1
2	850	175	800	580	125	150	12	18	2	1
3	850	215	800	580	125	150	12	18	2	1
4	850	260	800	580	125	150	12	18	2	1
5	1000	260	800	580	125	150	10	15	3	1
6	1000	320	800	580	125	150	10	15	3	1
7	1000	330	800	580	150	188	10	15	2	2
8	1000	370	800	580	150	188	10	15	2	2
9	1000	240	800	600	150	188	33	43	2	3
10	1000	320	800	600	150	188	33	43	2	3
11	1000	390	800	600	150	188	33	43	2	3
12	1000	150	1000	750	150	188	20	30	6	2
13	1100	500	800	585	200	250	26	40	12	2
14	600	160	500	360	50	80	10	18	1	1
15	600	210	500	360	50	80	10	18	1	1
16	600	260	500	360	50	80	10	18	1	1
17	600	110	500	365	100	125	15	20	2	2
18	600	130	500	365	100	125	15	20	2	2
19	600	140	500	365	100	125	15	20	2	2
20	600	175	500	365	100	125	15	20	2	2
21	600	175	500	365	100	125	15	20	2	2
22	1000	80	1000	595	80	150	12,5	18,75	2	1
23	1000	80	1000	595	80	150	12,5	18,75	2	1
24	1000	80	1000	595	80	150	12,5	18,75	2	1
25	1000	150	800	475	150	200	16	24	1	3
26	1000	150	800	475	150	200	16	24	1	3
27	1000	150	800	475	150	200	16	24	1	3
28	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
29	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
30	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
31	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
32	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
33	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
34	1000	150	800	475	150	200	16	24	2	2
35	1000	200	800	500	200	200	16,5	24,8	2	3
36	1000	200	800	500	200	200	16,5	24,8	2	3
37	1000	200	800	500	200	200	27	40,5	2	3
38	1000	200	800	500	200	200	27	40,5	2	3
39	1000	200	800	500	200	200	27	40,5	2	3
40	1000	580	850	715	580	650	44,2	71,6	1	6

**Πίνακας Π2.2(β2):** Δεδομένα αναστροφέων- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
41	1000	580	850	715	580	650	47,7	71,6	1	6
42	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
43	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
44	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
45	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
46	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
47	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
48	1000	80	800	440	80	80	12	18	2	2
49	1000	80	800	440	80	80	18	27	2	2
50	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
51	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
52	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
53	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
54	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
55	600	65	530	400	65	80	12	18	2	2
56	600	280	510	379	125	150	11	13,2	1	1
57	600	140	510	379	125	150	11	13,2	2	1
58	600	165	510	379	125	150	11	13,2	2	1
59	600	170	510	379	125	150	11	13,2	2	1
60	600	185	510	379	125	150	11	13,2	2	1
61	600	215	510	379	125	150	11	13,2	2	1
62	600	235	510	379	125	150	11	13,2	2	1
63	1000	200	800	653	200	250	11	16	2	1
64	1000	200	800	653	200	250	11	16	2	1
65	1000	200	800	653	200	250	11	16	2	1
66	1000	310	800	653	200	250	11	16	2	1
67	1000	350	800	653	200	250	11	16	2	1
68	1000	403	800	653	200	250	11	16	2	1
69	1000	420	800	653	200	250	11	16	2	1
70	1000	470	800	653	200	250	11	16	2	1
71	1000	420	800	653	200	250	20	32	2	2
72	1000	515	800	653	200	250	20	32	2	2
73	1100	580	900	740	580	670	90	190	1	10
74	1500	591	1300	945,5	591	675	160	300	1	2
75	1000	200	800	500	200	250	34	51	3	4
76	1000	200	850	525	200	250	36	54	3	4
77	1000	200	800	500	200	250	34	51	3	4
78	1000	200	850	525	200	250	36	54	3	5
79	450	120	360	350	75	100	13	15	1	1
80	450	160	360	350	75	100	13	15	1	1

**Πίνακας Π2.2(β3):** Δεδομένα αναστροφέων- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
81	450	200	360	350	75	100	13	15	1	1
82	750	230	600	350	75	100	13	15	1	1
83	750	115	600	350	75	100	13	15	2	1
84	750	280	600	350	75	100	13	15	1	1
85	750	140	600	350	75	100	13	15	2	1
86	750	180	600	350	75	100	13	15	2	1
87	1000	140	720	570	120	150	13	16,25	3	1
88	1000	140	720	570	120	150	13	16,25	3	1
89	1000	160	720	570	120	150	13	16,25	3	1
90	1000	195	720	570	120	150	13	16,25	3	1
91	1000	230	720	570	120	150	13	16,25	3	1
92	1000	275	720	570	120	150	13	16,25	3	1
93	1000	180	720	570	120	150	13	16,25	2	1
94	1000	225	720	570	120	150	13	16,25	2	1
95	1000	290	720	570	120	150	13	16,25	2	1
96	1000	345	720	570	120	150	13	16,25	2	1
97	1000	405	720	570	120	150	13	16,25	2	1
98	1000	345	800	680	160	180	18	25	2	1
99	1000	260	800	680	160	180	20	25	3	1
100	1000	290	800	680	160	180	20	25	3	1
101	1000	345	800	680	160	180	20	25	3	1
102	1100	580	1000	790	580	580	156	195	1	6
103	600	260	480	360	90	120	12,5	15	1	1
104	600	310	480	360	90	120	12,5	15	1	1
105	600	190	480	360	90	120	10	12	2	1
106	600	240	480	360	90	120	10	12	2	1
107	600	260	480	360	90	120	10	12	2	1
108	1100	240	850	600	200	250	11	15	2	1
109	1100	290	850	600	200	250	11	15	2	1
110	1100	380	850	600	200	250	11	15	2	1
111	1100	470	850	600	200	250	11	15	2	1
112	1100	550	850	585	200	250	26	40	3	2
113	1100	550	850	585	200	250	26	40	4	2
114	1100	550	850	585	200	250	26	40	5	2
115	1100	550	850	585	200	250	26	40	9	2
116	1500	860	1250	1050	860	920	148	250	1	1
117	1500	860	1250	1050	860	920	148	240	1	1
118	400	55	380	360	50	70	10	12	1	1
119	400	55	380	360	50	70	10	12	1	1
120	400	55	380	360	50	70	10	12	1	1

**Πίνακας Π2.2(β4):** Δεδομένα αναστροφέων- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
121	400	55	380	360	50	70	10	12	1	1
122	600	100	580	360	100	120	10	12	1	1
123	600	100	580	360	100	120	10	12	1	1
124	600	100	580	360	100	120	10	12	1	1
125	600	150	550	360	110	150	12	15	2	1
126	600	150	550	360	110	150	12	15	2	1
127	600	160	550	360	110	150	12	15	2	1
128	600	190	550	360	110	150	12	15	2	1
129	600	220	550	360	110	150	12	15	2	1
130	800	190	750	600	140	180	11	14	2	1
131	800	240	750	600	140	180	11	14	2	1
132	800	285	750	600	140	180	11	14	2	1
133	800	330	750	600	140	180	11	14	2	1
134	800	380	750	600	140	180	11	14	2	1
135	800	425	750	600	140	180	11	14	2	1
136	800	470	750	600	140	180	11	14	2	1
137	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
138	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
139	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
140	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
141	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
142	1100	320	850	600	140	200	11	15	2	1
143	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
144	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
145	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
146	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
147	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
148	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
149	600	90	560	360	90	100	12,5	18	2	1
150	1080	320	850	600	160	200	22	30	2	2
151	1080	320	850	600	160	200	22	30	2	2
152	1080	320	850	600	160	200	22	30	2	2
153	1080	320	850	600	160	200	22	30	2	2
154	1100	200	1000	620	200	250	22	30	4	2
155	1100	200	1000	620	200	250	22	30	4	2
156	1100	200	1000	600	200	200	26	40	4	2
157	1100	200	1000	600	200	200	26	40	4	2
158	1100	200	1000	600	200	200	26	40	4	2
159	1100	200	1000	600	200	200	22	30	3	2
160	1100	200	1000	600	200	200	26	40	5	2



**Πίνακας Π2.2(β5):** Δεδομένα αναστροφέων- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
161	1500	600	1500	1080	600	650	25	33	6	2
162	1500	500	1500	1080	500	550	26	40	9	2
163	600	100	530	315	90	120	10	12,5	1	1
164	600	210	530	370	105	150	10	12,5	1	1
165	600	320	530	425	105	150	10	12,5	1	1
166	600	170	530	350	140	200	10	12,5	2	1
167	600	130	530	330	140	200	16	20	2	1
168	600	150	530	340	140	200	16	20	2	1
169	600	145	530	675	140	200	19	22	2	1
170	600	160	480	320	140	200	20	25	2	1
171	1000	320	800	620	245	350	18,9	24	1	2
172	1000	320	800	620	245	350	15	20	2	2
173	1000	320	800	620	245	350	15	20	2	2
174	1000	440	800	620	301	430	25	30	2	1
175	1000	500	800	620	301	430	32	40	2	1
176	1000	300	750	525	200	200	34	51	2	2
177	1000	300	750	525	200	200	34	51	2	2
178	1000	300	750	525	200	200	36	54	2	2
179	1000	480	800	610	300	420	36	55	3	5
180	1000	570	800	720	360	500	36	55	3	5
181	1000	480	850	620	360	420	36	50	2	2
182	1000	570	850	620	360	420	36	50	2	2
183	1000	200	850	620	180	180	11	13,8	3	1
184	1000	200	850	620	180	180	11	13,8	3	1
185	1000	200	950	620	180	180	22	27,5	2	2
186	1000	200	950	620	180	180	22	27,5	2	2
187	600	80	550	360	80	120	11	13,8	2	1
188	600	80	550	360	80	120	11	13,8	2	1
189	600	80	550	360	80	120	11	13,8	2	1
190	600	80	550	360	80	120	11	13,8	2	1
191	600	80	550	360	80	120	11	13,8	2	1
192	500	30	500	355	30	30	11	11	1	1
193	600	30	550	395	30	30	11	11	1	1
194	600	30	550	370	30	30	9	9	2	1
195	600	30	550	370	30	30	11	11	2	1
196	1000	200	1000	557,5	200	250	10	10	2	1
197	1000	200	1000	500	200	250	10	10	2	1
198	1000	200	1000	500	200	250	10	13	3	1
199	1000	200	1000	500	200	250	12	22	2	2
200	1000	200	1000	500	200	250	12	22	2	2

**Πίνακας Π2.2(β5):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας – ελάχιστη / μέγιστη / ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) - ελάχιστη τάση λειτουργίας – τάση εκκίνησης λειτουργίας – μέγιστη ένταση ρεύματος λειτουργίας & βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP – πλήθος εισόδων MPP – Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP.

Αύξων αριθμός	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Μέγιστη συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ονομαστική συνεχής τάση λειτουργίας με MPP [V]	Ελάχιστη συνεχής τάση λειτουργίας [V]	Τάση εκκίνησης λειτουργίας [V]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος λειτουργίας ανά είσοδο MPP [A]	Μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος βραχυκύκλωσης ανά είσοδο MPP [A]	Πλήθος εισόδων MPP [-]	Πλήθος στοιχειοσειρών ανά είσοδο [-]
201	1100	200	1000	500	200	250	30	36	2	4
202	1000	200	1000	500	200	250	30	36	2	3
203	1100	200	1000	500	200	250	50	72	2	6
204	1100	200	1000	500	200	250	70	90	2	9
205	1100	200	1000	500	200	250	70	90	2	1

**Πίνακας Π2.2(γ1):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
1	1307	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
2	1399	10	97,1	3	400	50	0,8	0,8
3	1685	10	97,4	3	400	50	0,8	0,8
4	1647	10	97,6	3	400	50	0,8	0,8
5	1969	10	97,7	3	400	50	0,8	0,8
6	2192	10	98	3	400	50	0,8	0,8
7	1969	10	97,6	3	400	50	0,8	0,8
8	2100	10	97,6	3	400	50	0,8	0,8
9	3057	10	98	3	400	50	0	0
10	3272	10	98	3	400	50	0	0
11	3310	10	98,1	3	400	50	0	0
12	6074	10	98	3	400	50	0	0
13	7203	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
14	842	10	96,1	1	230	50	0,8	0,8
15	888	10	96,4	1	230	50	0,8	0,8
16	991	10	96,7	1	230	50	0,8	0,8
17	1172	10	96,4	1	230	50	0,8	0,8
18	1239	10	96,5	1	230	50	0,8	0,8
19	1301	10	96,5	1	230	50	0,8	0,8
20	1388	10	96,5	1	230	50	0,8	0,8
21	1479	10	96,5	1	230	50	0,8	0,8
22	2540	12	97,1	3	400	50	0,7	0,7
23	2885	12	97,1	3	400	50	0,7	0,7
24	3281	12	97,1	3	400	50	0,7	0,7

**Πίνακας Π2.2(γ2):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
25	1244	12	96,2	3	400	50	0,7	0,7
26	1494	12	96,7	3	400	50	0,7	0,7
27	1430	12	97	3	400	50	0,7	0,7
28	1151	12	96,5	3	400	50	0,85	0,85
29	1238	12	96,9	3	400	50	0,85	0,85
30	1300	12	97,2	3	400	50	0,85	0,85
31	1534	12	97,3	3	400	50	0,85	0,85
32	1562	12	97,5	3	400	50	0,85	0,85
33	1696	12	97,6	3	400	50	0,85	0,85
34	2155	12	97,7	3	400	50	0,85	0,85
35	2302	12	97,4	3	400	50	0	0
36	2535	12	97,6	3	400	50	0	0
37	2572	12	97,8	3	400	50	0	0
38	2794	12	97,8	3	400	50	0	0
39	3043	12	97,9	3	400	50	0	0
40	3217	12	98	3	400	50	0	0
41	3305	12	98	3	400	50	0	0
42	1086	12	96,1	1	230	50	0,85	0,85
43	1143	12	96,8	1	230	50	0,85	0,85
44	1153	12	96,8	1	230	50	0,85	0,85
45	1209	12	97	1	230	50	0,85	0,85
46	1286	12	97	1	230	50	0,85	0,85
47	1333	12	97,1	1	230	50	0,85	0,85
48	1556	12	97,3	1	230	50	0,85	0,85
49	1799	12	97,5	1	230	50	0,85	0,85
50	1908	12	97	1	230	50	0,8	0,8
51	1995	12	97	1	230	50	0,8	0,8
52	2050	12	97	1	230	50	0,8	0,8
53	2192	12	97	1	230	50	0,8	0,8
54	2303	12	97	1	230	50	0,8	0,8
55	2548	12	97	1	230	50	0,8	0,8
56	1200	10	96,2	1	230	50	0,3	0,3
57	1336	10	96,5	1	230	50	0,3	0,3
58	1362	10	96,5	1	230	50	0,3	0,3
59	1386	10	96,5	1	230	50	0,3	0,3
60	1010	10	96,6	1	230	50	0,3	0,3
61	1435	10	96,6	1	230	50	0,3	0,3
62	1554	10	96,6	1	230	50	0,3	0,3
63	1628	10	96,6	3	400	50	0,3	0,3
64	1642	10	97,1	3	400	50	0,3	0,3
65	1659	10	97,4	3	400	50	0,3	0,3
66	1690	10	97,6	3	400	50	0,3	0,3

**Πίνακας Π2.2(γ3):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
67	1746	10	97,7	3	400	50	0,3	0,3
68	1841	10	97,9	3	400	50	0,3	0,3
69	1889	10	97,9	3	400	50	0,3	0,3
70	1999	10	98,3	3	400	50	0,3	0,3
71	2602	10	97,6	3	400	50	0,3	0,3
72	2819	10	98,1	3	400	50	0,3	0,3
73	5041	10	98,1	3	400	50	0,3	0,3
74	7301	10	98,5	3	400	50	0,3	0,3
75	6612	10	97,2	3	400	50	0,8	0,8
76	7175	10	97,6	3	400	50	0,8	0,8
77	7056	10	97,9	3	400	50	0,8	0,8
78	7455	10	97,8	3	400	50	0,8	0,8
79	910	10	96,1	1	230	50	0,8	0,8
80	991	10	96,5	1	230	50	0,8	0,8
81	1073	10	96,6	1	230	50	0,8	0,8
82	1156	10	96,3	1	230	50	0,8	0,8
83	1287	10	96,3	1	230	50	0,8	0,8
84	1252	10	96,3	1	230	50	0,8	0,8
85	1388	10	96,3	1	230	50	0,8	0,8
86	1561	10	96,9	1	230	50	0,8	0,8
87	1432	10	95,3	3	400	50	0,8	0,8
88	1562	10	95,5	3	400	50	0,8	0,8
89	1593	10	96,2	3	400	50	0,8	0,8
90	1972	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
91	2143	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
92	2318	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
93	1301	10	96,2	3	400	50	0,8	0,8
94	1678	10	96,2	3	400	50	0,8	0,8
95	2068	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
96	2289	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
97	2473	10	96,5	3	400	50	0,8	0,8
98	2804	10	97,1	3	400	50	0,8	0,8
99	3094	10	97,2	3	400	50	0,8	0,8
100	3315	10	97,3	3	400	50	0,8	0,8
101	3416	10	97,3	3	400	50	0,8	0,8
102	4237	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
103	637	15	97,5	1	230	50	0,8	0,8
104	713	15	97,7	1	230	50	0,8	0,8
105	823	15	97,7	1	230	50	0,8	0,8
106	1030	15	98	1	230	50	0,8	0,8
107	1073	15	98	1	230	50	0,8	0,8
108	1244	15	97,6	3	400	50	0,8	0,8

**Πίνακας Π2.2(γ4):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
109	1321	15	97,7	3	400	50	0,8	0,8
110	1489	15	98	3	400	50	0,8	0,8
111	1729	15	98,1	3	400	50	0,8	0,8
112	2869	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
113	3055	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
114	3535	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
115	5889	10	98,5	3	400	50	0,8	0,8
116	5777	10	98,7	3	600	50	0,8	0,8
117	5988	10	98,7	3	600	50	0,8	0,8
118	418	15	95	1	230	50	0,8	0,8
119	429	15	95	1	230	50	0,8	0,8
120	479	15	95	1	230	50	0,8	0,8
121	516	15	95	1	230	50	0,8	0,8
122	548	10	97,6	1	230	50	0,8	0,8
123	594	10	97,6	1	230	50	0,8	0,8
124	616	10	97,6	1	230	50	0,8	0,8
125	715	10	97	1	230	50	0,8	0,8
126	764	10	97	1	230	50	0,8	0,8
127	822	10	97	1	230	50	0,8	0,8
128	841	10	97	1	230	50	0,8	0,8
129	1183	10	97	1	230	50	0,8	0,8
130	1309	10	97,8	3	400	50	0,8	0,8
131	1368	10	97,8	3	400	50	0,8	0,8
132	1419	10	97,8	3	400	50	0,8	0,8
133	1495	10	98	3	400	50	0,8	0,8
134	1572	10	98	3	400	50	0,8	0,8
135	1627	10	98	3	400	50	0,8	0,8
136	1673	10	98	3	400	50	0,8	0,8
137	1478	10	96,7	3	400	50	0,8	0,8
138	1540	10	97,1	3	400	50	0,8	0,8
139	1630	10	97,5	3	400	50	0,8	0,8
140	1806	10	97,7	3	400	50	0,8	0,8
141	2125	10	98	3	400	50	0,8	0,8
142	2375	10	98,1	1	230	50	0,8	0,8
143	1034	15	96,7	1	230	50	0,8	0,8
144	1384	15	97,3	1	230	50	0,8	0,8
145	1410	15	97,3	1	230	50	0,8	0,8
146	1522	15	97,5	1	230	50	0,8	0,8
147	1570	15	97,7	1	230	50	0,8	0,8
148	1610	15	97,8	1	230	50	0,8	0,8
149	1668	15	97,8	1	230	50	0,8	0,8
150	2573	10	98	3	400	50	0,8	0,8

**Πίνακας Π2.2(γ5):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
151	2885	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
152	2942	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
153	3148	10	98,3	3	400	50	0,8	0,8
154	3222	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
155	4030	10	98,6	3	400	50	0,8	0,8
156	3285	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
157	4064	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
158	4180	10	98,4	3	400	50	0,8	0,8
159	5155	10	98,7	3	400	50	0,8	0,8
160	7140	10	98,6	3	400	50	0,8	0,8
161	7154	10	98,8	3	400	50	0,8	0,8
162	8442	10	98,69	3	400	50	0,8	0,8
163	866	10	92	1	230	50	0,1	0,1
164	913	10	95	1	230	50	0,1	0,1
165	940	10	95	1	230	50	0,1	0,1
166	940	10	96,5	1	230	50	0,1	0,1
167	1070	10	96,5	1	230	50	0,1	0,1
168	1150	10	96,5	1	230	50	0,1	0,1
169	1210	10	96,5	1	230	50	0,1	0,1
170	1340	10	97	1	230	50	0,8	0,8
171	1684	10	97,4	3	400	50	0,8	0,8
172	1856	10	97,4	3	400	50	0,8	0,8
173	1882	10	97,4	3	400	50	0,8	0,8
174	3987	10	98	3	400	50	0,8	0,8
175	4460	10	98	3	400	50	0,8	0,8
176	2050	10	97	3	400	50	0,8	0,8
177	2063	10	97	3	400	50	0,8	0,8
178	2295	10	97	3	400	50	0,8	0,8
179	5912	10	98	3	400	50	0	0
180	8925	10	98	3	400	50	0	0
181	9410	10	98,2	3	400	50	0	0
182	10920	10	98,6	3	400	50	0	0
183	1815	10	98	3	400	50	0,8	0,8
184	1915	10	98	3	400	50	0,8	0,8
185	2014	10	98,1	3	400	50	0,8	0,8
186	2014	10	98,1	3	400	50	0,8	0,8
187	965	10	97,5	1	230	50	0,8	0,8
188	1040	10	97,5	1	230	50	0,8	0,8
189	1100	10	97,5	1	230	50	0,8	0,8
190	1333	10	97,5	1	230	50	0,8	0,8
191	1140	10	97,5	1	230	50	0,8	0,8
192	736	10	96,8	1	230	50	0,8	0,8

**Πίνακας Π2.2(γ6):** Δεδομένα αναστροφών- αύξων αριθμός – κόστος και διάρκεια ζωής – βαθμός απόδοσης κατά τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές – πλήθος φάσεων εξόδου – ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου και αντίστοιχη συχνότητα – κάτω όρια λειτουργίας επαγωγικού και χωρητικού συντελεστή ισχύος.

Αύξων αριθμός	Κόστος [€]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Βαθμός απόδοσης κατά ευρωπαϊκές προδιαγραφές [%]	Πλήθος φάσεων εξόδου [-]	Ονομαστική εναλλασσόμενη τάση εξόδου [V]	Ονομαστική συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης εξόδου [Hz]	Κάτω όριο λειτουργίας επαγωγικού συντελεστή ισχύος [-]	Κάτω όριο λειτουργίας χωρητικού συντελεστή ισχύος [-]
193	798	10	97	1	230	50	0,8	0,8
194	864	10	96,8	1	230	50	0,8	0,8
195	1014	10	98	1	230	50	0,8	0,8
196	1454	10	97,6	1	230	50	0,8	0,8
197	1704	10	97,9	1	230	50	0,8	0,8
198	1895	10	98	1	230	50	0,8	0,8
199	2508	10	97,9	1	230	50	0,8	0,8
200	2680	10	98,1	1	230	50	0,8	0,8
201	3327	10	98,2	1	230	50	0,8	0,8
202	3018	10	98,2	1	230	50	0,8	0,8
203	4640	10	98,4	1	230	50	0,8	0,8
204	6111	10	98,5	3	400	50	0,8	0,8
205	5856	10	98,5	3	400	50	0,8	0,8