



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

### **Διπλωματική Εργασία**

**Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.**



**Φοιτητής: Θόδης Γεώργιος**

**ΑΜ: 50106943**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Γεώργιος Βόκας**

**Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Φεβρουάριος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

**Renewables serving Defense: Study of a defense system power supply modification, from conventional to hybrid, using the sun as main power source**



**Student: Georgios Thodis**  
**Registration Number: 50106943**

**Supervisor**

**Georgios Vokas**  
**Professor**

**ATHENS-EGALEO, February 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Καθηγητής	ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΣ ΠΑΝΑΓ. Καθηγητής	ΠΥΡΟΜΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡ. Επίκουρος Καθηγητής

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Θόδης Γεώργιος**  
**Φεβρουάριος 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό, πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Θόδης Γεώργιος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 50106943 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι 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 διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 31/3/2024 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Θόδης Γεώργιος



Στη Βάσω και τον Άκη μου, για την συμπαράσταση και την υπομονή τους...

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλες και όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής μου εργασίας. Την Οικογένειά μου και τους Συναδέλφους μου για τις πληροφορίες, την βοήθεια και την υποστήριξη.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρ. Γεώργιο Βόκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τις πολύτιμες συμβουλές και την βοήθειά του. Ευχαριστώ τον Υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Κορακιανίτη, για την υπομονή του και την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να γίνει η ιδέα μου πραγματικότητα.

## Περίληψη

Έχουμε φτάσει σε μια εποχή όπου όλη σχεδόν η ανθρωπότητα έχει πια αντιληφθεί τις κραυγές αγωνίας των παλαιότερων, σχετικά με την καταστροφή του περιβάλλοντος. Η ξέφρενη τεχνολογική ανάπτυξη και η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, τα τελευταία 200 χρόνια, αρχίζουν να δείχνουν τις δυσμενείς επιπτώσεις τους στην καθημερινότητα, μέσω της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της επερχόμενης αλλαγής του κλίματος. Η ανθρωπότητα, αντιλαμβάνοντας τους κινδύνους που ελλοχεύουν, προσπαθεί για τον μετριασμό της κατάστασης, μειώνοντας την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, στρεφόμενη σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο αμυντικός τομέας, αν και με δισταγμό, ακολουθεί την τάση απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, έχοντας υπόψη όχι μόνο το περιβάλλον, αλλά και δικούς του λόγους, επιχειρησιακής φύσης. Η ΕΕ και το ΝΑΤΟ, ενθαρρύνουν την πορεία απανθράκωσης των αμυντικών φορέων και την ενισχύουν θεσμικά και οικονομικά. Έτσι, όλες οι ΕΔ, συμπεριλαμβανόμενων και των Ελληνικών, οργανώνουν την αλλαγή της ενεργειακής ρουτίνας τους, αρχικά με μείωση της σπατάλης και μετέπειτα με αλλαγή των πηγών τροφοδοσίας τους, κάποιες σε μεγάλο βαθμό, άλλες σε μικρότερο.

Στα πλαίσια της προσπάθειας που κάνουν οι Ελληνικές ΕΔ, εντάσσεται και η παρούσα μελέτη. Μέσω της χρήσης συνδυαστικής ενέργειας από τον ήλιο, η οποία είναι άφθονη στη χώρα μας, εξετάζεται η χρήση της ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας, προκειμένου να εξυπηρετηθεί η παροχή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα αμυντικό σύστημα συλλογής πληροφοριών. Αφού εξεταστεί η συμβατότητα του εγχειρήματος σύμφωνα με τις επιταγές της Ηγεσίας, παρουσιάζεται η «νέα» αυτή πηγή ενέργειας, οι αρχές που βασίζεται, ο τρόπος που λειτουργεί, συλλέγεται και αποθηκεύεται, ο εξοπλισμός που απαιτείται για να γίνει αυτή η διαδικασία, καθώς και εναλλακτικές.

Μέσω μιας τυπικής διαδικασίας διαστασιολόγησης, θα υπολογιστεί και θα επιλεγεί ο κατάλληλος συνδυασμός των διατιθέμενων στην αγορά υλικών, προκειμένου να ενσωματωθεί η χρήση ηλιακής ενέργειας στην ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση.

Με τη βοήθεια ενός ισχυρού λογισμικού προσομοίωσης, της έκδοσης 7.2 του PVsyst, θα εξαχθούν αποτελέσματα ετήσιας λειτουργίας, προκειμένου στο τέλος να εξεταστεί η ορθότητα και η αποτελεσματικότητα της σχεδίασης, τυχόν πιθανές βελτιώσεις, καθώς και νέες προοπτικές που ενδεχομένως να ανοίγονται, με την χρήση της συγκεκριμένης σχεδίασης

## Λέξεις – κλειδιά

Άμυνα, κλιματική αλλαγή, ενέργεια, απανθρακοποίηση, ΑΠΕ, φωτοβολταϊκά, μπαταρίες, αυτονομία

## **Abstract**

We have now reached an era, where almost all of humanity has perceived the cries of agony of the eldest regarding the environmental destruction. The rampant technological development and reckless use of natural resources throughout the past 200 years is beginning to show its adverse effects on everyday life, through environmental pollution and impending climate change. Humanity, realizing the risks involved, is trying to mitigate the situation, reducing the emission of greenhouse gases emerging from the fossil fuel consumption, turning to renewable energy sources.

The defense sector, albeit hesitantly, is following the trend of fossil fuel weaning, keeping in mind not only the environment, but also its own operational reasons. The EU and NATO encourage the decarbonisation of defense organizations and strengthen it institutionally as well as financially. Thus, all Armed Forces, including the Greek ones, organize the change of their energy routine, initially by reducing waste and later by changing their power sources, some to a large extent, others to a lesser extent.

The present study is part of the efforts made by the Greek Armed Forces. Through the use of combined energy from the sun, which is abundant in our country, the use of solar photovoltaic energy is being considered in order to serve the electrical power supply to a defense intelligence collection system. After examining the compatibility of the project with the dictates of the Leadership, this "new" source of energy is presented, its principles and fundamentals, the ways it can be harvested and stored, the required equipment for that process, as well as alternatives.

Through a standard sizing process, the appropriate combination of commercially available materials will be calculated and selected, in order to integrate the use of solar energy into the existing installation.

With the help of a powerful simulation software, the version 7.2 of PVsyst, annual operation results will be extracted, in order to finally examine the correctness and efficiency of the design, any possible improvements, as well as new perspectives that may be opened, using the specific design.

## **Keywords**

Defense, energy, climate change, decarbonization, renewables, photovoltaics, batteries, autonomy



## Περιεχόμενα

Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	4
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>5</b>
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	5
Σκοπός και στόχοι .....	5
Μεθοδολογία.....	5
Καινοτομία .....	6
Δομή.....	6
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Κλιματική αλλαγή και απεξάρτηση από τον άνθρακα .....</b>	<b>8</b>
1.1 Απανθρακοποίηση και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	8
1.2 Διστακτικότητα .....	9
1.2.1 Ανάγκη και πρόκληση.....	10
1.3 Ο πόλεμος στην Ουκρανία ως σημείο καμπής για βιώσιμη αλλαγή.....	14
1.4 Η συνεργασία NATO-ΕΕ.....	15
1.4.1 Ευρωπαϊκός Οργανισμός Άμυνας .....	16
1.5 Η Ελληνική περίπτωση .....	17
1.5.1 Το όραμα.....	19
1.5.2 Οι προσπάθειες .....	21
1.5.3 Επιχειρησιακές εφαρμογές NATO .....	23
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....</b>	<b>26</b>
2.1 Γιατί ΑΠΕ .....	29
2.2 Νομικό πλαίσιο.....	31
2.3 Είδη ΑΠΕ.....	32
2.3.1 Ηλιακή ενέργεια .....	33
2.3.2 Αιολική ενέργεια.....	34
2.3.3 Βιομάζα.....	35
2.3.4 Άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας.....	36
2.4 Η ηλιακή ενέργεια στο στρατό .....	37
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Φωτοβολταϊκά συστήματα .....</b>	<b>40</b>
3.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	41
3.2 Η ηλιακή γεννήτρια.....	43
3.3 Χαρακτηριστικά ηλιακού πάνελ .....	44
3.3.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά .....	46
3.3.2 Σύνδεση και προσανατολισμός.....	47
3.4 Το Αυτόνομο Σύστημα.....	49
3.4.1 Ελεγκτές φόρτισης.....	50
3.4.2 Αντιστροφείς.....	52
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Αποθήκευση Ενέργειας.....</b>	<b>55</b>

<b>4.1</b>	<b>Ιστορική αναδρομή</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Τεχνολογίες και χαρακτηριστικά μπαταριών</b> .....	<b>58</b>
4.2.1	Συνήθεις τύποι μπαταριών .....	65
4.2.2	Μόλυβδος .....	66
<b>4.3</b>	<b>Το Λίθιο</b> .....	<b>71</b>
<b>4.4</b>	<b>Το μέλλον</b> .....	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> :Μελέτη αμυντικού συστήματος</b> .....	<b>79</b>
<b>5.1</b>	<b>Σκοπός</b> .....	<b>79</b>
<b>5.2</b>	<b>Περιγραφή Συστήματος</b> .....	<b>79</b>
5.2.1	Υφιστάμενη κατάσταση .....	81
5.2.2	Επιδιωκόμενη κατάσταση .....	84
<b>5.3</b>	<b>Διαστασιολόγηση αναβάθμισης</b> .....	<b>85</b>
5.3.1	Προδιαγραφές .....	89
5.3.2	Επιλογή υλικών .....	89
5.3.3	Χωροθέτηση .....	97
5.3.4	Δοκιμή – Έλεγχος .....	99
5.3.5	Τεχνική αξιολόγηση .....	99
5.3.6	Επιχειρησιακή αξιολόγηση .....	100
<b>5.4</b>	<b>Φάκελος λειτουργίας</b> .....	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Εξομοίωση με το PVsyst</b> .....	<b>103</b>
<b>6.1</b>	<b>Περιγραφή λογισμικού</b> .....	<b>103</b>
<b>6.2</b>	<b>Εισαγωγή στοιχείων</b> .....	<b>105</b>
<b>6.3</b>	<b>Εξομοίωση</b> .....	<b>110</b>
<b>6.4</b>	<b>Σχολιασμός αποτελεσμάτων</b> .....	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>119</b>
	<b>Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές Πηγές</b> .....	<b>122</b>
	<b>Παράρτημα Α : Αποτελέσματα εξομοίωσης</b> .....	<b>124</b>
	<b>Παράρτημα Β : Δελτία τεχνικών χαρακτηριστικών</b> .....	<b>131</b>

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Κομβίοι καυσίμων στα βουνά του Αφγανιστάν ([researchgate.net](https://www.researchgate.net))

Εικόνα 1.2 Το τρίπτυχο των ΕΔ [ΥΠΕΘΑ \(mil.gr\)](https://www.ypieoa.mil.gr)

Εικόνα 1.3 Το Υβριδικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας HEPS [INTRACOM DEFENSE](https://www.intracomdefense.com)

Εικόνα 2.1 Προσθήκες εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ μεταξύ 2001-2027 [Data & Statistics - IEA](https://www.iea.org/data-and-statistics)

Εικόνα 2.2 Το μερίδιο στην εγκατεστημένη ισχύ, ανά τεχνολογία καυσίμου, μεταξύ 2010-2027 [Data & Statistics - IEA](https://www.iea.org/data-and-statistics)

Εικόνα 2.3 Ιστορικά ρεκόρ για τις ΑΠΕ [ΑΔΜΗΕ-ΙΠΤΟ](https://www.admhe-ipto.gr)

Εικόνα 2.4 Είδη ΑΠΕ ([physicsworld.com](https://www.physicsworld.com))

Εικόνα 2.5 Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας [Prysmian Group](https://www.prysmian.com)

Εικόνα 2.6 Ενέργεια από τον άνεμο [Wikipedia](https://www.wikipedia.com)

Εικόνα 2.7 Ενέργεια από τη βιομάζα [hanoitimes.vn](https://www.hanoitimes.vn)

Εικόνα 2.8 Φορητή φωτοβολταϊκή μονάδα, για φόρτιση στρατιωτικών συσκευών ([mdpi.com](https://www.mdpi.com))

Εικόνα 2.9 Φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος του στρατού των ΗΠΑ, τοποθετημένα σε ρυμουλκούμενα της σειράς T, για πολεμικές επιχειρήσεις [SimpliPhi Power](https://www.simpliphi.com)

Εικόνα 2.9 Το σύστημα HEPS της IDE ([b-cdn.net](https://www.b-cdn.net))

Εικόνα 3.1 Περιβαλλοντική αποτίμηση διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών [helapco.gr](https://www.helapco.gr)

Εικόνα 3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [varnas-ete.gr](https://www.varnas-ete.gr)

Εικόνα 3.3 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια [dailyissues3.com](https://www.dailyissues3.com)

Εικόνα 3.4 Τα κύρια είδη των φωτοβολταϊκών πάνελ [solarismypassion.com](https://www.solarismypassion.com)

Εικόνα 3.5 Η εξέλιξη των εργαστηριακών αποδόσεων των φωτοβολταϊκών κυψελών τα τελευταία 50 χρόνια [researchgate.net](https://www.researchgate.net).

Εικόνα 3.6 Η επίδραση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ [altestore.com](https://www.altestore.com)

Εικόνα 3.7 Η επίδραση του προσανατολισμού στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ ([energypress.gr](https://www.energypress.gr))

Εικόνα 3.8 Ένα αυτόνομο σύστημα με εφεδρική γεννήτρια. [Mp Energy](https://www.mpenergy.com)

Εικόνα 3.9 Μια πλήρης σειρά ελεγκτών φόρτισης της Victron [squarespace-cdn.com](https://www.squarespace-cdn.com)

Εικόνα 3.10 Σύγκριση ελεγκτών PWM και MPPT [Clean Energy Reviews](https://www.cleanenergyreviews.com)

Εικόνα 3.11 Αντιστροφέας τροποποιημένου ημιτόνου ([gopowersolar.com](https://www.gopowersolar.com))

Εικόνα 3.12 Οι κυματομορφές εξόδου των 3 μετατροπέων [divasomarine.com](https://www.divasomarine.com)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Εικόνα 3.13 Inverter καθαρού ημιτόνου ([frenchman-energy.eu](http://frenchman-energy.eu))

Εικόνα 4.1 Μπαταρίες λιθίου και μπαταρίες μολύβδου-οξέος για χρήση σε φωτοβολταϊκά [Clean Energy Reviews](#)

Εικόνα 4.2 Η συμπεριφορά της τάσης του κελιού κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση [PVEducation](#)

Εικόνα 4.3 Σειρά μπαταριών μολύβδου-οξέος για αποθήκευση ενέργειας της Sunlight ([the-sunlight-group.com](http://the-sunlight-group.com))

Εικόνα 4.4 Σχέση μεταξύ χωρητικότητας μπαταρίας, βάθους εκφόρτισης και διάρκειας ζωής για μπαταρία ρηχού κύκλου [PVEducation](#)

Εικόνα 4.5 Οι μπαταρίες λιθίου είναι παντού στη ζωή μας [WIRED](#)

Εικόνα 4.6 Διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης [Murata Manufacturing Articles](#)

Εικόνα 4.7 Battery Management System της Victron [offgridcentrum.nl](http://offgridcentrum.nl)

Εικόνα 4.8 Σύγκριση της ωφέλιμης χωρητικότητας των μπαταριών λιθίου έναντι των μπαταριών μολύβδου οξέος [MP-Energy](#)

Εικόνα 4.9 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου Sunlight ([the-sunlight-group.com](http://the-sunlight-group.com))

Εικόνα 5.1 Ο χώρος του συστήματος αποθήκευσης. Διακρίνεται σε πρώτο πλάνο ο αντιστροφέας καθαρού ημιτόνου, αριστερά του η μπαταρία τύπου Gel και πάνω δεξιά ο φορτιστής των 24V

Εικόνα 5.2 Το σύστημα τροφοδοσίας

Εικόνα 5.3 Μέρος της συστοιχίας μπαταριών τύπου gel

Εικόνα 5.4 Η οθόνη του συστήματος εποπτείας των μπαταριών

Εικόνα 5.5 Σε πρώτο πλάνο ο φορτιστής των 24V και πίσω του με λευκό χρώμα ο φορτιστής των 12V

Εικόνα 5.6 Προτεινόμενη συνδεσμολογία εγκατάστασης ([ase-energy.com](http://ase-energy.com))

Εικόνα 5.7 Οι καταναλώσεις του συστήματος

Εικόνα 5.8 Η συμβατότητα των μπαταριών λιθίου με τις υπάρχουσες μολύβδου - οξέος, στρατιωτικών προδιαγραφών [Epsilor](#)

Εικόνα 5.9 Η σειρά ημιεύκαμπτων πάνελ eArche [Sunman, Iris Hellas](#)

Εικόνα 5.10 Ο προτεινόμενος ρυθμιστής φόρτισης ([victronenergy.gr](http://victronenergy.gr))

Εικόνα 5.11 Η προτεινόμενη μπαταρία λιθίου [Victron Energy](#)

Εικόνα 5.12 Η σύνδεση του Lynx BMS με την μπαταρία και το λογισμικό επισκόπησης ([suntrack.pl](http://suntrack.pl))

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Εικόνα 5.13 Ο μετατροπέας DC/DC για την τροφοδότηση των 12βολτων συσκευών ([frenchman-energy.eu](http://frenchman-energy.eu))

Εικόνα 5.14 Ο προτεινόμενος αντιστροφέας - φορτιστής ([kampetorpmarin.com](http://kampetorpmarin.com))

Εικόνα 5.15 Μπλοκ διάγραμμα υβριδικού συστήματος με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Εικόνα 5.16 Η ενδεικτική τοποθέτηση των πάνελ στην οροφή του οχήματος

Εικόνα 5.17 Το σημείο όδευσης των καλωδίων προς το εσωτερικό του οχήματος

Εικόνα 5.18 Το bus bar των θετικών ακροδεκτών

Εικόνα 6.1 Επιλογή project και εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής

Εικόνα 6.2 Επιλογή της γωνίας κλίσης του πάνελ

Εικόνα 6.3 Αποτύπωση των καταναλώσεων

Εικόνα 6.4 Κατανομή των καταναλώσεων στο 24ωρο

Εικόνα 6.5 Επίδραση του ποσοστού Loss Of Load στα χαρακτηριστικά των πάνελ

Εικόνα 6.6 Επιλογή μπαταρίας, πλαισίων και ελεγκτή φόρτισης

Εικόνα 6.7 Επιλογή φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Εικόνα 6.8 Η επιλογή εξωτερικής πηγής ισχύος

Εικόνα 6.9 Αυτοματοποιημένη τυπική διάταξη αυτόνομου συστήματος

Εικόνα 6.10 Στάθμη φόρτισης μπαταριών κατά τη διάρκεια του έτους

Εικόνα 6.11 Διάγραμμα ετήσιας ροής ενέργειας και απωλειών

Εικόνα 6.12 Η ετήσια ροή ενέργειας και απωλειών, για κλίση πάνελ 30°

Εικόνα 6.13 Επίπεδα φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, για κλίση πάνελ 30°

Εικόνα 6.14 Στάθμη φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, με bifacial πάνελ

Εικόνα 6.15 Στάθμη φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, με τετράδα πτυσσόμενων πάνελ

Εικόνα 6.16 Αναδιπλώμενα πάνελ [Solar Light Trailer \(oksolar.com\)](http://solarlighttrailer.com)

Εικόνα 6.17 Μπαταρία Λιθίου υψηλής χωρητικότητας τυποποιημένη για rack 19" ([osmbattery.com](http://osmbattery.com))

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## **Αλφαβητικό Ευρετήριο**

ΑΔΜΗΕ: Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΓΕΕΘΑ: Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας

CO<sub>2</sub>: Διοξείδιο του Άνθρακα

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

DOD: Depth of Discharge

ΕΔ: Ένοπλες Δυνάμεις

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΟΑ: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Άμυνας

ΕΣ: Ελληνικός Στρατός

Ε&Α: Έρευνα & Ανάπτυξη

HEPS: Hybrid Electric Power Systems

ΗΠΑ: Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

ΝΑΤΟ: Οργανισμός Βορειοατλαντικής Συμμαχίας

ΠΑ: Πολεμική Αεροπορία

ΠΔ: Προεδρικό Διάταγμα

ΠΝ: Πολεμικό Ναυτικό

R&D: Research & Development

ΣΞ: Στρατός Ξηράς

SOC: State of Charge

STC: Standard Testing Conditions

STANAG: Standardization Agreement

ΥΠΕΘΑ: Υπουργείο Εθνικής Άμυνας

ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής

ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Δεδομένης της ενεργειακής καταστάσεως που βρίσκεται ο πλανήτης αυτή την εποχή, καθημερινά, όλο και περισσότερο, αποδεικνύεται η ανάγκη για μεταστροφή του υφιστάμενου ενεργειακού προφίλ και επικαιροποίησή του με τα τωρινά δεδομένα. Αυτή η ανάγκη για αειφόρο ανάπτυξη, έχει γίνει όσο ποτέ άλλοτε απαίτηση και η ενεργειακή συνήθεια τείνει πολύ γρήγορα προς «νέες», καινοτόμες πηγές ενέργειας, οι οποίες θα προσπαθήσουν να αποτρέψουν την επερχόμενη ενεργειακή – και όχι μόνο – κατάρρευση. Οι Δυτικές κυβερνήσεις, έχουν ξεκινήσει τις τελευταίες δεκαετίες, μια φιλόδοξη προσπάθεια μετριασμού και ανατροπής. Ο αμυντικός τομέας, δεν θα μπορούσε να είχε μείνει πίσω σε αυτή την προσπάθεια.

### **Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας**

Αντικείμενο αυτής της εργασίας, είναι η χαρτογράφηση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον ευαίσθητο τομέα της Άμυνας. Λόγω της ιδιαιτερότητας του αντικειμένου, θα αναζητηθεί το ιστορικό της ενεργειακής συνήθειας σε διαφορετικές συμμαχικές αμυντικές κουλτούρες, καθώς και το Νομικό πλαίσιο που τις διέπει. Η ενεργειακή συγκυρία που βιώνουμε, δεν μπορεί να αφήσει αδιάφορο τον αμυντικό τομέα, για λόγους που θα γίνει προσπάθεια να αναλυθούν, καθώς η υποβόσκουσα ενεργειακή κρίση, είναι όσο ποτέ άλλοτε επίκαιρη και οι προσπάθειες εξομάλυνσής της, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και σε τοπικό, είναι άκρως ενδιαφέρουσες.

### **Σκοπός και στόχοι**

Σκοπός της εργασίας είναι να αναλυθεί το γιατί χρειάζεται η μετάβαση του αμυντικού τομέα σε κουλτούρα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Θα αναζητηθεί το εάν και πως γίνεται η μετάβαση αυτή, καθώς και το μέλλον της. Θα εξεταστεί, στο βαθμό που αυτό επιτρέπεται, η περίπτωση του Ελληνικού αμυντικού χώρου και το εάν συμβαδίζει με τα διεθνή δεδομένα. Στόχος είναι το να μελετηθεί μία ενδιαφέρουσα περίπτωση ενεργειακής εκσυγχρόνισης, που θα μπορέσει να γίνει προπομπός μιας «πράσινης επανάστασης» στον Ελληνικό αμυντικό χώρο.

### **Μεθοδολογία**

Για την εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της βιβλιογραφικής αναζήτησης, τόσο σε έντυπη όσο και σε ηλεκτρονική μορφή, για την διερεύνηση του ιστορικού, του παρόντος και του μέλλοντος των ΑΠΕ στην υπηρεσία της άμυνας. Για την μελέτη

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

περίπτωσης, χρησιμοποιήθηκε η κλασσική μεθοδολογία της σχεδίασης ενός μικρής ισχύος αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με αποθήκευση ενέργειας, η προσομοίωσή του με το λογισμικό PVsyst και τέλος η εναρμόνισή του σε ήδη υπάρχον στρατιωτικό σύστημα, με τυπικές στρατιωτικές τακτικές και προδιαγραφές.

## **Καινοτομία**

Η ενασχόληση με τον Αμυντικό τομέα, ιδιαίτερα με τον εγχώριο, ειδικά στον τομέα της ενεργειακής μετάβασης σε περιβάλλον ΑΠΕ, η μελέτη περί τροποποίησης αμυντικού συστήματος και η εν δυνάμει υλοποίησή της και παγιοποίησή της, συνθέτουν μια καινοτομία, καθώς το εν λόγω θέμα έχει πρωτοτυπία και μεγάλο ενδιαφέρον σε στρατηγικό, τακτικό, επιχειρησιακό και προπαντός οικονομικό επίπεδο.

## **Δομή**

Η Εργασία αυτή αποτελείται από έξι κύρια κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα αίτια που οδήγησαν στην ανάγκη στροφής προς την απεξάρτηση από τις εκπομπές ανθρακούχων αερίων και στον τρόπο που ανταποκρίθηκαν οι πολιτικοί και αμυντικοί θεσμοί στη Δύση. Περιγράφει αμυντικές συνεργασίες και θεσμούς, οι οποίοι έχουν ενεργοποιηθεί προς αυτό το σκοπό. Εξετάζει την στάση της Ελλάδας, καθώς και τις προσπάθειες που γίνονται εκ μέρους της χώρας μας αλλά και της Συμμαχίας, προς μια βιώσιμη αλλαγή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, επιχειρείται μια περιγραφή της έννοιας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο από τη φυσική, όσο και από τη νομική σκοπιά, εστιάζοντας στην ηλιακή ενέργεια και την εφαρμογή της στις στρατιωτικές δραστηριότητες.

Στο τρίτο κεφάλαιο εστιάζεται ο τομέας της ηλιακής ενέργειας που αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός αυτόνομου συστήματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στον κρίσιμο τομέα της αποθήκευσης της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ειδικότερα στις μπαταρίες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, περιγράφεται η μελέτη σχετικά με την μετατροπή της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο. Αφού εξηγηθεί το γιατί, γίνεται εμβάθυνση στο πώς, με μια απλή πρόταση υλοποίησης, που είναι τεχνικά εφαρμόσιμη. Επίσης, περιγράφεται συνοπτικά η στρατιωτική διαδικασία που αφορά τις τεχνικές επεμβάσεις, τέτοιου επιπέδου.



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, επιχειρείται να διαπιστωθεί εάν η προαναφερθείσα μελέτη θα μπορεί να λειτουργήσει, μέσω της προσομοίωσής της στο περιβάλλον του εξειδικευμένου λογισμικού PVsyst και της ανάλυσης ορισμένων αποτελεσμάτων.

Η μελέτη αυτή ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα, τα οποία και αναπτύσσονται μετά το τέλος του έκτου κεφαλαίου, μαζί με την παράθεση όλων των πηγών που ενέπνευσαν και βοήθησαν στην συγγραφή της.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Κλιματική αλλαγή και απεξάρτηση από τον άνθρακα**

Ο άνθρωπος, από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αξιοποιώντας ως πηγή ενέργειας τον άνθρακα, προσπαθεί και σε ένα μεγάλο βαθμό έχει καταφέρει, να γίνει κυρίαρχος επί της φύσης, έτσι ώστε να δημιουργήσει το παραγωγικό και οικονομικό μοντέλο του. Δύο αιώνες αργότερα, το μοντέλο αυτό, δείχνει να έχει επιφέρει τεράστιες επιπτώσεις στο κλιματικό σύστημα.

Η εξελισσόμενη αλλαγή του παγκοσμίου κλίματος, που οφείλεται ως επί των πλείστων σε ανθρώπινες δραστηριότητες και προκαλείται κυρίως από την αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ορίζεται ως «κλιματική αλλαγή». Ενώ η κλιματική αλλαγή από μόνη της δεν προκαλεί συγκρούσεις, εντούτοις, μπορεί να λειτουργήσει ως επιταχυντής αστάθειας ή σύγκρουσης, επιβαρύνοντας το βάρος της ανταπόκρισης από πολιτικούς και στρατιωτικούς θεσμούς σε όλο τον κόσμο. Αυτό επισημάνθηκε το 2016 στη Συμφωνία του Παρισιού<sup>1</sup> και έτσι αποφασίστηκε η ανάγκη μετάβασης σε «κλιματικά ουδέτερα» οικονομικά μοντέλα, όπως και σε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Η αειφόρος ή αλλιώς βιώσιμη ανάπτυξη<sup>2</sup>, είναι μια θεωρία «επανεσωμάτωσης του ανθρώπου στη φύση» και αντιλαμβάνεται τις φυσικές πρώτες ύλες, όπως και το σύνολο του συστήματος διατήρησης ζωής του πλανήτη, ως σημαντικά κεφάλαια, των οποίων η ποσότητα και παραγωγικότητα πρέπει να διατηρηθούν, για την ανθρώπινη πρόοδο και ανάπτυξη. Με δεδομένα τα οικολογικά προβλήματα που η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ήδη προκαλέσει στον πλανήτη, η τεχνολογία καλείται πλέον όχι να οδηγήσει στην εντατική αξιοποίηση των πλουτοπαραγωγικών πηγών, αλλά στην περιβαλλοντική βελτίωση μέσα από «καθαρότερες» παραγωγικές διαδικασίες, καθώς και «καθαρότερη» κατανάλωση των παραγόμενων προϊόντων, από τον τελικό χρήστη.

Στην ίδια κατεύθυνση, η Ευρωπαϊκή Ένωση εισήγαγε, το 2019, την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, για την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση ορυκτών πόρων μέχρι το 2050<sup>3</sup>. Ο Αμυντικός χώρος, αν και αντιστάθηκε σθεναρά, δεν θα μπορούσε παρά να ακολουθήσει την μετάβαση αυτή.

### **1.1 Απανθρακοποίηση και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συνδέεται άμεσα, τόσο με την προστασία του περιβάλλοντος όσο και με τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ορυκτών καύσιμων. Το

---

<sup>1</sup> [Paris Agreement - Wikipedia](#)

<sup>2</sup> [Sustainable development - Wikipedia](#)

<sup>3</sup> [View of Decarbonization as a socio-ecological fix \(ekt.gr\)](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

σημαντικότερο πλεονέκτημα της εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι το ότι η πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας είναι ανεξάντλητη, βρίσκεται διάχυτη παντού στη φύση και οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται τόσο για την εκμετάλλευσή της, όσο και τη μετατροπή της σε κάποια άλλη χρήσιμη ενέργεια, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον κατά την φάση της λειτουργία τους.

Οι Σύμμαχοι του ΝΑΤΟ και τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν δώσει προτεραιότητα στη δράση για το κλίμα, με πολιτικές στον οικονομικό και τεχνολογικό τομέα και έχουν κάνει την αρχή με τις προσπάθειες απαλλαγής από τον άνθρακα<sup>4</sup> στον αμυντικό τομέα.

Η επιτάχυνση αυτής της προσπάθειας θα συμβάλει στον εκσυγχρονισμό των στρατευμάτων και στη μείωση τόσο του κόστους, αλλά και των επιχειρησιακών τρωτών σημείων, που σχετίζονται με την χρήση ενέργειας που προέρχεται από ορυκτούς πόρους. Είναι μια λογική συμβολή στην ευρύτερη προσπάθεια των χωρών του πλανήτη για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αλλά και τη σταδιακή κατάργηση της ενέργειας που προέρχεται από ορυκτούς πόρους, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπ' όψη τα πρόσφατα γεγονότα, όπου η Ρωσία χρησιμοποιεί τα ορυκτά καύσιμα ως όπλο απειλής και πίεσης, στον πόλεμο με την Ουκρανία.

## 1.2 Διστακτικότητα

Οι στόχοι μείωσης των εκπομπών για τον ευαίσθητο τομέα της άμυνας θεωρούνται εθνική επιλογή, ακόμη και σε χώρες που έχουν δεσμευτεί για την κλιματική ουδετερότητα του 2050<sup>5</sup>. Στο παρελθόν, η ένταξη του αμυντικού τομέα από τις εκπομπές άνθρακα είχε συχνά απορριφθεί, λόγω του φόβου και της πεποίθησης ότι οι πιο πράσινες λύσεις ενδέχεται να αποδυναμώσουν την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, θέτοντας έτσι σε κίνδυνο την εθνική ασφάλεια. Το υψηλό οικονομικό κόστος που σχετίζεται με τη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελούσε έναν άλλο λόγο για την απόρριψη αυτή.

Ωστόσο, στις μέρες μας, όλο και πιο συχνά, οι στρατοί αναγκάζονται να ανταποκριθούν σε κρίσεις που σχετίζονται με το κλίμα, κάτι που το κάνουν με αντιφατικό τρόπο, με τακτικές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας έτσι πιο πολύ στο πρόβλημα. Επιπλέον, οι νέες τεχνολογίες και οι προσεγγίσεις για την χρήση καθαρής ενέργειας, μπορούν να προσφέρουν μόνον οφέλη στους στρατούς, καθιστώντας τους πιο ανθεκτικούς και πιο προσαρμόσιμους στις νεότερες απειλές του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

<sup>4</sup> [What Is Decarbonization, and How Do We Make It Happen? \(columbia.edu\)](https://www.columbia.edu/~c4/what-is-decarbonization-and-how-do-we-make-it-happen/)

<sup>5</sup> [Κλιματική ουδετερότητα - Consilium \(europa.eu\)](https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-action/)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν τον πυρήνα όλων των στρατιωτικών δραστηριοτήτων. Στρατιωτικά αεροσκάφη, πλωτά μέσα και άρματα μάχης, χρησιμοποιούν για την κίνησή τους διάφορα προϊόντα πετρελαίου. Τα στρατιωτικά κτίρια και οι εγκαταστάσεις, στην συντριπτική τους πλειοψηφία θερμαίνονται με άνθρακα, πετρέλαιο ή αέριο. Αν και οι πράσινες εναλλακτικές τεχνολογικές λύσεις αναπτύσσονται γρήγορα, οι στρατιωτικές απαιτήσεις και τεχνολογίες διαφέρουν από εκείνες του πολιτικού τομέα.

Οι ΕΔ συχνά λειτουργούν σε δύσκολα περιβάλλοντα και ο στρατιωτικός εξοπλισμός πρέπει να αντέχει σε ακραίες καιρικές συνθήκες, ανώμαλα εδάφη και ακραίες καταστάσεις μάχης. Μέχρι στιγμής, οι ανησυχίες σχετικά με την πιθανή απώλεια της λειτουργικής αποτελεσματικότητας έχουν υπερβεί την προθυμία των στρατευμάτων να επενδύσουν, σε μεγάλο βαθμό, στην απαλλαγή από τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Τα επιχειρήματά τους κατά των επενδύσεων στη βιωσιμότητα, μοιάζουν με εκείνες τις ιστορικές θέσεις των βιομηχανιών όπως του τσιμέντου, του χάλυβα, των πλαστικών, αλλά και των αεροπορικών εταιριών, ότι είναι δύσκολο να μειώσουν τις εκπομπές τους. Σε αυτούς τους τομείς, η απανθρακοποίηση απαιτεί μεγάλες επενδύσεις που θα καθιστούσαν τις εταιρείες λιγότερο κερδοφόρες, βραχυπρόθεσμα, διακινδυνεύοντας την ανταγωνιστικότητά τους. Ωστόσο, οι κυβερνήσεις, μεταξύ άλλων, μέσω των σχετικών με το κλίμα νομοθεσιών, σταδιακά μειώνουν τις εξαιρέσεις που γίνονται για αυτό το λόγο.

Απαιτείται ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των αναγκών των ΕΔ σε σχέση με την ενεργειακή μετάβαση και κλιματική ουδετερότητα, τονίζοντας βασικές προκλήσεις, τεχνολογικές ανάγκες, αλλά και κενά και σημεία συμφόρησης, σε σχέση με τα αντίστοιχα λειτουργικά οφέλη τους. Υπάρχει δυνατότητα χρήσης πράσινης τεχνολογίας για τον εκσυγχρονισμό και την ενίσχυση των δυτικών στρατευμάτων, αλλά αυτό απαιτεί σοβαρή προσπάθεια έρευνας και σχεδιασμού (R&D) και υψηλότερα επίπεδα φιλοδοξίας

### **1.2.1 Ανάγκη και πρόκληση**

Αναφορικά με την τεχνολογία, η δυνατότητα μείωσης των τυπικών εκπομπών είναι πιο απλή από τη μείωση μη τυπικών εκπομπών. Η συμβολή στον μετριασμό του κλίματος από τα αμυντικά κτίρια, τις καθημερινές μεταφορές και τις εγκαταστάσεις είναι παρόμοια ως πρόκληση με αυτήν που αντιμετωπίζουμε σήμερα στον πολιτικό τομέα. Απαιτεί πολιτική βούληση και προϋπολογισμός για αντλίες θερμότητας, ηλεκτρικά οχήματα, βελτίωση ενεργειακής απόδοσης, ηλιακά πάνελ οροφής και γενικά απαλλαγή από τη χρήση ενέργειας που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα.

Η πραγματική, όμως, πρόκληση είναι η απαλλαγή των συστημάτων βαρέων όπλων, όπως τα μαχητικά αεροσκάφη, τα τανκς, τα πολεμικά πλοία και υποβρύχια, τα οποία απαιτούν

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

σημαντική ποσότητα καυσίμου για να λειτουργήσουν, αλλά ταυτόχρονα, η προμήθεια αυτών των καυσίμων είναι μια ευάλωτη επιχείρηση κατά τη διάρκεια συγκρούσεων. Οι καινοτομίες υψηλής τεχνολογίας που απαιτούνται για τη στροφή σε εναλλακτικές λύσεις χαμηλών εκπομπών άνθρακα, θα μπορούσαν κάλλιστα να ξεκινήσουν τον εκσυγχρονισμό και να οδηγήσουν σε κοινωνικά συν-οφέλη.

Ενώ το NATO έχει υιοθετήσει επίσημα<sup>6</sup> την ανάγκη ώστε οι Συμμαχικοί στρατοί να μειώσουν τις εκπομπές τους, η Συμμαχία λειτουργεί με συναίνεση και το επίπεδο της φιλοδοξίας και της προθυμίας να στρατιωτική απαλλαγή από τις ανθρακούχες προτεραιότητες ποικίλλει μεταξύ των 30 μελών. Επιπλέον, μετά το ξέσπασμα του πολέμου στην Ουκρανία, η συλλογική άμυνα είναι το ζητούμενο και ξεπερνά όλα τα άλλα ζητήματα. Παρόλα αυτά, ήδη από το 2011, το NATO προσπαθεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση στο αρχηγείο του και τις συμμαχικές στρατιωτικές δυνάμεις, με τη μορφή διαφόρων έξυπνων ενεργειακών λύσεων. Αυτή τη στιγμή αναπτύσσει μια μεθοδολογία χαρτογράφησης για να βοηθήσει τους Συμμάχους να μετρήσουν τις στρατιωτικές τους εκπομπές.

Το NATO μπορεί να δώσει περαιτέρω κίνητρα για τη στρατιωτική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές με διαφορετικές συμφωνίες τυποποίησης, ορίζοντας το καθαρό μηδέν και βιώσιμους στόχους για αμυντικό σχεδιασμό, ή ακόμα και με απομάκρυνση από την ενιαία πολιτική καυσίμων προς πιο βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις.

Τον Μάρτιο του 2021, οι Υπουργοί Εξωτερικών του NATO ενέκριναν το θεματολόγιο του NATO για την κλιματική αλλαγή και την ασφάλεια. Περιελάμβανε μέτρα για την αύξηση της επίγνωσης τόσο του NATO όσο και των Συμμάχων, σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής, με την ασφάλεια, μαζί με την ανάπτυξη σαφών μέτρων προσαρμογής και μετριασμού, και την ενισχυμένη προσέγγιση, διασφαλίζοντας παράλληλα μια αξιόπιστη αποτρεπτική και αμυντική στάση και υποστηρίζοντας τις προτεραιότητες της ασφάλειας του στρατιωτικού προσωπικού και της επιχειρησιακής και οικονομικής αποδοτικότητας.

Στη Στρατηγική Αντίληψη<sup>7</sup> του 2022, οι Σύμμαχοι συμφώνησαν να επενδύσουν στην ικανότητά τους να προετοιμάζονται, να αποτρέπουν και να αμύνονται ενάντια στην καταναγκαστική χρήση πολιτικών, οικονομικών, ενεργειακών και άλλων υβριδικών τακτικών από κράτη και μη κρατικούς πρωταγωνιστές.

Στη Σύνοδο Κορυφής της Μαδρίτης<sup>8</sup>, οι Σύμμαχοι δήλωσαν επίσης ότι θα ενισχύσουν την ενεργειακή τους ασφάλεια και θα εξασφαλίσουν αξιόπιστο ενεργειακό εφοδιασμό στις στρατιωτικές τους δυνάμεις.

<sup>6</sup> [NATO Review - NATO: An unexpected driver of climate action?](#)

<sup>7</sup> [NATO - Topic: Energy security](#)

<sup>8</sup> [NATO - News: 2022 NATO Summit, 28-Jun.-2022](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η ΕΕ, από την άλλη, είναι πολύ φιλόδοξη στον τομέα της δράσης για το κλίμα, υιοθετώντας ακόμα και σκληρές πολιτικές μείωσης των εκπομπών και ενσωματώνει τους κλιματικούς στόχους σε πολλούς προϋπολογισμούς και προγράμματα, εντεινόμενη και από την ανάγκη να εγκαταλείψει τάχιστα την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, Ρωσικής προελεύσεως. Υπάρχουν άφθονα περιθώρια σύνδεσης της απαλλαγής από τον άνθρακα των αμυντικών τομέων, με τις πολιτικές για τη στρατηγική αυτονομία και την πράσινη τεχνολογία, με αιχμή του δόρατος τη βιομηχανική πολιτική και τους προϋπολογισμούς της. Η Στρατηγική Πυξίδα της ΕΕ απαιτεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ να δώσουν μεγαλύτερη προσοχή στο κλίμα και στην ασφάλεια στον στρατό, με την Κλιματική Αλλαγή και την Άμυνα<sup>9</sup>.

Σήμερα, οι στρατιωτικές επιχειρήσεις εξακολουθούν να τροφοδοτούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ορυκτά καύσιμα, αλλά με τους στόχους που έχουν τεθεί από την ΕΕ, τις Ηνωμένες Πολιτείες και πολλές άλλες χώρες, οι οποίοι προσβλέπουν στο να γίνουν κλιματικά ουδέτερες ως προς τον άνθρακα έως το 2050, αυτό πρόκειται να αλλάξει. Οι στρατιωτικοί φορείς, εξ' άλλου, έχουν αντιληφθεί προ πολλού την ευπάθεια των γραμμών ενεργειακής τροφοδοσίας τους. Έχουν περάσει σχεδόν εκατό χρόνια από τότε που στην Αμερική ο στρατηγός Omar Bradley δήλωσε: «Οι ερασιτέχνες μιλούν για στρατηγική, οι επαγγελματίες μιλούν για logistics»<sup>10</sup>. Σήμερα, αυτό εκδηλώνεται με την ευαισθησία σε διάφορες μορφές επίθεσης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και των γραμμών ανεφοδιασμού.

Για παράδειγμα, η επίθεση του ρωσικού στρατού σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης καυσίμων στην Οδησό τον Απρίλιο του 2022 ανάγκασε τα ουκρανικά στρατεύματα να πολεμήσουν τους Ρώσους κοντά στην πρώτη γραμμή, στο Mikolayev<sup>11</sup>. Στο Αφγανιστάν, τα Αμερικανικά και Βρετανικά στρατεύματα υπέφεραν βαριά θύματα λόγω επιθέσεων στα αργά κινούμενα οχήματα που μετέφεραν τα καύσιμά τους. Σύμφωνα με εκτιμήσεις<sup>12</sup> στρατιωτικών think tank, μεταξύ 2003 και 2007, περίπου 3.000 φίλοι εμπλεκόμενοι σκοτώθηκαν ή τραυματίστηκαν σε επιθέσεις σε κομβοί καυσίμων και νερού, κατά τη διάρκεια στρατιωτικών επιχειρήσεων στο Ιράκ και το Αφγανιστάν. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι αυτός ο τύπος νηοπομπών είναι εξαιρετικά ευάλωτος στην επίθεση του εχθρού.

<sup>9</sup> [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0223\\_EL.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0223_EL.html)

<sup>10</sup> <https://pragmatech.sydney/insights/strategy-vs-logistics/>

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Battle\\_of\\_Mykolaiv](https://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_Mykolaiv)

<sup>12</sup> [SUSTAIN THE MISSION PROJECT | David Eady | Research Project \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/354111111_SUSTAIN_THE_MISSION_PROJECT)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 1-1 Κομβίοι καυσίμων στα βουνά του Αφγανιστάν ([researchgate.net](https://www.researchgate.net))

Από την άλλη, αν λάβουμε υπόψη το πόσο κοστίζει η μεταφορά αυτού του καυσίμου σε εμπόλεμες ζώνες, θα δούμε ότι εάν και όπως ο υπόλοιπος κόσμος, ο στρατός πλήρωνε εκείνη την εποχή γύρω στο 1 ευρώ το λίτρο για καύσιμα, συνυπολογίζοντας το κόστος μιας μη προστατευμένης φάλαγγας καυσίμων, η τιμή θα ανέβαινε στα 4 ευρώ το λίτρο. Αλλά στον πόλεμο δεν υπάρχει απροστάτευτη φάλαγγα. Μόνο τον Ιούνιο του 2008 οι επιθέσεις, τα ατυχήματα και οι ληστείες σε νηοπομπές οδήγησαν στην απώλεια 44 βυτιοφόρων και 880 χιλιάδων λίτρων καυσίμων. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για προστασία από ξηράς και αέρος για ένα ταξίδι μετ 'επιστροφής 950 μιλίων, αυτό το "πλήρως επιβαρυσμένο" κόστος πλησίαζε τα 12 ευρώ το λίτρο.<sup>13</sup>

Βραχυπρόθεσμα, στο Ιράκ και στο Αφγανιστάν, μια συντηρητική οικονομία στην κατανάλωση καυσίμων, θα μπορούσε να σώσει ζωές, αλλά μεσοπρόθεσμα, η ηλιακή ενέργεια σε συνδυασμό με βελτιωμένα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών, όπως και τα στρατιωτικά οχήματα με υβριδικούς ηλεκτρικούς κινητήρες, είναι σίγουρο ότι θα έκαναν τη διαφορά.

Τον Ιούλιο του 2016, η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Αμερικανική στρατιωτική βάση του Ιντσιρλίκ, στην Τουρκία, διακόπηκε από την Τουρκική κυβέρνηση ύστερα από την απόπειρα στρατιωτικού πραξικοπήματος στη χώρα. Η βάση συνέχισε μεν να λειτουργεί με ισχύ από γεννήτριες, αλλά υπήρξε καθυστέρηση στην αποκατάσταση της ισχύος από το δίκτυο, εν μέσω αυξημένων εντάσεων μεταξύ των ΗΠΑ και της Τουρκίας, η οποία κατέχει και λειτουργεί τη βάση στο Ιντσιρλίκ. Η δυνατότητα ύπαρξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τουλάχιστον κρίσιμα φορτία θα μπορεί να επιτρέψει σε μια βάση να παραμείνει ασφαλής για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό,τι εάν εξαρτάται από τις παραδόσεις υγρών καυσίμων με βυτιοφόρα ή αεροπλάνα<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> [For U.S. Military, More Oil Means More Death \(forbes.com\)](https://www.forbes.com)

<sup>14</sup> [Turmoil in Turkey Cuts Power to U.S. Military Base \(powermag.com\)](https://www.powermag.com)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Στο Ευρωπαϊκό επίπεδο, οποιαδήποτε επέκταση της σύγκρουσης πέρα από τα σύνορα της Ουκρανίας, θα καταστήσει τις δυτικές υποδομές καυσίμων ευάλωτο στόχο για επιθέσεις. Η στρατιωτική κατανάλωση καυσίμου δεν είναι πρόβλημα, μόνο όσον αφορά την επιχειρησιακή ευπάθεια. Περιλαμβάνει επίσης τεράστια κόστη και εξάρτηση από εξωτερικούς προμηθευτές. Προσθέτει στις δυσμενείς κλιματικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση ορυκτών καυσίμων για ενέργεια, ως εκ τούτου στην κλιματική αλλαγή, η οποία λειτουργεί ως πολλαπλασιαστής απειλής, ασκώντας αυξανόμενη πίεση στα οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά συστήματα.

Τα λειτουργικά τρωτά σημεία, η ασφάλεια, οι απειλές και οι εκπομπές άνθρακα που συνδέονται με την στρατιωτική κατανάλωση καυσίμου, έχουν οδηγήσει μεγάλους δυτικούς διεθνείς οργανισμούς, όπως το NATO και η ΕΕ, να θέσουν στρατιωτική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές στην αντίστοιχη ατζέντα τους. Παρ' όλα αυτά τα ζητήματα, οι αμυντικές συνεισφορές στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές δεν μπορούν να θεωρηθούν δεδομένες, καθώς αρκετοί στρατιωτικοί φορείς έχουν δείξει απροθυμία συνεργασίας, ώστε να μοιραστούν δεδομένα που σχετίζονται με τις εκπομπές τους, λόγω ανησυχίας για την αποκάλυψη στρατηγικά ευάλωτων πληροφοριών.

Οι ανησυχίες για την ασφάλεια, ήταν αυτές που οδήγησαν στον αποκλεισμό των στρατιωτικών από το πλαίσιο των Ηνωμένων Πολιτειών, στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC),<sup>15</sup> όπου και η αναφορά περί στρατιωτικών εκπομπών περιορίστηκε. Ενώ η κλιματική αλλαγή έχει αναγνωριστεί εδώ και καιρό ως «πολλαπλασιαστής απειλών» από τη διεθνή κοινότητα ασφαλείας, ο συνεισφερόμενος ρόλος του ίδιου του στρατού μόλις πρόσφατα άρχισε να προσελκύει αυξημένη προσοχή<sup>16</sup>. Η απαλλαγή από την κατανάλωση καυσίμων άνθρακα όχι μόνο θα μείωνε τις εκπομπές των στρατιωτικών, αλλά θα μπορούσε επίσης να αυξήσει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, μέσω της μείωσης της εξάρτησης από το καύσιμο. Τώρα πια, έχουν αρχίσει να τίθενται στόχοι μείωσης των εκπομπών, οι οποίοι αν και ξεετάζονται σοβαρά, η υιοθέτησή τους δεν είναι ακόμη δεδομένη.

### **1.3 Ο πόλεμος στην Ουκρανία ως σημείο καμπής για βιώσιμη αλλαγή**

Ελλοχεύει ο κίνδυνος, ότι η Ρωσική εισβολή στην Ουκρανία και η ανάγκη ενίσχυσης της Ευρωπαϊκής συλλογικής άμυνας έναντι της απειλής που η Ρωσία θέτει, θα επισκιάσει τις συνεχιζόμενες συζητήσεις για τη στρατιωτική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές.

<sup>15</sup> [Σύμβαση πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή\(unfccc.int\)](https://unfccc.int)

<sup>16</sup> [U.S. Military Isn't Exempt From Carbon-Emissions Cuts - The Atlantic](https://www.theatlantic.com)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Ταυτόχρονα αυξάνονται οι αμυντικές δαπάνες – με την υποστήριξη της κοινής γνώμης – κάτι που αποτελεί ευκαιρία για Ε&Α υπέρ των πιο σύγχρονων, αποτελεσματικών και πιο ανεξάρτητων δυνατοτήτων, με σκοπό την σταδιακή απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Καθώς οι Σύμμαχοι του NATO και τα κράτη μέλη της ΕΕ αυξάνουν τους αμυντικούς τους προϋπολογισμούς και προτού υπογραφούν συμβόλαια με κατασκευαστές αμυντικών συστημάτων, η υλοποίηση των προσπαθειών για βιώσιμη αλλαγή μπορεί να βοηθηθεί με νέα αιτήματα και θέτοντας αυστηρότερες απαιτήσεις για λόγους χαμηλών εκπομπών άνθρακα και πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, που θα λαμβάνονται υπόψη σε κάθε νέες διαδικασίες προμηθειών, καθώς και στην έρευνα και καινοτομία.

#### **1.4 Η συνεργασία NATO-ΕΕ**

Το NATO και η ΕΕ έχουν συμπληρωματικούς ρόλους στη στρατιωτική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές. Το NATO, που δεν έχει το εξουσία να νομοθετεί, δεν μπορεί να θέσει δεσμευτικούς στόχους ή να επιβάλει επενδύσεις σε «πράσινες» τεχνολογίες. Η ΕΕ όμως, βρίσκεται σε καλύτερη θέση να αξιοποιήσει τη νομική και κανονιστική δύναμη που διαθέτει, έτσι ώστε να κινητοποιήσει τα κράτη μέλη σε δράση, αλλά στο τέλος της ημέρας η άμυνα παραμένει εθνικό προνόμιο. Αυτό που είναι ξεκάθαρο, είναι ότι και οι δύο οργανώσεις εξαρτώνται από τους πολιτικούς αφέντες τους. Το NATO και η ΕΕ θα πρέπει να συνεργαστούν<sup>17</sup> για να πείσουν τους υπεύθυνους των στρατιωτικών επιχειρήσεων ότι μειώνοντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων, σε συνδυασμό με βιώσιμες τεχνολογίες, αυτό θα βελτιώσει την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα και μακροπρόθεσμα αποτελεί πολιτική ανάγκη. Οι δύο οργανισμοί θα μπορούσαν να συντονίσουν τις φιλοδοξίες τους, με κοινή μεθοδολογία και μελέτες σκοπιμότητας στο στόχο. Το NATO και η ΕΕ θα μπορούσαν να συντονίσουν περαιτέρω προγράμματα τεχνολογικής καινοτομίας μεταξύ των μελών τους και να συμβάλλουν στην κατεύθυνση των επενδύσεων προς την ενεργειακή απόδοση και τις βιώσιμες τεχνολογίες, μειώνοντας τον κίνδυνο εγκλωβισμού από την εξάρτηση του άνθρακα.

Η απανθρακοποίηση θα μπορούσε πρώτα να επικεντρωθεί σε τυπικές λειτουργίες, ξεκινώντας από τα κτίρια και τις μεταφορές στο εσωτερικό, καθώς και τις στρατιωτικές βάσεις στο εξωτερικό. Στο μέλλον, θα πρέπει να συμπεριληφθούν τόσο οι στρατιωτικοί φορείς όσο και οι φορείς της κοινωνίας των πολιτών στα στάδια ιδεασμού και υλοποίησης, για ταχεία υλοποίηση της προσπάθειας στρατιωτικής απανθρακοποίησης.

---

<sup>17</sup> [NATO - Topic: Relations with the European Union](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

#### **1.4.1 Ευρωπαϊκός Οργανισμός Άμυνας**

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Άμυνας<sup>18</sup> (EOA) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εγκαινίασαν το 2017 τη δεύτερη φάση του φόρουμ διαβούλευσης για τη βιώσιμη ενέργεια στον τομέα της άμυνας και της ασφάλειας. Το φόρουμ διαβούλευσης έχει ως στόχο να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, οι ανανεώσιμες πηγές και τεχνολογίες ενέργειας και η προστασία των κρίσιμων ενεργειακών υποδομών εφαρμόζονται στον ευρωπαϊκό αμυντικό τομέα.

Η πρώτη φάση των εργασιών είχε συγκέντρωσε την πλειοψηφία των Υπουργείων Άμυνας των κρατών μελών μαζί με το NATO, το Κέντρο Αριστείας ενεργειακής ασφάλειας του NATO, τη βιομηχανία και την ακαδημαϊκή κοινότητα, και είχε οδηγήσει στη δημιουργία ενός Ευρωπαϊκού Δικτύου Αμυντικής Ενέργειας (EDEN) με περισσότερα από 100 μέλη. Οι σύνοδοι ολομέλειας του φόρουμ διαβούλευσης, εξετάζουν τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες της μετάβασης σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον, στον τομέα της άμυνας, συμπεριλαμβανομένων και των επιπτώσεων της σχετικής ενεργειακής νομοθεσίας της ΕΕ για την άμυνα.

Η δεύτερη φάση του φόρουμ διαβούλευσης επικεντρώνεται στον εντοπισμό σημείων συμφόρησης που εμποδίζουν τον αμυντικό τομέα να αποκομίσει πλήρως τα οφέλη της βιώσιμης ενέργειας. Στόχος είναι να καταβληθούν προσπάθειες για πιο συγκεκριμένη εφαρμογή και να προσδιοριστούν τα εργαλεία και οι ευκαιρίες που θα μετατρέψουν τις γνώσεις που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα σε απτά ενεργειακά έργα στον τομέα της άμυνας. Οι εργασίες διεξάγονται από τρεις παράλληλες ομάδες εργασίας που καλύπτουν: α) την ενεργειακή απόδοση, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης ενέργειας, β) τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και γ) την προστασία των κρίσιμων ενεργειακών υποδομών (PCEI), με τη χρηματοδότηση ως οριζόντιο θέμα.

Αυτή η δεύτερη φάση θα οδηγήσει την πρωτοβουλία στον εντοπισμό σημείων συμφόρησης που εμποδίζουν τον τομέα να επωφεληθεί πλήρως από τη βιώσιμη ενέργεια και θα βοηθήσει τις εργασίες να κινηθούν προς μια πιο συγκεκριμένη εφαρμογή, με σκοπό την αξιοποίηση των οικονομικών οφελών που προσφέρει η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια. Για τον αμυντικό τομέα, το φόρουμ διαβούλευσης για τη βιώσιμη ενέργεια στον τομέα άμυνας και ασφάλειας κατάρτισε τον «Χάρτη πορείας για τη διαχείριση της βιώσιμης ενέργειας στην άμυνα και την ασφάλεια» με σκοπό τη στήριξη του τομέα της άμυνας στη βελτίωση της διαχείρισης της σχετιζόμενης με τις υποδομές ενέργειας. Το φόρουμ διαβούλευσης συνεχίζει να διερευνά τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να δοθεί η δυνατότητα στον αμυντικό τομέα

---

<sup>18</sup> [Green defence - \(europa.eu\)](https://europa.eu)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

να καταστεί πιο ενεργειακά αποδοτικός και θα εξετάσει ορισμένες τεχνολογίες για τη δημιουργία έργων τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από τον τομέα της άμυνας (π.χ. αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, έξυπνα δίκτυα, αποθήκευση ενέργειας, βιοκαύσιμα, βιομάζα και παραγωγή ενέργειας από απόβλητα).

Στο πλαίσιο αυτό, συνεχίστηκαν οι εργασίες του προγράμματος για την ενέργεια και το περιβάλλον του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Άμυνας, μέσω του ερευνητικού έργου διαχείρισης υδατικών πόρων / έξυπνο στρατόπεδο (Smart Blue Water Camp). Αυτό αποσκοπεί στη διερεύνηση του πεδίου εφαρμογής τεχνολογικών παρεμβάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων σε επιλεγμένα στρατόπεδα στα κράτη μέλη και διεξάγεται μελέτη σκοπιμότητας για την ενσωμάτωση ενός ευρύτερου φάσματος ενεργειακών και περιβαλλοντικών τεχνολογιών μεγαλύτερης κλίμακας σε περιβάλλον στρατοπέδου, για την αντιμετώπιση ζητημάτων σχετικά με την ενέργεια, τα ύδατα και τα απόβλητα, βελτιώνοντας παράλληλα τόσο το κόστος, όσο και τη στρατιωτική αποτελεσματικότητα των αποστολών Κοινής Πολιτικής Ασφαλείας και Άμυνας (ΚΠΑΑ).

## 1.5 Η Ελληνική περίπτωση

Το Σύνταγμα της Ελλάδας, στο Άρθρο 24, αναφέρει<sup>19</sup> ότι η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος, αποτελεί υποχρέωση του Κράτους, αλλά και δικαίωμα του κάθε Πολίτη. Όλα τα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα που θα ληφθούν προς την κατεύθυνση αυτή, θα πρέπει να εντάσσονται στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας και της βιωσιμότητας.

Το ΥΠΕΘΑ καλείται να δράσει προληπτικά, διαχειριστικά και αν απαιτηθεί κατασταλτικά, επί περιβαλλοντικών και ενεργειακών θεμάτων της αρμοδιότητάς του, ως φορέας στρατιωτικής ισχύος σε διεθνές επίπεδο, ως εκ των μεγαλύτερων κρατικός φορέας σε εθνικό επίπεδο, όντας επηρεαζόμενος δυνητικά από οποιαδήποτε περιβαλλοντική ζημία, ως παραγωγός αποβλήτων στο πλαίσιο εκπλήρωσης της αποστολής του και τέλος, ως συνδρομητής της Πολιτικής Προστασίας για την αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων, τόσο σε εθνικό, όσο και διεθνές επίπεδο.

Οι Ελληνικές ΕΔ, είναι ο φορέας εθνικής άμυνας και εξωτερικής ασφάλειας της Πατρίδας μας. Αποστολή τους είναι η προάσπιση της εδαφικής ακεραιότητας της χώρας, καθώς και των Εθνικών της συμφερόντων. Η Κοινωνική τους δραστηριότητα, από την άλλη, εκφράζεται καθημερινά, τόσο με δράσεις υποστήριξης του κοινωνικού συνόλου, όσο και με δράσεις προστασίας του Περιβάλλοντος. Στα πλαίσια αυτά, οι ΕΔ εκπαιδεύονται και επιχειρούν

---

<sup>19</sup> [Σύνταγμα \(hellenicparliament.gr\)](http://hellenicparliament.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

έχοντας πάντοτε υπ' όψη τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων της χώρας και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1-2 Το τρίπτυχο των ΕΔ [ΥΠΕΘΑ \(mil.gr\)](http://mil.gr)

Τα τελευταία χρόνια, προστίθεται ακόμη, η ορθή ενεργειακή διαχείριση, όπως και η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Έχοντας ως πρώτη προτεραιότητα την επιχειρησιακή τους αποστολή, οι Ελληνικές ΕΔ αναπτύσσουν<sup>20</sup> σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές πρωτοβουλίες, ακολουθώντας ένα τρίπτυχο κοινωνικής ευθύνης: Εκπλήρωση της αποστολής – Σύμπτωση με την Κοινωνία – Προστασία του Περιβάλλοντος.

Η ηγεσία του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας, κατανοώντας τον τεράστιο ρόλο που διαδραματίζουν οι ΑΠΕ τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος, υπέγραψε με το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής μνημόνιο συνεργασίας την 28<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2010 με σκοπό την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τη δημιουργία συνθηκών που θα επιτρέπουν την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την υποστήριξη από πλευράς ΥΠΕΚΑ στους μηχανισμούς περιβαλλοντικού και ενεργειακού ελέγχου του ΥΠΕΘΑ και την ανάπτυξη δράσεων περιβαλλοντικής διαχείρισης σε επιλεγμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις του ΥΠΕΘΑ.

Το υπουργείο Εθνικής Άμυνας για την ολοκλήρωση όλων αυτών των δράσεων προχώρησε σε μια σειρά από πράξεις, όπως την εκπόνηση των προμελετών για την δημιουργία των «πράσινων» στρατοπέδων και ενός προτύπου «πράσινου» νοσοκομείου, αλλά και τη σταδιακή μετατροπή των υπαρχόντων στρατοπέδων και νοσοκομείων σε «πράσινα», μετά την αξιολόγηση των παραπάνω εφαρμογών, την εκπόνηση των προμελετών, καθώς και την υλοποίηση των σχετικών έργων, ως τελικός δικαιούχος. Επίσης, προχώρησε στην κατάρτιση προγράμματος εκπαίδευσης – επιμόρφωσης των στελεχών του σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος και τη διάθεση κατάλληλου προσωπικού, υλικού και μέσων, για την πραγματοποίηση δράσεων περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Τέλος, πράξεις για την προώθηση

<sup>20</sup> [ΥΠΕΘΑ-ΠΕΠΚΑ\(mil.gr\)](http://mil.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

υλοποίησης της σύνδεσης επιλεγμένων στρατιωτικών εγκαταστάσεων με το υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου.

### 1.5.1 Το όραμα

Το όραμα του ΥΠΕΘΑ για την αειφορία και την βιωσιμότητα (sustainability) στις ΕΔ, έγκειται στο να διατηρηθεί, μελλοντικά, η ικανότητα της εκπλήρωσης της αποστολής τους, χωρίς αυτό να επιφέρει υποβάθμιση στο περιβάλλον. Πυρήνας αυτού του οράματος είναι η επιτακτική ανάγκη διατήρησης της διαθεσιμότητας στο μέλλον των φυσικών και ανθρωπογενών συστημάτων καθώς και των φυσικών πόρων, συνυπολογίζοντας τις πιέσεις που ελλοχεύουν από την κλιματική αλλαγή, τόσο στις υποδομές και στις δραστηριότητες, όσο και στη συνολική λειτουργία των ΕΔ.

Η επιτυχής διεξαγωγή των στρατιωτικών επιχειρήσεων, όπως και η προσφορά κοινωνικού έργου των ΕΔ, εξαρτάται άμεσα από την διαθεσιμότητα πόρων όπως είναι η ενέργεια, ο αέρας, το έδαφος και το νερό, καθώς και από την ανθεκτικότητα (resiliency) των κτιριακών εγκαταστάσεων, των οπλικών συστημάτων και του προσωπικού στην αντιμετώπιση των νέων κλιματικών δεδομένων. Η ποσοτική επάρκεια των πόρων και η ποιοτική κατάστασή τους παίζουν καταλυτικό ρόλο στον καθορισμό της επιτυχίας της αποστολής των ΕΔ, ήτοι στην διαφύλαξη των συνόρων και διατήρηση της εδαφικής ακεραιότητας της χώρας μας, καθώς και στην διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και κλίματος ασφάλειας στον πληθυσμό.

Σχεδιάζεται η δημιουργία ενεργειακά αυτόνομων σχηματισμών, υιοθετώντας την αυτοπαραγωγή ενέργειας με χρήση ΑΠΕ, καθώς και εκμεταλλευόμενοι τις εκτάσεις των ΕΔ και τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους αυτών. Επίσης, προγραμματίζεται η διάδοση της ηλιοθερμίας ως αποκλειστική πηγή θέρμανσης νερού. Στόχος είναι η εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας των ΕΔ με ταυτόχρονη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών, καθώς και η καλύτερη δυνατή ανάπτυξη ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή.

Στο πλαίσιο δημιουργίας συνθηκών ενεργειακής αυτονομίας καθώς και ορθολογιστικής χρήσης ενέργειας σε συνδυασμό με χρήση καθαρής ενέργειας στις εγκαταστάσεις των ΕΔ, λαμβάνεται μέριμνα για την διαμόρφωση συνεπούς ενεργειακής συνείδησης στα στελέχη των ΕΔ, έχει αναπτυχθεί σχετική πρωτοβουλία χρήσης ΑΠΕ για κάλυψη των αναγκών ενέργειας των στρατοπέδων (REScamp Initiative) και επίσης σχεδιάζεται σε συνεργασία με άλλους κατάλληλους φορείς η ανάπτυξη «ευφών» ενεργειακά στρατοπέδων. Συναφής με τον ανωτέρω στόχο είναι η συμμετοχή του ΥΠΕΘΑ στο έργο “GO-GREEN” του ΕΔΑ, στο οποίο περιλαμβάνεται η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> [Οδεύοντας προς τη βιωσιμότητα - greenarmedforces.mil.gr](http://www.greenarmedforces.mil.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Οι Ελληνικές ΕΔ έχουν υιοθετήσει το μοντέλο του «Ενεργειακού Τρίπτυχου», σύμφωνα με το οποίο η επίτευξη μιας βιώσιμης και οικονομικότερης ενεργειακής κατανάλωσης υλοποιείται με τρεις μεθόδους, οι οποίες είναι:

α) Η εξοικονόμηση ενέργειας, με ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων και με αντικατάσταση παλαιών ενεργοβόρων συσκευών από άλλες, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

β) Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας, με την χρησιμοποίηση ηλιακών θερμοσίφωνων για την θέρμανση του νερού και φωτοβολταϊκών πάνελ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

γ) Η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση των ορυκτών καυσίμων, με συσκευές υψηλού συντελεστή απόδοσης, για την κάλυψη των υπολοίπων ενεργειακών αναγκών.

Οι ΕΔ εφαρμόζοντας την κείμενη νομοθεσία περί υγιεινής και ασφάλειας στην εργασία, επιδιώκουν τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος στις δραστηριότητες τους, ευαισθητοποιώντας το προσωπικό τους, με υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και διαδικασιών, μαζί με οργανωτικές αλλαγές, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενεργειακή εξοικονόμηση και αποδοτικότητα, μαζί με επάρκεια και αυτονομία, προσδοκώντας επιχειρησιακά, ενεργειακά και οικονομικά οφέλη<sup>22</sup>.

Ενθαρρύνεται η χρήση και αξιοποίηση όλων των ΑΠΕ, με την προϋπόθεση της εκπόνησης όλων των προβλεπόμενων από την νομοθεσία μελετών, άλλα και της ανάλυσης κόστους – οφέλους. Η διαχείριση της ενέργειας θα γίνεται μέσω ορθολογικής και αποδοτικής χρήσης. Επιδιώκεται η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για ανάγκες φωτισμού, θέρμανσης-κλιματισμού, διασφαλίζοντας, ταυτόχρονα, συνθήκες άνεσης, έχοντας υπόψη την παλαιότητα των κτιρίων. Λαμβάνεται υπόψη ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, τόσο κατά στην σχεδίαση νέων, ενεργειακά αποδοτικών κτιριακών εγκαταστάσεων, όσο και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφισταμένων, στο μέτρο του εφικτού και χωρίς διακύβευση της επιχειρησιακής τους ικανότητας. Διευκολύνεται η συνεργασία των ΕΔ με τρίτους φορείς σε θέματα παραγωγής βιώσιμης ενέργειας σε εγκαταστάσεις των ΕΔ, με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών σε στρατιωτικές ιδιοκτησίες. Ενθαρρύνεται η καταγραφή των δεικτών κατανάλωσης ενέργειας από τις στρατιωτικές Μονάδες, με τρόπο μη επιβαρυντικό στη λειτουργία τους και με εξασφαλισμένο το απόρρητο των διαβαθμισμένων πληροφοριών, με σκοπό την ενεργειακή διαχείριση και στόχο την ανάπτυξη κατευθύνσεων για εξοικονόμηση ενέργειας και την αξιολόγηση του βαθμού επίτευξης των τεθέντων ενεργειακών στόχων.

<sup>22</sup> [Μέτρα για την Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης και την Εξοικονόμηση Ενέργειας στις ΕΔ - Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας - \(mil.gr\)](#)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Γενικά, θα πρέπει να ακολουθείται μια κοινή Ενεργειακή Στρατηγική από τις ΕΔ, σκοπός της οποίας να είναι η ελαχιστοποίηση την ενεργειακής εξάρτησης των τόσο κατά την προετοιμασία, όσο και κατά τη διεξαγωγή των επιχειρήσεων, αυξάνοντας την ικανότητα των ΕΔ, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και εκπληρώνοντας την κοινωνική αποστολή των τους.<sup>23</sup>

Στα τέλη Νοεμβρίου του 2022, πραγματοποιήθηκε Ημερίδα με θέμα «Κλιματική Αλλαγή και Ένοπλες Δυνάμεις», που διοργανώθηκε από την Διεύθυνση Υποδομής και Προστασίας Περιβάλλοντος του ΓΕΕΘΑ, σε συνεργασία με το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Κατά την διάρκειά της αναπτύχθηκαν θέματα που αφορούν στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο προσωπικό, στα μέσα, στον εξοπλισμό, στις υποδομές, στην ασφάλεια και στις επιχειρησιακές δραστηριότητες των ΕΔ όπως επίσης και θέματα σχετικά με την διαχείριση κινδύνων και καταστροφών σε περίπτωση εξελισσόμενης κλιματικής κρίσης τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Συζητήθηκε επίσης ο ρόλος των ΕΔ στην αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων και παρουσιάστηκαν προτάσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητάς τους έναντι της κλιματικής αλλαγής και για το σύνολο των τομέων δραστηριοποίησής τους<sup>24</sup>.

### 1.5.2 Οι προσπάθειες

Η υλοποίηση του μνημονίου συνεργασίας μεταξύ ΥΠΕΚΑ και ΥΠΕΘΑ απαιτούσε ολοκληρωμένες δράσεις και από τα δύο υπουργεία. Το ΥΠΕΘΑ, σε συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, εντάχθηκε στο, συγχρηματοδοτούμενο από την ΕΕ, πρόγραμμα Life11/ENV/GR/938/MECM<sup>25,26</sup>, το οποίο είχε ως στόχο τη δημιουργία και τη σταδιακή αναβάθμιση συστήματος διαχείρισης ενέργειας, σύμφωνα με το ISO 50001:2011, με άμεσο σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις των ΕΔ.

Το ΥΠΕΘΑ επέλεξε τρία στρατόπεδα για την υλοποίηση του προγράμματος. Από το ΣΞ, το στρατόπεδο «Τριανταφυλλίδη», από το ΠΝ ο ναύσταθμος Κρήτης και από την ΠΑ η 110<sup>27</sup> Πτέρυγα μάχης. Το σύστημα αυτό, περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, τρόπους βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια, όπως η θερμομονώσεις κελύφους και δώματος, η αντικατάσταση των κουφωμάτων, συστήματα σκιασμού σε κτίρια, η θέρμανση και ψύξη κτιρίων, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το φωτισμού με αντικατάσταση των λαμπτήρων και εξοικονόμηση ενέργειας από τις μεταφορές.

<sup>23</sup> [Ενέργεια – Green Armed Forces - Πράσινες Ένοπλες Δυνάμεις \(mil.gr\)](https://www.mil.gr/energeia-green-armed-forces-πράσινες-ενοπλες-δυνάμεις)

<sup>24</sup> [Ημερίδα με θέμα «Κλιματική Αλλαγή και Ένοπλες Δυνάμεις» - ΓΕΕΘΑ -\(mil.gr\)](https://www.geea.gr/energeia-green-armed-forces-πράσινες-ενοπλες-δυνάμεις)

<sup>25</sup> [LIFE 3.0 - LIFE Project Public Page \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/life11/)

<sup>26</sup> [MECM – ΔΙΔΕΑΠ | Διεύθυνση Διαχείρισης Ευρωπαϊκών και Αναπτυξιακών Προγραμμάτων \(mil.gr\)](https://www.mil.gr/energeia-green-armed-forces-πράσινες-ενοπλες-δυνάμεις)

<sup>27</sup> [PROXEIROS-BEMS \(cres.gr\)](https://www.cres.gr/proxeiros-bems)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Στη συνέχεια, το Γενικό Επιτελείο Στρατού προέβη στην ένταξη και του Στρατοπέδου «Κανδηλάπτη», που εδρεύει στην Αλεξανδρούπολη. Το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας, αυτού του στρατοπέδου, υλοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο<sup>28</sup> ΕΛΟΤ EN ISO 50001:2011 και έχει ως κύριες δραστηριότητες την καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και προτάσεις για την μείωσή της, με την ενεργειακή αναβάθμιση των υφισταμένων εγκαταστάσεων, παράλληλα με επιχειρησιακή εκπαίδευση του στρατιωτικού προσωπικού πάνω στο σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Το στρατόπεδο «Κανδηλάπτη» επιθεωρήθηκε και έλαβε πιστοποίηση κατά ISO 50001:2011 τον Αύγουστο του 2018.

Στα πλαίσια του σχεδίου των «πράσινων» στρατοπέδων, δρομολογήθηκε και η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης σε μικρονήσους, όπως το Φαρμακονήσι και η Καλόλιμνος, οι οποίες θα λειτουργούν με ενέργεια από φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα<sup>29</sup>.

Στο πλαίσιο της πολιτικής για τη δημιουργία ενεργειακά αυτόνομων στρατοπέδων με τη χρήση Έξυπνων Δικτύων και ΑΠΕ, το 2017, η Ελληνική IDE (INTRACOM Defense Electronics), εγκατέστησε προς αξιολόγηση, σε βάση της Πολεμικής Αεροπορίας, το Υβριδικό Σύστημα HG10K-10, ένα καινοτόμο Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας το οποίο, κατά την περίοδο αξιολόγησης, παρείχε αδιάλειπτη ηλεκτρική ενέργεια για 20 ημέρες, επιτυγχάνοντας πλήρη ενεργειακή αυτονομία με σημαντικό ποσοστό χρήσης ηλιακής ενέργειας και περιορισμένη χρήση της γεννήτριας<sup>30</sup>.



Εικόνα 1-3 Το Υβριδικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας HEPS [INTRACOM DEFENSE](#)

Τον Ιανουαρίου 2022 εγκαινιάστηκε το έργο της Ενεργειακής Αναβάθμισης του Στρατηγείου της 1ης ΣΤΡΑΤΙΑΣ/EU-OHQ «ΑΧΙΛΛΕΑΣ», στη Λάρισα, προϋπολογισμού € 1,5εκ. Το έργο, ενταγμένο στο ΕΣΠΑ 2014 – 2020 της Περιφέρειας Θεσσαλίας, περιελάμβανε ενεργειακές αναβαθμίσεις, όπως τη μόνωση του κελύφους και του δώματός του κτιρίου, την αντικατάσταση του συνόλου των κουφωμάτων, τον εκσυγχρονισμό των συστημάτων

<sup>28</sup> [Ανάπτυξη του Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας σε Στρατόπεδα του Στρατού Ξηράς | Army.gr](#)

<sup>29</sup> [Ενεργειακές παρεμβάσεις σε στρατιωτικά νοσοκομεία \(adm.gr\)](#)

<sup>30</sup> [New Hybrid Technology System for Defense Applications – INTRACOM DEFENSE](#)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

θέρμανσης – ψύξης, με νέα κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, νέα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας led, καθώς και εγκατάσταση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου. Μαζί με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 100kW, μείωσε το ενεργειακό αποτύπωμα κατά 86% σε πρωτογενή ενέργεια<sup>31</sup>.

Σε εξέλιξη ήδη βρίσκονται τα έργα για την ενεργειακή αυτονομία της 115 Πτέρυγας Μάχης και την ενεργειακή αναβάθμιση των Στρατηγείων του Δ' Σώματος Στρατού «ΘΡΑΚΗ», καθώς και των XII – XVI Μ/Κ ΜΠ. Επίσης, βρίσκονται σε εξέλιξη, η προμήθεια συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και συσκευών υψηλής ενεργειακής απόδοσης, το πρόγραμμα αναβάθμισης των υφιστάμενων συστημάτων φωτισμού, με την χρήση ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων τύπου led, το οποίο έχει υλοποιηθεί σε ποσοστό 42% και το πρόγραμμα ενεργειακής αναβάθμισης των κτιριακών εγκαταστάσεων με χρήση κατάλληλης βαφής, την θερμομόνωση των ταρατσών, την αντικατάσταση των παλαιών κουφωμάτων και την εφαρμογή των προδιαγραφών θερμικής ενεργειακής απόδοσης κατά την κατασκευή και την επισκευή των κτιρίων<sup>32</sup>.

### 1.5.3 Επιχειρησιακές εφαρμογές NATO

Το πρόγραμμα Smart Energy<sup>33</sup> του NATO ξεκίνησε το 2011 και στοχεύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συμμαχικών ενόπλων δυνάμεων μέσω ενός ευρέος φάσματος μέσων, όπως η αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η καλύτερη διαχείριση της ενέργειας.

Έχει να κάνει με την ενδυνάμωση του στρατιώτη του μέλλοντος, έναν σημαντικό παράγοντα για τον σύγχρονο στρατό. Μειώνει το κόστος και τους κινδύνους των στρατιωτικών επιχειρήσεων, καθώς και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του στρατού. Ο πρότυπος καταυλισμός «Smart Energy» άνοιξε το δρόμο σε πολλά υποσχόμενες λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, όπου ενεργειακά αποδοτικός εξοπλισμός και υλικά, παρουσιάστηκαν σε στρατόπεδο επίδειξης που δημιουργήθηκε στη στρατιωτική άσκηση Capable Logistician<sup>34</sup> 2013, που έγινε στη Σλοβακία. Περισσότεροι από 500 επισκέπτες ενημερώθηκαν στα ζητήματα ασφάλειας σχετικά με τις προμήθειες καυσίμων για τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις, καθώς και σε πιθανές ιδέες και έργα ενεργειακής απόδοσης για τον στρατό.

<sup>31</sup> [Τελετή Εγκαινίων του έργου Ενεργειακής Αναβάθμισης του Στρατηγείου της 1ης ΣΤΡΑΤΙΑΣ/EU-OHQ «ΑΧΙΛΛΕΑΣ» - Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας - Επίσημη Ιστοσελίδα \(mil.gr\)](#)

<sup>32</sup> [Μέτρα για την Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης και την Εξοικονόμηση Ενέργειας στις ΕΔ - Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας - Επίσημη Ιστοσελίδα \(mil.gr\)](#)

<sup>33</sup> [NATO - SENT explores energy efficiency for the military in cold climates.](#)

<sup>34</sup> [NATO - 'Smart Energy' camp opens eyes to promising energy-saving solutions.](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η άσκηση Capable Logistician<sup>35</sup> 2015, στην Ουγγαρία, έδωσε την ευκαιρία στο ΝΑΤΟ να δοκιμάσει μια σειρά ενεργειακά αποδοτικών λύσεων σε μια προσπάθεια να μειώσει το κόστος ενώ θα ενισχύσει τη διαλειτουργικότητα και τη στρατιωτική αποτελεσματικότητα. περιλάμβανε τη συμβολή 30 ειδικών από αμυντικούς οργανισμούς και ερευνητικά ινστιτούτα. Στην άσκηση, συμμετείχαν συνολικά 1.700 στρατιώτες και δοκιμάστηκαν περισσότερα από 50 είδη εξοπλισμού.

Το ΝΑΤΟ δοκίμασε νέες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας στην Πολωνία και κατά τη διάρκεια της άσκησης Capable Logistician<sup>36</sup> 2019, μεταξύ άλλων, για να καταστήσει τους Συμμαχικούς στρατούς πιο ενεργειακά αποδοτικούς, να μειώσει την εξάρτησή τους από ορυκτά καύσιμα στο πεδίο και να ενισχύσει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των εθνικών ενόπλων δυνάμεων. Σε συνδυασμό με συνδεδεμένες εθνικές δραστηριότητες, η άσκηση περιελάμβανε περίπου 3.400 στρατιώτες από 30 έθνη και δοκιμάστηκαν περίπου 1.000 τεμάχια εξοπλισμού. Η άσκηση επέδειξε καινοτόμες τεχνολογίες έξυπνης ενέργειας με δυνατότητα μείωσης της σπατάλης καυσίμων και βελτίωσης της λειτουργικής αποτελεσματικότητας. Μερικές από τις τεχνολογίες που δοκιμάστηκαν ήταν σύγχρονες γεννήτριες ντίζελ, υβριδικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, φωτοβολταϊκά πάνελ, μονωμένες σκηνές, ενεργειακά αποδοτικός κλιματισμός και φώτα LED. Στην άσκηση χρησιμοποιήθηκαν διάφορα σενάρια όπως διακοπές ρεύματος, μόλυνση από ντίζελ και ρύπανση πρωτογενών πηγών νερού, κάτι που απαιτούσε έξυπνη ενεργειακή απόκριση. Τα διδάγματα που αντλήθηκαν κατά τη διάρκεια του Capable Logistician 2019 θα αποτελέσουν βάση για μελλοντικές βελτιώσεις στις πολιτικές και τα πρότυπα του ΝΑΤΟ.

Οι καθιερωμένες, πια, ασκήσεις Capable Logistician δίνουν την ευκαιρία στο ΝΑΤΟ να αναλύει πώς αλληλεπιδρά ο εξοπλισμός, που χρησιμοποιεί διαφορετικές ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες. Οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν μικροδίκτυα για τη βελτίωση της διαχείρισης ενέργειας ενός στρατοπέδου. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, λύσεις μόνωσης από τη ζέστη και το κρύο, τεχνολογίες χαμηλής ενέργειας για τον καθαρισμό του νερού, φώτα LED και μικρές φορητές κυψέλες καυσίμου για τους στρατιώτες του ΝΑΤΟ. Τα επιλεγμένα σενάρια θα συνίστανται στην απόκριση σε διακοπές ρεύματος, ρύπανση του καυσίμου και του νερού, όπως και βλάβη γεννητριών. Ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι η εισαγωγή τεχνολογιών που μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου από τα στρατεύματα που αναπτύσσονται σε στρατιωτικές επιχειρήσεις.

---

<sup>35</sup> [NATO - "Smart Energy" exercise gets underway in Hungary.](#)

<sup>36</sup> [NATO - tests smart energy technologies at exercise in Poland.](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Το έργο FOB, (Forward Operating Base of the Future)<sup>37</sup>, της Αμερικανικής Πολεμικής Αεροπορίας, φιλοδοξεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις θα τροφοδοτούν τις αποστολές τους, στο μέλλον. Ελπίζει να ανταποκριθεί στο όραμα του Κέντρου Πολιτικών Μηχανικών της Πολεμικής Αεροπορίας για το 2035, για τη δημιουργία ενός πλήρως αναπτυσσόμενου, αυτοσυντηρούμενου συστήματος ισχύος. Η πρόοδος ήταν τεράστια, με αποτέλεσμα νέες συνεργασίες πολλαπλών υπηρεσιών και επιτυχημένες επιδείξεις εξοπλισμού.

Τοποθετημένο σε ένα τρέιλερ μήκους 10 ποδιών, ένα κινητό, υβριδικό σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας, ικανό να παρέχει ισχύ ανανεώσιμης ενέργειας για τις προωθημένες βάσεις λειτουργίας, είναι η πιο πρόσφατη προσθήκη στην προσπάθεια του ΑΡΤΟ για την κάλυψη μακροπρόθεσμων ενεργειακών αναγκών των στρατιωτικών δυνάμεων. Οι μπαταρίες και το πακέτο λογισμικού εντολών, ελέγχου και επικοινωνίας μικροδικτύων, μπορούν να λειτουργήσουν ως πηγή ενέργειας, ικανή να παρέχει επιτόπου, επαρκής φορητή ενέργεια για τις δυνάμεις εκστρατείας.

Από το 1998, η Installation Energy<sup>38</sup> της Υπηρεσίας Αμυντικής Διοικητικής Μέριμνας (DLA) των ΗΠΑ, προμηθεύεται ηλεκτρική ενέργεια, υπογράφοντας συμβόλαια με προμηθευτές που χρησιμοποιούν αποκλειστικά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή χρησιμοποιώντας κατά προτεραιότητα ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ, μέσω του δικτύου διασύνδεσης, χρηματοδοτώντας εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγής, από ΑΠΕ, από τις ίδιες τις υπηρεσίες, με αγορές δικαιωμάτων άνθρακα, καθώς και υιοθετεί μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, προκειμένου να βοηθήσει τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις και τις ομοσπονδιακές υπηρεσίες να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις των εγκαταστάσεων, με απώτερο σκοπό να τη μείωση του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση οικονομικών πόρων.<sup>39</sup> Η Υπηρεσία αυτή, συνδράμει με έργα στην προσπάθεια, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της Ομοσπονδιακής κυβέρνησης των ΗΠΑ για μερική απεξάρτηση από τον άνθρακα, μέχρι το 2030.

---

<sup>37</sup> [Air Force expeditionary energy demo forges ahead > Wright-Patterson AFB >](#)

<sup>38</sup> [Installation Energy \(dla.mil\)](#)

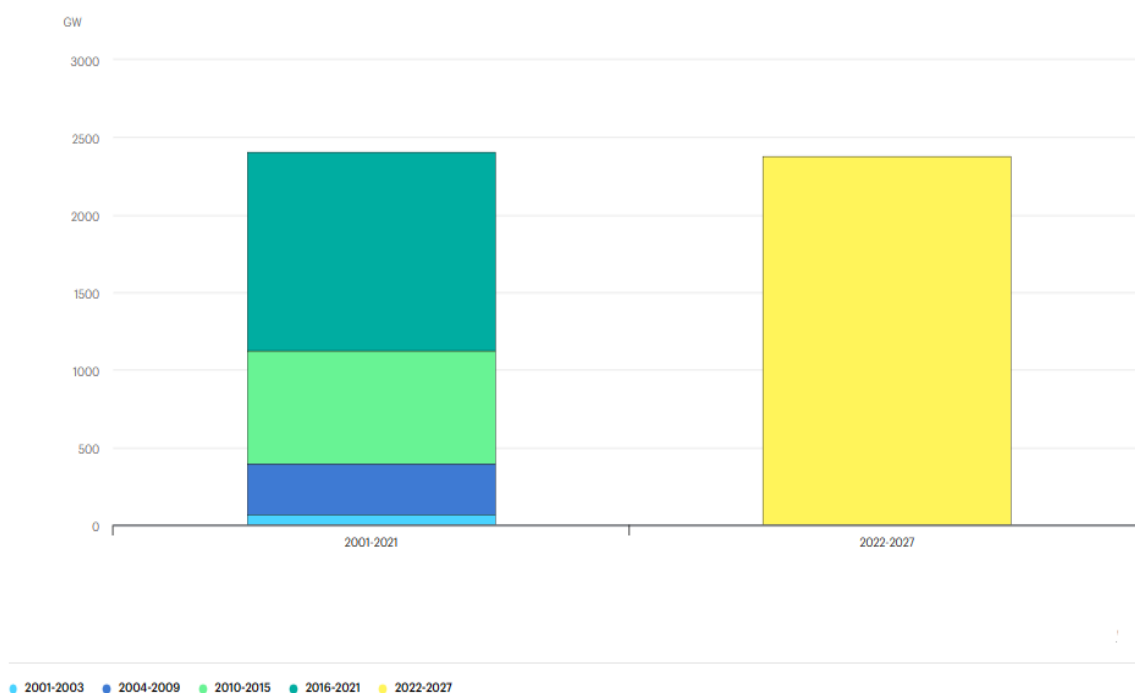
<sup>39</sup> [E.O. 14057 Implementing Instructions \(sustainability.gov\)](#)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στο άρθρο 2 του ν. 2773/1999 ορίζεται<sup>40</sup> ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνει την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ή της ηλιακής ενέργειας, ή της βιομάζας, ή του αερίου, την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, την εκμετάλλευση ενέργειας από τη θάλασσα, την εκμετάλλευση του υδάτινου δυναμικού με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, αλλά και τον συνδυασμό όλων των παραπάνω. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που συχνά αναφέρονται ως καθαρή ενέργεια, προέρχονται από φυσικές πηγές ή διαδικασίες, που ανανεώνονται συνεχώς. Με αυτή την ιδιότητα, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο τόσο στην ενεργειακή ασφάλεια, όσο και στη μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου.

Οι προσθήκες δυναμικότητας ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έσπασαν άλλο ένα ρεκόρ το 2021 και η ζήτηση βιοκαυσίμων σχεδόν ανέκαμψε στα προ του Covid επίπεδα, παρά τη συνέχιση των υλικοτεχνικών προκλήσεων και την αύξηση των τιμών.

Total renewable electricity capacity additions, 2001-2027



Εικόνα 2-1 Προσθήκες εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ μεταξύ 2001-2027 Data & Statistics - IEA

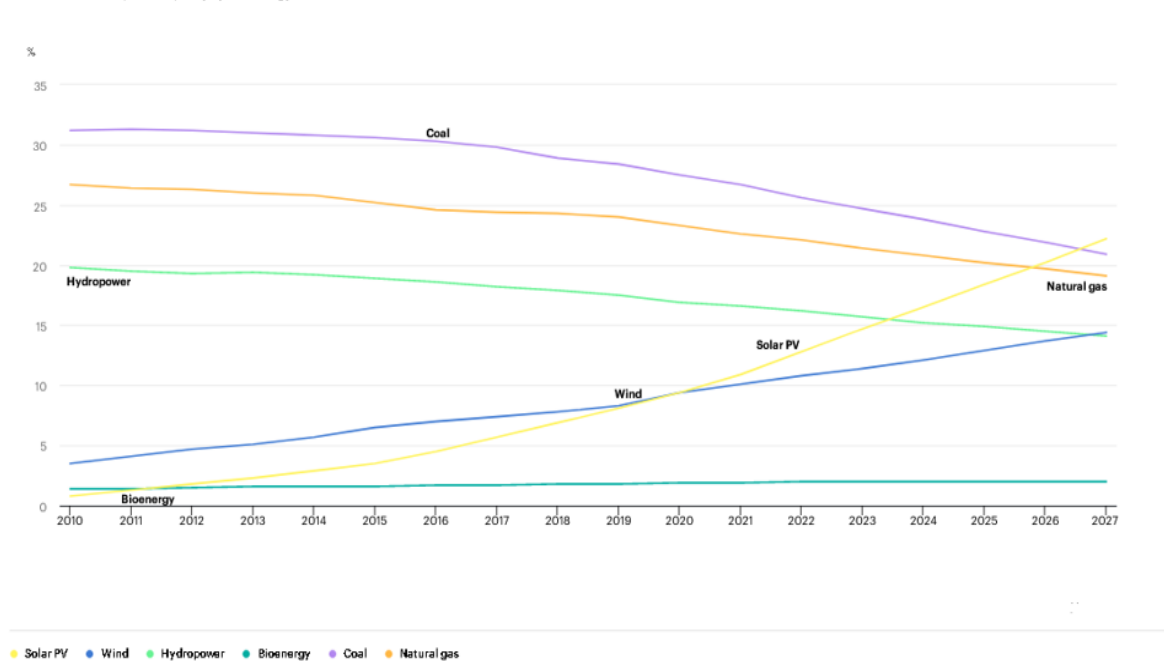
<sup>40</sup> [Νόμος 2773/1999 - ΦΕΚ 286/Α/22-12-1999 - ΕΝΕΡΓΕΙΑ \(e-nomothesia.gr\)](https://www.enomothesia.gr/)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση έχει προκαλέσει μια πρωτοφανή δυναμική πίσω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τον κόσμο να αναμένεται να προσθέσει τόση ανανεώσιμη ενέργεια τα επόμενα πέντε χρόνια, όσο και τα προηγούμενα είκοσι<sup>41</sup>.

Ωστόσο, η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία προκαλεί κρουστικά κύματα στις αγορές ενέργειας και γεωργίας, με αποτέλεσμα μια άνευ προηγουμένου παγκόσμια ενεργειακή κρίση. Σε πολλές χώρες, οι κυβερνήσεις προσπαθούν να προστατεύσουν τους καταναλωτές από τις όλο υψηλότερες τιμές ενέργειας, να μειώσουν την εξάρτηση από τις Ρωσικές προμήθειες και προτείνουν πολιτικές για την επιτάχυνση της μετάβασης σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μεγάλες δυνατότητες μείωσης των τιμών και της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Η συνεισφορά τους στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα, υπολογίζεται να ξεπεράσει τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα, μέσα στην επόμενη πενταετία<sup>42</sup>.

Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027



Εικόνα 2-2 Το μερίδιο στην εγκατεστημένη ισχύ, ανά τεχνολογία καυσίμου, μεταξύ 2010-2027

#### Data & Statistics - IEA

Αν και το κόστος για νέες ηλιακές φωτοβολταϊκές και αιολικές εγκαταστάσεις έχει αυξηθεί, αντιστρέφοντας μια δεκαετία μείωσης του κόστους, οι τιμές του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και του άνθρακα έχουν αυξηθεί πολύ πιο γρήγορα, βελτιώνοντας επομένως περαιτέρω την ανταγωνιστικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές<sup>43</sup>.

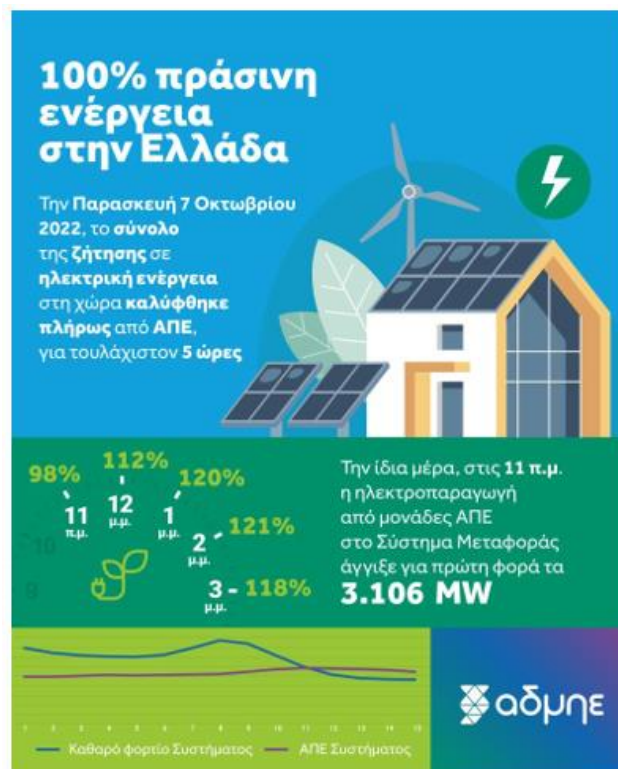
<sup>41</sup> [Total renewable electricity capacity additions, 2001-2027 – Charts – Data & Statistics - IEA](#)

<sup>42</sup> [Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027 – Charts – Data & Statistics - IEA](#)

<sup>43</sup> [Renewable Energy Market Update - May 2022 – Analysis - IEA](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Τον περασμένο Οκτώβριο, για πρώτη φορά στην ιστορία του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, η ζήτηση καλύφθηκε κατά 100% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με ανακοίνωση σε σελίδα κοινωνικού δικτύου του ΑΔΜΗΕ<sup>44</sup>, στις 7 Οκτωβρίου 2022, η παραγωγή από ΑΠΕ άγγιξε νέο ιστορικό υψηλό (3.106 MW) καλύπτοντας πλήρως τη ζήτηση, καθώς η παραγωγή από μονάδες ΑΠΕ, συνδεδεμένες στην Υψηλή και Υπερυψηλή Τάση, κινήθηκαν σε επίπεδα από 98% έως 121%, υπερβαίνοντας το μέγεθος του καθαρού φορτίου στο Σύστημα Μεταφοράς, δείχνοντας ότι οι στόχοι που θέτονται, μπορεί να γίνουν πραγματικότητα.<sup>45</sup>



Εικόνα 2-3 Ιστορικά ρεκόρ για τις ΑΠΕ [ΑΔΜΗΕ-ΙΡΤΟ](#)

Ο Νοέμβριος του 2022, βρίσκει την Ελλάδα στην 16<sup>η</sup> θέση του δείκτη της Ernst & Young για τις ΑΠΕ, EY Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI 60), ενώ καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση παγκοσμίως, μετά το Μαρόκο, με βάση τις επιδόσεις των χωρών προσαρμοσμένες, με το μέγεθος του ΑΕΠ τους, σύμφωνα με την τελευταία έκδοση της εξαμηνιαίας έρευνας. Η έρευνα αυτή, αξιολογεί τις 40 κορυφαίες οικονομίες του κόσμου, κατατάσσοντάς τις ως προς την ελκυστικότητα των επενδυτικών ευκαιριών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας<sup>46</sup>.

<sup>44</sup> [ΑΔΜΗΕ-ΙΡΤΟ Facebook](#)

<sup>45</sup> ["Πράσινη" 100% η παραγωγή ρεύματος για πρώτη φορά την Παρασκευή, 7 Οκτωβρίου \(energypress.gr\)](#)

<sup>46</sup> [Η Ελλάδα στη 16η θέση του δείκτη RECAI της EY για τις ΑΠΕ και στη 2η θέση του προσαρμοσμένου δείκτη ως προς το ΑΕΠ | EY Greece](#)



## 2.1 Γιατί ΑΠΕ

Οι απειλές για την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες:

- α) Καιρικές συνθήκες, όπως ξηρασία, καύσωνας, σεισμός, πλημμύρες και καταιγίδες, τυφώνας, ανεμοστρόβιλος, τσουνάμι,
- β) Ανθρωπογενείς απειλές, όπως η κυβερνοεπίθεση, οι τρομοκρατικές επιθέσεις, σκόπιμοι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί (EMP), κάποιο σημαντικό σφάλμα λειτουργίας
- γ) Διάφορα άλλα συμβάντα, όπως ηφαιστειακό γεγονός, ηλεκτρομαγνητικό συμβάν στο διάστημα, διακοπή παροχής φυσικού καυσίμου<sup>47</sup>.

Οι πιο διαδεδομένες μορφές παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ, έχουν θεμελιώδη χαρακτηριστικά που τις καθιστούν μοναδικά ικανές να αντέχουν πολλές από αυτές τις απειλές. Αυτή η ανθεκτικότητα ωφελεί τόσο τα μεγαλύτερα ηλεκτρικά δίκτυα, όπως αυτό των ΗΠΑ, στο οποίο βασίζεται η οικονομία και πολλές εθνικές αμυντικές εγκαταστάσεις, όσο και κρίσιμες αμυντικές επιχειρήσεις και υποδομές, συμπεριλαμβανομένων εγχώριων εγκαταστάσεων και βάσεων σε εξωτερικό έδαφος.

Στα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που τις καθιστούν ιδιαίτερα πολύτιμες από την άποψη της εθνικής ασφάλειας, περιλαμβάνεται η μηδενική εξάρτηση από τον παγκόσμιο εφοδιασμό καυσίμου, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν εξαρτώνται από τις παγκόσμιες αγορές, οι οποίες με τη σειρά τους μπορεί να είναι ευάλωτες σε ασταθείς και απρόβλεπτες αυξήσεις τιμών ή απροσδόκητες αλλαγές στη διαθεσιμότητα καυσίμων.

Επίσης, άλλο χαρακτηριστικό είναι το δωρεάν και ανεξάντλητο καύσιμο. Η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές βασίζεται στη φυσική, δωρεάν και αυτοδύναμη αναπλήρωση πηγών καυσίμου όπως το φως του ήλιου, ο άνεμος, η θερμότητα της γης ή η κινητική ενέργεια ενός ρέοντος ποταμού. Ενώ ορισμένες από αυτές τις πηγές καυσίμου μπορεί να έχουν διακυμάνσεις σε χρονικό επίπεδο, δεν παύουν να είναι σταθερές σε ετήσιες περιόδους και η προηγμένη μοντελοποίηση μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια τη διαθεσιμότητά τους.

Πολλές προκεχωρημένες βάσεις στρατιωτικών δυνάμεων είναι απομακρυσμένες, προσωρινού χαρακτήρα και βρίσκονται σε ασταθείς ή εχθρικές περιοχές, όπου ενεργειακά βασίζονται σε νηοπομπές ανεφοδιασμού για την παροχή εύφλεκτων καυσίμων για γεννήτριες

<sup>47</sup> [ACORE Issue-Brief -The-Role-of-Renewable-Energy-in-National-Security.pdf](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες συνοδείες μπορεί να είναι ευάλωτοι στόχοι για επιθέσεις και η ταχεία ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτές τις βάσεις έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να σώσει ζωές ανδρών και γυναικών. Σύμφωνα με μια μελέτη του 2009, που διενεργήθηκε για το Αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας, μία στις 24 νηοπομπές καυσίμων στο Αφγανιστάν, οδήγησε σε θύματα<sup>48</sup>. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να μειώσουν δραματικά την εξάρτηση από τέτοιες συνοδείες και επομένως τη συχνότητα των θυμάτων<sup>49</sup>.

Η ικανότητα ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κοντά σε κέντρα φόρτωσης και σε μονάδες μικρότερης χωρητικότητας, είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα φυσικής ασφάλειας που ενισχύει την ανθεκτικότητα του δικτύου. Ενώ οι μεγάλοι, κεντρικοί σταθμοί ορυκτών καυσίμων και πυρηνικής ενέργειας τροφοδοτούν, παραδοσιακά, το ηλεκτρικό δίκτυο των ΗΠΑ, οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα μεγέθη, που μπορούν να τοποθετηθούν ή κοντά σε φορτία και να τροφοδοτήσουν είτε κεντρικά συστήματα μεταφοράς και διανομής, είτε κατακευματισμένα συστήματα.

Γεωγραφικά διασκορπισμένες εγκαταστάσεις ηλιακής, αιολικής, υδροηλεκτρικής και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όλων των μεγεθών, μειώνουν τον κίνδυνο ένα μόνο σημείο αστοχίας να διαταράξει τη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή, για παράδειγμα, μπορεί να εγκατασταθούν σε σπίτια και εμπορικά κτίρια, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε τροφοδοτείται στο δημόσιο δίκτυο. Εγκαταστάσεις αιολικής ή και ηλιακής ενέργειας, κοινής ωφέλειας, μεγάλης κλίμακας, μπορούν να κατασκευαστούν γρήγορα και οικονομικά, σε απομακρυσμένες περιοχές, σε κλίμακες ηλεκτρικής ισχύος που ποικίλλουν από μεγαβάτ (MW) έως πάνω από γιγαβάτ<sup>50</sup> (GW).

Δεδομένων των υλικοτεχνικών προκλήσεων της κατασκευής δαπανηρών κεντρικών εγκαταστάσεων παραγωγής και αγωγών καυσίμου για σταθμούς άνθρακα και πυρηνικούς σταθμούς, της πολυπλοκότητας της διάθεσης των απορριμμάτων και των πρακτικών προκλήσεων της εγκατάστασης νέων εγκαταστάσεων, υπάρχει ένα τεράστιο κίνητρο για την κατασκευή αυτών των μονάδων, όσο το δυνατόν μεγαλύτερης κλίμακας και στη συνέχεια η ένταξή τους στο υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η επιταχυνόμενη διεύρυνση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα, απαιτεί προσπάθειες για την επίλυση ζητημάτων της αλυσίδας εφοδιασμού, την ενίσχυση και επέκταση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και την ανάπτυξη ευελιξίας για την ασφαλή και αξιόπιστη διαχείριση μεγαλύτερων μεριδίων ευμετάβλητων

<sup>48</sup> [Casualty Costs of Fuel and Water Resupply Convoys in Afghanistan and Iraq -\(army-technology.com\)](https://www.army-technology.com/news/news/2010/05/05/casualty-costs-of-fuel-and-water-resupply-convoys-in-afghanistan-and-iraq/)

<sup>49</sup> [us\\_ad EnergySecurity052010.pdf \(offiziere.ch\)](https://www.offiziere.ch/energysecurity/052010.pdf)

<sup>50</sup> [Top 5 Largest Solar Power Plants in the World \(2022\) \(ornatesolar.com\)](https://www.ornatesolar.com/top-5-largest-solar-power-plants-in-the-world-2022/)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ταχύτερη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα έφερνε τον κόσμο πιο κοντά σε μια πορεία που θα συνάδει με την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050, γεγονός που θα προσφέρει ακόμη περισσότερες πιθανότητες για την επίτευξη του περιορισμού της υπερθέρμανσης του πλανήτη στο 1,5 °C.

## 2.2 Νομικό πλαίσιο

Το πρώτο νομικό κείμενο στο Διεθνές Δίκαιο, ήταν η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές, που υπεγράφη από 154 χώρες τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη<sup>51</sup>. Δεν έθετε νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις, αλλά έθεσε τις βάσεις για περαιτέρω δράση στο μέλλον, καθώς, την εποχή εκείνη επικρατούσαν πολλές αμφισβητήσεις για την επιστημονική στήριξη της ανάγκης υιοθέτησης οποιονδήποτε μέτρων. Η Ελλάδα επικύρωσε τη Σύμβαση αυτή, με το ν.2205/1994.

Το 1997 στην 3<sup>η</sup> Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών στο Κιότο της Ιαπωνίας, υιοθετήθηκε ένα Πρωτόκολλο στη Σύμβαση, γνωστό ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Στόχευε σε συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% μεταξύ 2008-12 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Το Πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκε, τελικά σε ισχύ, το 2005. Η Ελλάδα, μαζί με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της ΕΕ, υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998. Όλα τα Κράτη Μέλη της ΕΕ κύρωσαν το Πρωτόκολλο τον Μάιο του 2002 και η χώρα μας το κύρωσε με το ν. 3017/2002<sup>52</sup>.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, στην προσπάθειά της να συνδράμει στην επίλυση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής, της προχώρησε σε μια σειρά πράξεων, όπως η έκδοση της «Πράσινης Βίβλου»<sup>53</sup>, το 1996, ένα πρώτο βήμα προς τη θέσπιση μιας στρατηγικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εγκαινιάζοντας μια συζήτηση σχετικά με τα πλέον επείγοντα και σημαντικά μέτρα που μπορούν να υιοθετηθούν σε επίπεδο Κοινότητας και κρατών μελών, ενισχύοντας το στρατηγικό στόχο για προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως αναπόσπαστο τμήμα της ενεργειακής πολιτικής και έθεσε το στόχο για διπλασιασμό της συμβολής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2010.

Ακολούθησε η «Λευκή Βίβλος»<sup>54</sup>, το 1997, όπου συμπεραίνεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μείζονα σημασία για την ΕΕ, στα πρόθυρα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Ακολούθησαν

<sup>51</sup> [Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για την Κλιματική Αλλαγή - \(ypen.gov.gr\)](http://ypen.gov.gr)

<sup>52</sup> [Πρωτόκολλο του Κυότο - \(ypen.gov.gr\)](http://ypen.gov.gr)

<sup>53</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:51996DC0576>

<sup>54</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:51997DC0599>

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

πολλές Κοινοτικές Οδηγίες και πολλά Προγράμματα, Πλαίσια και Κανονισμοί, που δείχνουν την ιδιαίτερη σημασία της ένταξης των ΑΠΕ στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Στην Ελληνική νομική βιβλιοθήκη, υπάρχει πληθώρα νόμων και διατάξεων που να αναφέρονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η έννοια των ΑΠΕ συμπεριλήφθηκε για πρώτη φορά στο ν. 1475/1984<sup>55</sup>, περί αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού. το Ελληνικό Σύνταγμα και συγκεκριμένα στις διατάξεις των άρθρων 24 παρ.1 όπου γίνεται μνεία στην αρχή της αειφορίας, στο άρθρο 106 και το άρθρο 17 παρ.2. Με το ν. 1559/1985<sup>56</sup> αρχίζει να γίνεται ρύθμιση περί των θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας, ενώ με το και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Στο Π.Δ. 375/1987 γίνεται η ίδρυση Νομικού Προσώπου Ιδιωτικού Δικαίου με την επωνυμία Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), το οποίο περιήλθε στις αρμοδιότητες του υπουργείου περιβάλλοντος με το Π.Δ.189/2009<sup>57</sup>. Ακολούθησαν πολλές νομοθετικές διατάξεις, οι οποίες, έως σήμερα, είτε εισάγουν νέες ρυθμίσεις στην αγορά ενέργειας από ΑΠΕ, είτε επικαιροποιούν παλαιότερες αποφάσεις.

### 2.3 Είδη ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ, οι οποίες όπως λέει και το όνομά τους ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους, πρακτικά, δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, μέχρι την στροφή του στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων, στις αρχές του περασμένου αιώνα. Σε αυτές, επιγραμματικά, συγκαταλέγονται η ηλιακή, η αιολική, η υδραυλική, η βιομάζα, η γεωθερμική και στο εγγύς μέλλον θα εδραιωθεί η ευρεία χρήση του Υδρογόνου<sup>58</sup>.



Εικόνα 2-4 Είδη ΑΠΕ ([physicsworld.com](http://physicsworld.com))

<sup>55</sup> [Νόμος 1475/1984 - ΦΕΚ 131/Α/11-9-1984 - ΕΝΕΡΓΕΙΑ \(e-nomothesia.gr\)](#)

<sup>56</sup> [Νόμος 1559/1985 - ΦΕΚ 135/Α/25-7-1985 - ΕΝΕΡΓΕΙΑ \(e-nomothesia.gr\)](#)

<sup>57</sup> [ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ \(kriti-aigaio.gr\)](#)

<sup>58</sup> [Ενέργεια & Πολίτης \(cres.gr\)](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

### 2.3.1 Ηλιακή ενέργεια



Εικόνα 2-5 Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας [Prysmian Group](#)

Στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, περιλαμβάνονται τα εξής:

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, συλλέγοντας την ηλιακή ακτινοβολία και μεταφέροντάς τη ως θερμότητα σε αέρα, νερό, ή άλλο υγρό. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Αυτοί αποτελούνται από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, κάποιο δοχείο αποθήκευσης νερού, καθώς και τις σωληνώσεις μεταφοράς. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες και η θερμότητα μεταφέρεται στο μονωμένο δοχείο αποθήκευσης. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, τοποθετούνται συνήθως στην οροφή ενός κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση  $30^\circ$  έως  $60^\circ$  ως προς τον ορίζοντα, μεγιστοποιώντας το ετήσια συλλεγόμενο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας<sup>59</sup>.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, που αφορούν ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές λύσεις, καθώς και τη χρήση κατάλληλων υλικών δόμησης, με σκοπό τη μέγιστη απ' ευθείας εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν, με άμεσο τρόπο, την ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ή αλλιώς ηλιακή γεννήτρια, καθώς και από τα ηλεκτρονικά συστήματα, που απαιτούνται για την διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που

<sup>59</sup> [Ενέργεια & Πολίτης - Αιολική ενέργεια - Ενεργητικά ηλιακά \(cres.gr\)](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Στα λεγόμενα αυτόνομα συστήματα, προστίθεται επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, συνήθως με μπαταρίες<sup>60</sup>.

### 2.3.2 Αιολική ενέργεια



Εικόνα 2-6 Ενέργεια από τον άνεμο [Wikipedia](#)

Η αιολική ενέργεια, εκμεταλλεύεται τις αέριες μάζες, οι οποίες λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της γης από τον ήλιο, μετακινούνται με ταχύτητα από μια περιοχή σε κάποια άλλη. Η δυναμική ενέργεια των ανέμων είναι αρκετά μεγάλη, που μπορεί να καλύψει κατά πολύ τις ανάγκες του ανθρώπου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας, με την χρήση της δύναμης των ανέμων στη ναυσιπλοΐα και την ευρεία χρήση του ανεμόμυλου σε πάρα πολλές εφαρμογές, από το άλεσμα των σιτηρών έως την άντληση των υδάτων, σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης.

Η πετρελαϊκή κρίση των αρχών της δεκαετίας του 70, έφερε ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια, με μια αλματώδη τεχνολογική ανάπτυξη επί των ημερών μας, ανταποκρινόμενη στην επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καλούνται ανεμογεννήτριες, και είναι διατάξεις ηλεκτρικών μηχανών, οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε κινητική περιστροφική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι τα λεγόμενα αιολικά πάρκα, όπου μια συστοιχία από ανεμογεννήτριες, εγκατεστημένη σε μια περιοχή υψηλού αιολικού δυναμικού, διασυνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς και διανομής<sup>61</sup>.

<sup>60</sup> [Ενέργεια & Πολίτης - Φωτοβολταϊκά Συστήματα \(cres.gr\)](#)

<sup>61</sup> [Ενέργεια&Πολίτης - Αιολική ενέργεια \(cres.gr\)](#)



### 2.3.3 Βιομάζα



Εικόνα 2-7 Ενέργεια από τη βιομάζα [hanoitimes.vn](http://hanoitimes.vn)

Ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων, με την ανακάλυψη της φωτιάς και την χρήση του ξύλου ως καύσιμη ύλη, για την παραγωγή θερμότητας. Η βιομάζα αποτελεί μια αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας, καθώς ο μετασχηματισμός της ηλιακής ενέργειας στα φυτά, υλοποιείται μέσω σταδιακών διεργασιών, αφομοίωσης και φωτοσύνθεσης, συνιστώσες των οποίων αποτελούν η χλωροφύλλη των φυτών, νερό, το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> και τα ανόργανα συστατικά του εδάφους.

Η βιομάζα, γενικότερα, περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό που μπορεί να προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και ειδικότερα, για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών ή αέριων καυσίμων. Υπάρχει η βιομάζα που προέρχεται από παντός είδους φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα και απορρίμματα και η βιομάζα που παράγεται επί τούτου, από ενεργειακές καλλιέργειες. Δηλαδή παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, είτε φυτά όπως ο μίσχανθος, η ελαιοκράμβη, η αγριαγκινάρα και το καλάμι, που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων.

Κύριες εφαρμογές, είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, κτιρίων, η τηλεθέρμανση, η παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες και σε βιομηχανίες ξύλου, η παραγωγή ενέργειας σε ΧΥΤΑ και σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και η παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως βιοντίζελ και βιοαιθανόλη<sup>62</sup>. Η καύση βιομάζας φυτικής προέλευσης, θεωρείται ενεργειακά ουδέτερη, καθώς το εκλυόμενο στην ατμόσφαιρα CO<sub>2</sub> είχε δεσμευτεί και αποθηκευτεί κατά την διάρκεια ζωής του φυτού, με την φωτοσύνθεση.

<sup>62</sup> [Ενέργεια & Πολίτης - Βιομάζα \(cres.gr\)](http://www.cres.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

#### 2.3.4 Άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας

Γεωθερμική ενέργεια, είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης και η οποία οφείλεται στην τεράστια θερμοκρασία του πυρήνα της. Είναι δε τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας, για τα ανθρώπινα μέτρα. Σε μερικές περιοχές, είτε λόγω πρόσφατης ηφαιστειακής δραστηριότητας, είτε λόγω ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική δραστηριότητα είναι εντονότερη, με αποτέλεσμα σε μικρό σχετικά βάθος να απαντώνται υδροφόροι ορίζοντες που περιέχουν νερό ή ατμό υψηλής θερμοκρασίας. Αυτές οι περιοχές καλούνται γεωθερμικά πεδία, και η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειάς τους είναι εξαιρετικά συμφέρουσα. Η εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, έχει εφαρμογές που ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, όπως ηλεκτροπαραγωγή, θέρμανση χώρων, ψύξη και κλιματισμό με αντλίες θερμότητας, θέρμανση θερμοκηπίων, βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, καθώς και για θερμά ιαματικά λουτρά<sup>63</sup>.

Η υδραυλική ενέργεια, αλλιώς η δυναμική ενέργεια του νερού, είναι μια ανανεώσιμη, και αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας την οποία και εκμεταλλεύεται από πολύ παλιά ο άνθρωπος. Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, τα οποία και διαφοροποιούνται από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, έχοντας ισχύ μέχρι 10 MW, αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις ή τις ροές, με στόχο είτε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια. Με απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, νερόμυλοι, νεροτριβές, υδραυλικοί τροχοί και πάρα πολλοί μηχανισμοί υδροκίνησης, αξιοποιώντας το μικρό υδροδυναμικό των πολλών μικρών ή μεγαλύτερων υδάτινων ρευμάτων και πηγών της ορεινής Ελλάδος, υπηρέτησαν και υπηρετούν ακόμα και σήμερα, την ευημερία των τοπικών κοινωνιών. Σε πολλά σημεία της Ελλάδας, παραδοσιακές, μαζί με σύγχρονες εγκαταστάσεις ΜΥΕ εξακολουθούν και αξιοποιούν την ενέργεια του νερού, τόσο για την επιτόπια παραγωγή μηχανικού έργου, όσο, κυρίως, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας<sup>64</sup>.

Το υδρογόνο, αποτελεί το 90% του σύμπαντος, είναι το ελαφρύτερο αέριο στην φύση και στον πλανήτη μας, υπάρχει κυρίως σε ενώσεις, όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο. Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον, αντικαθιστώντας τα ήδη γνωστά. Η διαδικασία καύσης του δεν ρυπαίνει την ατμόσφαιρα, αφού τα παράγωγά της είναι κυρίως θερμότητα και νερό. Το υδρογόνο, μελλοντικά, θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, μια διαδικασία κατά την οποία, με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος, το νερό διασπάται σε H<sub>2</sub> και

<sup>63</sup> [Ενέργεια & Πολίτης - Γεωθερμία \(cres.gr\)](#)

<sup>64</sup> [Ενέργεια&Πολίτης - Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα \(cres.gr\)](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Ο<sub>2</sub>. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια θα παρέχεται από ΑΠΕ, άρα φιλική προς το περιβάλλον. Επομένως, αφού θα παράγεται από το νερό και η χρήση του θα εκλύει νερό, θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητο.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατάλληλα τροποποιημένους καυστήρες, και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ενεργειακή εφαρμογή, κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές, είναι οι κυψέλες καυσίμου, τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ένωση υδρογόνου και οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα. Το υδρογόνο, μπορεί να θεωρηθεί και σαν ένας νέος, εναλλακτικός τρόπος για την έμμεση αποθήκευση της προερχόμενης από στοχαστικά ΑΠΕ και δη φωτοβολταϊκά συστήματα, ηλεκτρικής ενέργειας<sup>65</sup>.

Τέλος, στα είδη των ΑΠΕ εντάσσεται και η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας, καθώς και η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας των υδάτινων στρωμάτων των ωκεανών.

## 2.4 Η ηλιακή ενέργεια στο στρατό

Κάθε μορφή εναλλακτικής ενέργειας γενικά και η ηλιακή ενέργεια, ειδικότερα, είναι πολύ ελκυστική για τις στρατιωτικές δραστηριότητες. Μειώνει την εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, τα οποία πρέπει να μεταφέρονται και να αποθηκεύονται, με αποτέλεσμα την συνεχή έκθεσή τους στον εχθρό.

Υπό αυτές τις συνθήκες, η ηλιακή ενέργεια, ιδιαίτερα η φωτοβολταϊκή ενέργεια, φαίνεται ιδιαίτερα ελκυστική, ως ο μερικός αντικαταστάτης των ορυκτών καυσίμων. Σίγουρα έχει το μειονέκτημα της καθημερινής ασυνέχειας, αλλά εάν υπάρχει επαρκής αποθήκευση, μπορεί να επιτευχθεί η εικοσιτετράωρη εξυπηρέτηση των βασικών φορτίων. Η αποθήκευση αυτή τη στιγμή είναι δαπανηρή, αλλά ας μην ξεχνάμε ότι ούτε η αποθήκευση και η μεταφορά των ορυκτών καυσίμων είναι φθηνή, συν το γεγονός ότι λίγες είναι οι χώρες που έχουν αυτάρκεια υδρογονανθράκων και ότι οι περισσότερες χώρες πρέπει να εισάγουν μικρότερο ή μεγαλύτερο κλάσμα του πετρελαίου και του άνθρακά τους.

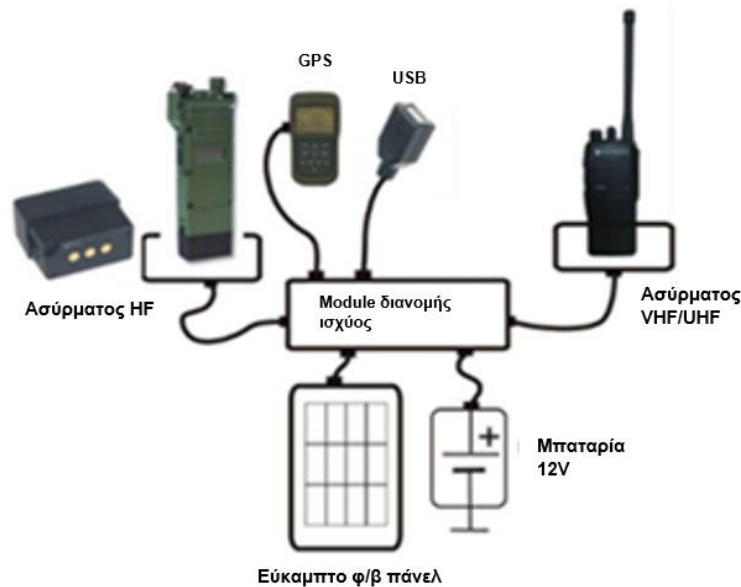
Η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο θεωρείται καθαρή, είναι ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Δεν υπόκειται στον έλεγχο κανενός και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, ο οποίος παρέχει ανεξαρτησία, αλλά και προβλεψιμότητα, όπως και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Ως εκ τούτου, η ηλιακή ενέργεια είναι χρήσιμη για τον στρατό, τόσο από οικονομική άποψη, όσο και από άποψη αυτάρκειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Τα περισσότερα όπλα αυτές τις μέρες αποτελούνται από

<sup>65</sup> [Ενέργεια&Πολίτης - Υδρογόνο \(cres.gr\)](http://www.cres.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Μικρό ή μεγάλο ποσοστό ηλεκτρονικών και χρειάζονται μπαταρίες για τη λειτουργία τους. Οι μπαταρίες είναι εγγενώς βαριές. Εάν ο μαχητής πρέπει να φέρει το βάρος των μπαταριών του, γιατί να μην μπορεί να φέρει ένα μικρό ηλιακό σύστημα, αρκετά ισχυρό, ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις ισχύος κατά τη διάρκεια των ηλιόλουστων περιόδων.



Εικόνα 2-8 Φορητή φωτοβολταϊκή μονάδα, για φόρτιση στρατιωτικών συσκευών ([mdpi.com](http://mdpi.com))

Με την ταχεία εξέλιξη των φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου, είναι δυνατή η ελαφριά, εύκαμπτη και πτυσσόμενη επένδυση, η οποία και θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως σκέπαστρο, για προστασία από τον ήλιο και τη βροχή.

Μικρά, ή μεγαλύτερα εποχούμενα τρέιλερ, που μπορούν να στηθούν σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες σε ηλεκτρική ισχύ, χωρίς το θερμικό και ακουστικό ίχνος ενός τυπικού συγκροτήματος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, με καύσιμο το πετρέλαιο.

Το κινητό μικροδίκτυο της σειράς T με μπαταρίες PHI έχει αποδειχθεί ότι παρέχει αξιόπιστη ισχύ για στρατιωτικές επιχειρήσεις - ακόμη και στα πιο σκληρά και απομακρυσμένα περιβάλλοντα<sup>66</sup> κατά την υπηρεσία του στον Αμερικανικό Στρατό. Τα ρυμουλκούμενα αυτά, παρέχουν στα φορτία τους κρίσιμη ισχύ αιχμής, σε συνδυασμό με αποθήκευση μεγάλης διάρκειας, σε ένα σύστημα το οποίο είναι κατάλληλο για την τροφοδοσία μονάδων στέγασης, τερματικών δορυφορικής ζεύξης, σταθμών όπλων, εξοπλισμού επιτήρησης και άλλων. Ανεξάρτητα από την τοποθεσία, η παροχή ασφαλούς

<sup>66</sup> [Trailer-Mounted Power Systems For Combat Operations | SimpliPhi Power](http://Trailer-Mounted Power Systems For Combat Operations | SimpliPhi Power)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

τακτικής ηλεκτρικής ενέργειας σε φυλάκια μάχης, όπου περιορίζεται η ενεργειακή ασφάλεια και είναι δυσχερής ο ανεφοδιασμός καυσίμων, είναι μείζονος σημασίας.



**Εικόνα 2-9 Φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος του στρατού των ΗΠΑ, τοποθετημένα σε ρυμουλκούμενα της σειράς T, για πολεμικές επιχειρήσεις [SimpliPhi Power](#)**

Η οικογένεια προϊόντων HEPS (Hybrid Electric Power Systems) της IDE<sup>67</sup> μπορεί να προσθέσει κινητικότητα, ενεργειακή ασφάλεια και αυξημένη διαθεσιμότητα σε σχεδόν οποιοδήποτε ηλεκτροκίνητο σύστημα, παρέχοντας ταυτόχρονα σημαντικά χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Οι Κινητοί Τακτικοί Υβριδικοί Σταθμοί συνδυάζουν γεννήτριες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μαζί με σύγχρονα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, υπό την επίβλεψη έξυπνων Συστημάτων Διαχείρισης Ισχύος.

Το σύστημα HEPS μπορεί να παρέχει, οικονομικά, αποδοτική σταθερή ισχύ σε κρίσιμες εγκαταστάσεις, καθώς και κινητή ισχύ για προωθημένες επιχειρησιακές βάσεις, ατύλακτους σταθμούς επικοινωνίας ή επιτήρησης, εκστρατευτικές επιχειρήσεις ή επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης και οπικά συστήματα στο πεδίο.



**Εικόνα 2-10 Το σύστημα HEPS της IDE [\(b-cdn.net\)](#)**

<sup>67</sup> [Tactical Hybrid Generators – INTRACOM DEFENSE](#)

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Φωτοβολταϊκά συστήματα**

Τα ηλιακά ή φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούν ειδικές διατάξεις ημιαγωγών στοιχείων για τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, σε ηλεκτρική ενέργεια. Η φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελείται από στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνήθως πυριτίου, στα οποία, όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνειά του, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο, προκαλώντας τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χαρακτηρίζονται από αθόρυβη λειτουργία, καλή αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Έχουν τη δυνατότητα επέκτασης, ανάλογα με τις ανάγκες, τη δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε συνδυασμό με κάποια τεχνολογία αποθήκευσης και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Είναι τα πιο ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας γύρω μας και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί, πια, την πλέον χρήσιμη μορφή ενέργειας. Μπορούν να τροφοδοτούν με ρεύμα μεγάλες καταναλώσεις, όπως ολόκληρα κτήρια, είναι ιδανικά για εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε περιοχές απομακρυσμένες από το δίκτυο ή ακόμη και σε περιοχές όπου ο Πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί μεγάλο κόστος για τη μεταφορά του ρεύματος (π.χ. απομονωμένες εγκαταστάσεις σε βουνά ή δύσβατες περιοχές).

Διακρίνονται σε τρία είδη, καθ' ένα απ' αυτά προορίζεται για διαφορετικού τύπου εφαρμογές. Υπάρχουν τα αυτόνομα, τα διασυνδεδεμένα και τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.

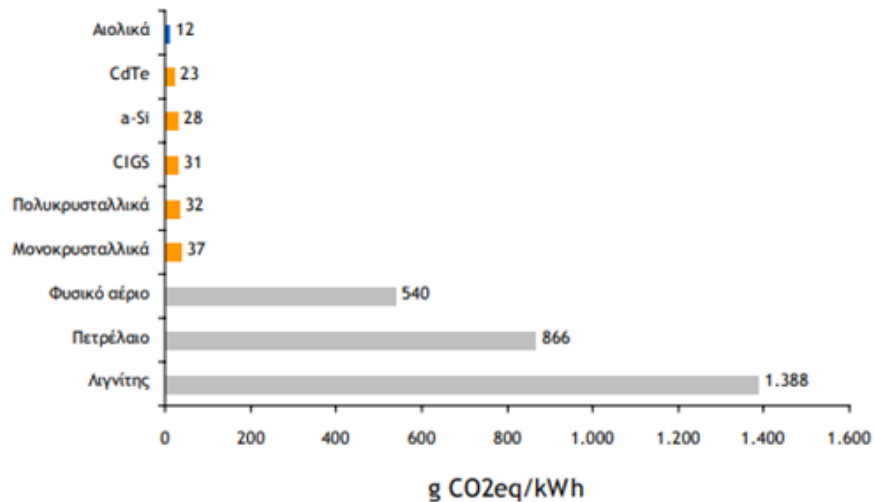
α) Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου για τη αποκλειστική χρήση γεννήτριας. Κυρίως συναντάμε τέτοια συστήματα σε αυτόνομες κατοικίες, σε εγκαταστάσεις άντλησης νερού για γεωργία και κτηνοτροφία, πολύ συχνά σε λύσεις για δημόσιο φωτισμό, φωτισμό πινακίδων, σε εφαρμογές που σχετίζονται με τηλεπικοινωνίες, όπως οι αναμεταδότες στα βουνά, αλλά ακόμα και σε εγκαταστάσεις τροφοδότησης απομακρυσμένων στρατιωτικών μονάδων.

β) Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα συστήματα αυτά βρίσκονται όχι μόνο σε απομακρυσμένες περιοχές όπου ήδη υπάρχει δίκτυο αλλά και στο τοπικό ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας, είναι διασυνδεδεμένα με αυτό, και αποτελούν μέρος του δικτύου.

γ) Υβριδικά συστήματα. Σε αυτά τα συστήματα, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, αποτελείται από συνδυασμούς διάφορων τύπων ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας, διαφορετικών κατά περίπτωση. Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων έναντι των συμβατικών, δεν μπορεί να αμφισβητηθούν.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμά, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αναλόγως του ενεργειακού μείγματός.



Εικόνα 3-1 Περιβαλλοντική αποτίμηση διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών [helapco.gr](http://helapco.gr)

Μία κιλοβατώρα παραγόμενη από φωτοβολταϊκά, αποτρέπει ετησίως την έκλυση στην ατμόσφαιρα 1300 κιλών CO<sub>2</sub>, εάν αυτά παράγονταν από λιγνίτη. Για να απορροφηθεί αυτή η ποσότητα, θα χρειαζόνταν περίπου εκατό δέντρα ή δύο στρέμματα δάσους. Επιπλέον, η αντικατάσταση των πιο ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκά συστήματα, συνεπάγεται εκπομπή λιγότερης ποσότητας άλλων επικίνδυνων ρύπων, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ. Άλλωστε, μολονότι η εκπομπή CO<sub>2</sub> πυροδοτεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου και επιταχύνει την κλιματική αλλαγή, στον αντίποδα, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει άμεσες και επιβλαβείς επιπτώσεις, τόσο στην υγεία, όσο και στο περιβάλλον<sup>68</sup>.

Με συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα των φωτοβολταϊκών, ο σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων αυτών και η ταυτόχρονη μείωση του κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε στο εγγύς μέλλον, τα φωτοβολταϊκά συστήματα να αποτελέσουν μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ενέργειας που άπλετα μας προσφέρει ο ήλιος.

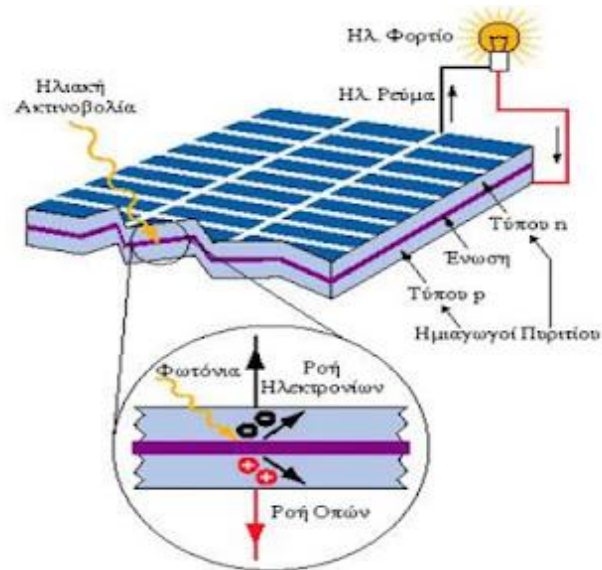
### 3.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας, ήταν γνωστή στον Άνθρωπο, από την αρχαιότητα, σε διάφορες εφαρμογές, σχετιζόμενες με την θερμότητα. Στα τέλη της τέταρτης δεκαετίας του

<sup>68</sup> [HELAPCO - Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών | Φωτοβολταϊκά και περιβάλλον](http://helapco.gr)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

19<sup>ο</sup> αιώνα, ο E. Becquerel, ήταν ο πρώτος που διαπίστωσε πως η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική, κάτι που ώθησε τους επιστήμονες, στα επόμενα χρόνια, να ασχοληθούν ενδελεχώς με τη φύση των υλικών και των διατάξεων, του φαινομένου, με τεράστια άλματα προόδου, οι οποίοι και εξακολουθούν ακόμα και σήμερα να εξελίξουν αυτό που σήμερα ονομάζουμε φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων, γεγονός που ονομάζεται φωτοβολταϊκή μετατροπή.



Εικόνα 3-2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [varnas-ete.gr](http://varnas-ete.gr)

Όλα τα φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από διαφορετικούς ημιαγωγούς, με τον έναν απ' αυτούς να τοποθετείται στην κορυφή του φωτοβολταϊκού, όπου προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία.

Έστω ότι έχουμε δύο στρώσεις ημιαγωγών τύπου p και n και ο ημιαγωγός τύπου p είναι αυτός που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Μέσω της επαφής p-n τα ηλεκτρόνια τύπου p αποκτούν τη δυνατότητα να κινηθούν προς τον αντίστοιχο τύπου n. Καθώς η διάταξη του ημιαγωγού εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία, κατάλληλης ενέργειας φωτόνια απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους και στη συνέχεια εντάσσονται στη ζώνη αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αντίστοιχου αριθμού οπών στη ζώνη σθένους. Έτσι, δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών, που ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ), το μέγεθος της οποίας είναι μεν μικρό για μικρής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερό για τιμές εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών κυψελών.

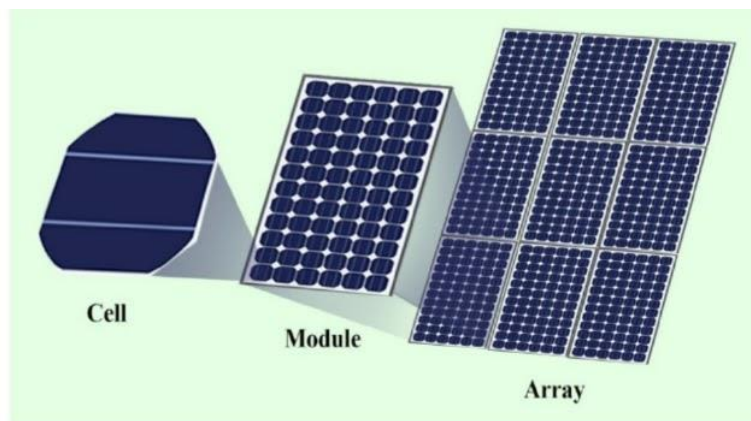
Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Κατά τη διάρκεια έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώνοντας με κατάλληλο αγωγό τις δύο πλάκες του στοιχείου (p-n) δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, αναπτύσσεται η κυκλοφορία ρεύματος ηλεκτρονίων διαμέσου της επιφάνειας επαφής, η οποία ένταση είναι σταθερή και ονομάζεται ρεύμα βραχυκυκλώσεως ( $I_{sc}$ ). Η ένταση του ρεύματος βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά, ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο και στην πρακτική εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου στηρίζεται η λειτουργία του συνόλου των φωτοβολταϊκών διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.2 Η ηλιακή γεννήτρια

Οι ηλιακές κυψέλες, όπως ονομάζονται τα φωτοβολταϊκά ημιαγωγά στοιχεία, μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, ως εφαρμογή του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το σύνολο των φωτοβολταϊκών κυψελών που συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους, σε πλαίσια και συστοιχίες, ονομάζεται φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



Εικόνα 3-3 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια [dailyissues3.com](http://dailyissues3.com)

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελεί το βασικότερο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος και συνοδεύεται από κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα για έλεγχο και διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και από σύστημα αποθήκευσης. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι συνεχούς τάσης και ανάλογα με την εφαρμογή μπορεί να αποθηκευτεί, για χρήση σε αργότερο χρόνο, αλλά και να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο, με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα.

### 3.3 Χαρακτηριστικά ηλιακού πάνελ

Από τεχνικής άποψης, με βάση τα υλικά και τον τρόπο κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά πάνελ χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες<sup>69</sup>:

α) Μονοκρυσταλλικά, με τις κυψέλες τους να είναι κατασκευασμένες από πολύ λεπτές φέτες καθαρού κρυσταλλου πυριτίου.

β) Πολυκρυσταλλικά, με τις κυψέλες τους να είναι κατασκευασμένες από λεπτές φέτες επεξεργασμένου πυριτίου

γ) Λεπτού υμενίου, που προκύπτουν από ποικίλες μεθόδους επεξεργασίας, όπως άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs).



Εικόνα 3-4 Τα κύρια είδη των φωτοβολταϊκών πάνελ [solarismypassion.com](http://solarismypassion.com)

Τα μονοκρυσταλλικά, θεωρούνται ανώτερης ποιότητας, με αποδόσεις πάνω από 20%, αλλά και τα πιο ακριβότερα. Τα πολυκρυσταλλικά, συνδυάζουν καλές αποδόσεις με οικονομία, σε σχέση με τα πρώτα, αν και τείνουν να τα ισοφαρίσουν. Τα λεπτού υμενίου, τέλος, έχουν χαμηλότερες αποδόσεις από τα κρυσταλλικά, αλλά μπορούν να κατασκευαστούν πιο εύκολα, οικονομικά, ακόμα και σε εύκαμπτη μορφή.

Η τεχνολογία heterojunction (HJT)<sup>70</sup>, μια όχι και τόσο νέα μέθοδος παραγωγής ηλιακών συλλεκτών, συνδυάζει τις καλύτερες ποιότητες κρυσταλλικού πυριτίου με εκείνες από λεπτό φιλμ άμορφου πυριτίου για να παράγει ένα υβριδικό κύτταρο υψηλής ισχύος που ξεπερνά την απόδοση των άλλων εμπορικών τεχνολογιών<sup>71</sup>. Τα ηλιακά κύτταρα HJT χρησιμοποιούν γενικά μια βάση κρυσταλλικού πυριτίου τύπου N υψηλής καθαρότητας με πρόσθετα στρώματα λεπτού υμενίου άμορφου πυριτίου εκατέρωθεν του κυττάρου σχηματίζοντας αυτό που είναι γνωστό ως ετεροεπίταση. Τα διαφορετικά φωτοβολταϊκά υλικά βοηθούν στην απορρόφηση περισσότερων φωτονίων και στη μείωση των απωλειών ανασυνδυασμού

<sup>69</sup> [Types of Solar Panels \(solarismypassion.com\)](http://Types of Solar Panels (solarismypassion.com))

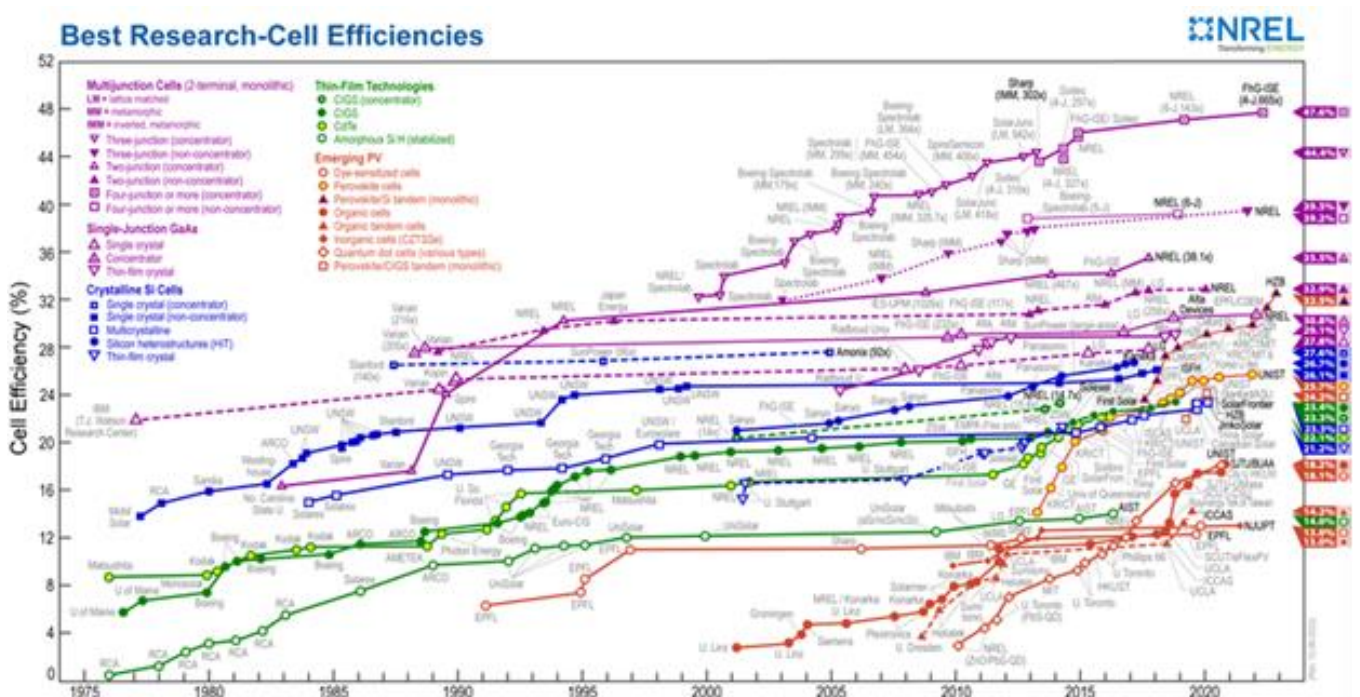
<sup>70</sup> [What are heterojunction technology \(HJT\) solar panels \(solarpowerworldonline.com\)](http://What are heterojunction technology (HJT) solar panels (solarpowerworldonline.com))

<sup>71</sup> [Record Efficiency for Thin-Film Polycrystalline Solar Cells Up to 22.9%\(researchgate.net\)](http://Record Efficiency for Thin-Film Polycrystalline Solar Cells Up to 22.9%(researchgate.net))



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ενισχύοντας έτσι τη συνολική απόδοση των κυττάρων. Τα τρέχοντα πάνελ HJT στην αγορά, επιτυγχάνουν αποτελεσματικότητα πάνελ έως και 21,9%. Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά των κυττάρων HJT είναι ο απίστευτα χαμηλός θερμοκρασιακός συντελεστής που είναι περίπου 0,26%/°C. Αυτό είναι περίπου 40% χαμηλότερο σε σύγκριση με τα κοινά μονοκρυσταλλικά κύτταρα. Καθώς η ισχύς εξόδου ηλιακού πάνελ τυποποιείται σε θερμοκρασία κυψέλης 25° C ή STC, κάθε βαθμός πιο πάνω, μειώνει ελαφρώς την ισχύ εξόδου. Στα κοινά πολυκύτταρα και μονοκρυσταλλικά κύτταρα, ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι περίπου 0,38% ανά °C<sup>72</sup>.



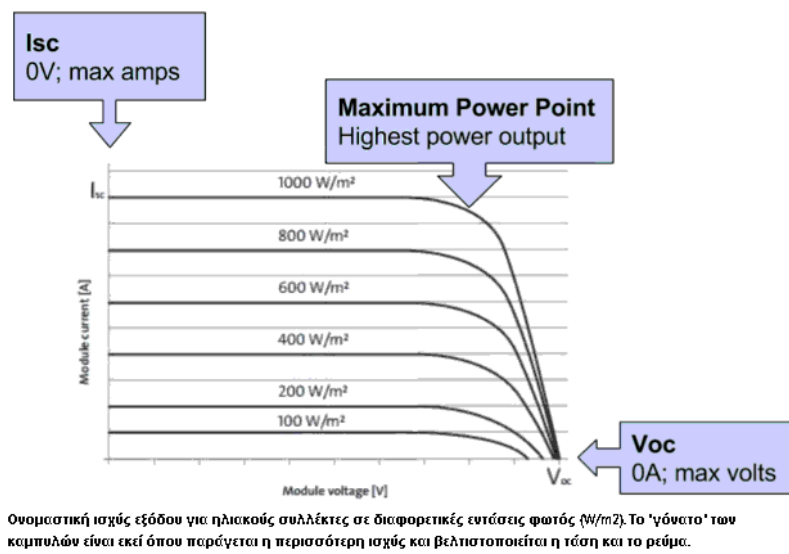
Εικόνα 3-5 Η εξέλιξη των εργαστηριακών αποδόσεων των φωτοβολταϊκών κυψελών τα τελευταία 50 χρόνια [researchgate.net](https://www.researchgate.net).

Δομικά, αποτελούνται από την φωτοβολταϊκή κυψέλη, η οποία είναι το στοιχείο που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται την ακτινοβολία του ήλιου. Η κυψέλη υπό ιδανικές συνθήκες παράγει τάση περίπου 0,5V. Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η απαιτούμενη ισχύς, οι κυψέλες έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν ηλεκτρικά μεταξύ τους είτε σε σειρά είτε παράλληλα, με σκοπό τα επιθυμητά μεγέθη τάσεως και ρεύματος. Έτσι, πολλές κυψέλες συνδεδεμένες κατάλληλα μεταξύ τους, απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Με τη σειρά τους, πολλά πλαίσια, συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους, απαρτίζουν

<sup>72</sup> [Solar PV cell construction — Clean Energy Reviews](https://www.researchgate.net/publication/312723127)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

την φωτοβολταϊκή συστοιχία. Οι συστοιχίες, συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους, απαρτίζουν τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



Εικόνα 3-6 Η επίδραση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ [altestore.com](http://altestore.com)

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, γενικότερα, εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τον προσανατολισμό τους και τη γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, πάντα, συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης, που σε μια ηλιόλουστη ημέρα μπορεί να φτάσει το  $1kW/m^2$ . Δυσμενής επίδραση στην απόδοση θα έχουν τυχόν σκιάσεις στα πάνελ, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα αυτή των πάνελ, καθώς η ρύπανση που ενδέχεται να υπάρχει πάνω στην γυάλινη επιφάνεια των πάνελ.

### 3.3.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Προκειμένου να έχουμε μια ποιοτική σύγκριση με ίσους όρους, έχει επικρατήσει η περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών και δη των ηλεκτρικών αποδόσεων, βάσει ενός κοινώς αποδεκτού προτύπου. Όλοι οι κατασκευαστές, παρουσιάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προϊόντων τους, μετρημένα σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (STC). Ο όρος STC (Standard Testing Conditions) υποδηλώνει τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, κάτω από τις οποίες μετρήθηκαν τα παρουσιαζόμενα μεγέθη. Οι συνθήκες STC αναφέρονται σε μετρήσεις που έχουν γίνει σε πάνελ τα οποία έχουν θερμοκρασία κυψέλης ίση με  $25^{\circ}C$ , η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου ισούται με  $1000W/m^2$  και η φασματική κατανομή AM ίση με 1,5.

Για πιο ρεαλιστική απεικόνιση των αποδόσεων, έχει υιοθετηθεί και ένα άλλο στάνταρ, η μέτρηση NOCT (Nominal Operating Cell Temperature), η οποία λαμβάνει υπόψη όχι τη



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

θερμοκρασία της κυψέλης, αλλά την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, στους 20°C, θεωρώντας πως τα φωτοβολταϊκά πάνελ ψύχονται από αυτόν τον αέρα ταχύτητας 3.6 km/h από την πίσω τους πλευρά. Ως ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου, η συνθήκη NOCT θεωρεί τα 800W/m<sup>2</sup>, όποτε και οι μετρούμενες αποδόσεις είναι εμφανώς χαμηλότερες των συνθηκών STC, πιο κοντά στην πραγματικότητα, όμως. Το NOCT είναι χρήσιμο για τη σύγκριση δύο πάνελ, με την ίδια βαθμολογία STC. Ένα πάνελ με υψηλότερη ονομαστική ισχύ στο NOCT, για παράδειγμα, θα θεωρείται, πρακτικά, ένα πάνελ υψηλότερης απόδοσης.

Με δεδομένες και υποχρεωτικά αναγραφόμενες, τις συνθήκες STC, τα κυριότερα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, είναι τα εξής:

- Η μέγιστη στιγμιαία ισχύς
- Η τάση  $V_{mp}$  και το ρεύμα  $I_{mp}$ , που αναφέρονται στην μέγιστη ισχύ
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$ , και το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$
- Η απόδοση της κυψέλης, που είναι το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας σε επίπεδο κυψέλης
- Η απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, που είναι το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας σε συνθήκες του πάνελ.
- Η απόκλιση ισχύος, που είναι το ποσοστό απόκλισης από την ονομαστική μέγιστη τιμή ισχύος
- Οι σχέσεις της θερμοκρασίας / ισχύος, τάσεως ή ρεύματος, που είναι η μεταβολή της ισχύος, της τάσεως ή του ρεύματος, αντίστοιχα, σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας
- Ο συντελεστής πλήρωσης Fill factor, που είναι ο λόγος που προκύπτει από τη σχέση:  
$$ff = P_{max} / (V_{oc} \cdot I_{sc})$$
- Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας της κυψέλης NOCT
- Το εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας της

### 3.3.2 Σύνδεση και προσανατολισμός

Ένα χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών γεννητριών, είναι η ευκολία σύνδεσης και επέκτασης, καθώς έχουν την ιδιότητα να μπορούν να αναπτυχθούν, σπονδυλωτά. Η αρχική σχεδίαση του συστήματος, μπορεί να αλλάξει, συνήθως με επέκτασή της, εφόσον οι

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

μελλοντικές ανάγκες το απαιτήσουν, απλά προσθέτοντας νέα πάνελ, με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά.

Η υλοποίηση της διαστασιολόγησης, γίνεται με την πρόσθεση πάνελ σε σειρά, με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής τάσης λειτουργίας, οπότε δημιουργείται ένα string και με την σύνδεση των string παράλληλα, με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής έντασης του ρεύματος, όπου δημιουργείται ένα array.

Ο τρόπος σύνδεσης των πάνελ μεταξύ τους, βασίζεται στη σχεδίαση της εγκατάστασης και συνάδει με τα επίπεδα τάσεως και ρεύματος που θα μπορούν να διαχειριστούν τα υπόλοιπα εξαρτήματα και διατάξεις επεξεργασίας της φωτοβολταϊκής ισχύος. Η εν σειρά σύνδεση των πάνελ, θα επιφέρει την πρόσθεση των ονομαστικών τάσεων κάθε ενός από τα επιμέρους πάνελ, με το επίπεδο ρεύματος να παραμένει το ίδιο. Απαραίτητη προϋπόθεση, τα πάνελ να είναι ιδίων χαρακτηριστικών τάσεως και ρεύματος. Έχοντας πετύχει την απαραίτητη τάση, έχουμε δημιουργήσει ένα φωτοβολταϊκό string. Η επίτευξη του ρεύματος, θα γίνει με την σύνδεση τόσων string παράλληλα, όσων χρειάζεται για να πετύχουμε το επιθυμητό ρεύμα.

Τα επίπεδα τάσεως και ρεύματος που δημιουργούνται, θα είναι αυτά που μπορεί να διαχειριστεί ο ελεγκτής φόρτισης, αν έχουμε αυτόνομο σύστημα, ή ο αντιστροφέας, σε διασυνδεδεμένο. Προτιμητέα, σε τεχνικώς εφικτά πλαίσια, είναι η διατήρηση όσο το δυνατόν χαμηλών ρευμάτων, προς αποφυγή απωλειών σχετιζόμενες με φαινόμενα Joule, στους αγωγούς μεταφοράς.

Ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών γεννητριών, καθώς και η εύρεση της ιδανικής γωνίας κλίσης, είναι δυο απλές, αλλά άκρως σημαντικές διαδικασίες, οι οποίες και θα μας καθορίσουν, εν τέλει, την απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Για να επιτευχθεί ο μεγαλύτερος βαθμός εκμετάλλευσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, δηλαδή να γίνει η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων, οι ακτίνες του ηλίου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ, άρα η κλίση των συλλεκτών να είναι κάθετη στις ηλιακές ακτίνες. Καθώς η γη γυρίζει, η θέση που έχει ο ήλιος μεταβάλλεται, από την ανατολή έως και τη δύση του. Επειδή η συνεχής παρακολούθηση της πορείας του ήλιου, με τη χρήση tracker, δεν είναι οικονομικά αποδοτική, αλλά ούτε και τεχνικά εφικτή για περιπτώσεις μικρών εγκαταστάσεων σε ταράτσες, όπως και στην περίπτωσή μας, οπότε επιλέγεται μια βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

		Απώλεια ακτινοβολίας (%) συγκριτικά με το ετήσιο μέγιστο									
Κλίση Φ/Β Πάνελ (μοίρες)	90°	41.7	42.5	41.0	41.2	40.3	41.1	41.4	43.5	45.3	48.3
	80°	30.7	30.6	30.6	30.6	31.1	31.9	33.5	35.6	38.2	41.5
	70°	20.6	20.7	20.9	21.5	22.4	23.9	25.9	28.4	31.6	35.3
	60°	12.2	12.4	12.9	13.7	15.1	16.9	19.2	22.2	25.6	29.4
	50°	5.7	6.1	6.5	7.8	9.2	11.2	13.9	16.7	20.1	24.0
	40°	1.6	1.8	2.6	3.6	5.2	7.3	9.6	12.5	15.7	19.3
	30°	0.0	0.1	0.7	1.8	3.2	5.0	7.1	9.6	12.3	15.3
	20°	0.7	0.8	1.3	2.1	3.2	4.6	6.2	8.0	10.1	12.2
	10°	3.8	3.9	4.2	4.6	5.3	6.1	6.9	7.9	9.0	10.1
	0°	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Αζιμούθιο (μοίρες)	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°	

Εικόνα 3-7 Η επίδραση του προσανατολισμού στην απόδοση των φ/β πάνελ ([energypress.gr](http://energypress.gr))

Στο Βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του είναι από 10°-30° με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την χώρα μας, η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται με νότιο προσανατολισμό και κλίση πάνελ περίπου 28°. Η χρήση γωνιών κλίσης άνω των 10°-15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από ρύπους, γύρη και σκόνη, μέσω της βροχής<sup>73</sup>.

### 3.4 Το Αυτόνομο Σύστημα

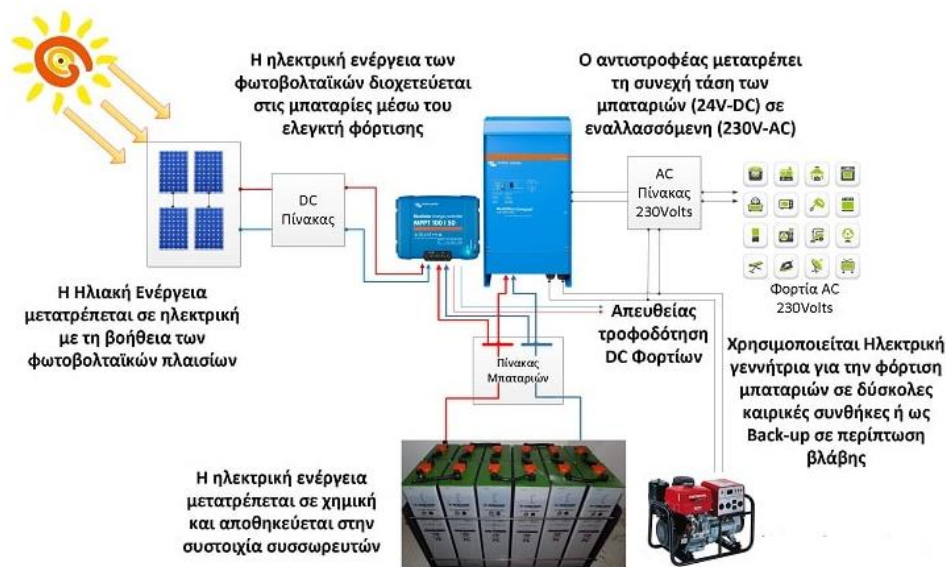
Με σωστό υπολογισμό της αναγκαίας σε αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να καλύψει ακόμα και μόνιμες εγκαταστάσεις, για απεξάρτηση από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από:

- α) Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, για την μετατροπή της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.
- β) Τη διάταξη του ελεγκτή φόρτισης, λειτουργίας PWM ή MPPT, ο οποίος και βελτιστοποιεί την προσαρμογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων με το σύστημα αποθήκευσης
- γ) Τις μπαταρίες, μέσω των οποίων θα γίνεται η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- δ) Από τον μετατροπέα DC-AC, ο οποίος και θα μετατρέπει τη συνεχή τάση του συστήματος σε εναλλασσόμενη, για τις ανάγκες των συσκευών που δουλεύουν με AC τάση.
- ε) Από τη γεννήτρια παροχής ηλεκτρικής ισχύος, σε περίπτωση μη επαρκούς κάλυψης των φορτίων από το φωτοβολταϊκό σύστημα.
- στ) Από τα καλώδια διασύνδεσης, το ασφαλειοδιακοπτικό υλικό και τις συσκευές ελέγχου και επιτήρησης του αυτόνομου συστήματος.

<sup>73</sup> [Φωτοβολταϊκά με απλά Λόγια | MP-Energy](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 3-8 Ένα αυτόνομο σύστημα με εφεδρική γεννήτρια. Μp Energy

### 3.4.1 Ελεγκτές φόρτισης

Ο ρυθμιστής ή ελεγκτής φόρτισης, είναι από τα πιο κρίσιμα μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Σκοπός του είναι να προσαρμόσει την αντίσταση που έχει να αντιμετωπίσει η φωτοβολταϊκή πηγή, όντας συνδεδεμένη στο φορτίο της. Η χρήση του προσβλέπει στην ομαλή και ασφαλής φόρτιση των μπαταριών που αποτελούν το σύστημα αποθήκευσης.

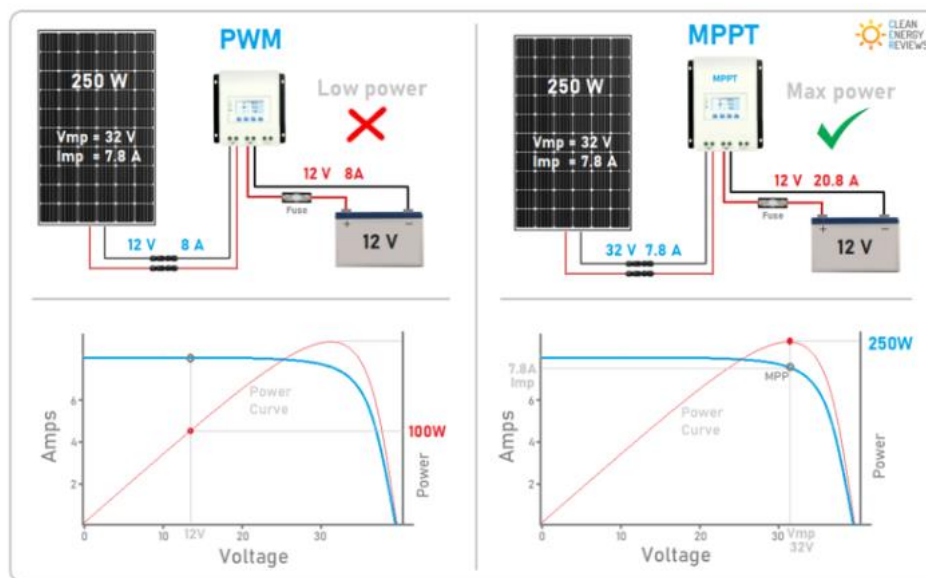


Εικόνα 3-9 Μια πλήρης σειρά ελεγκτών φόρτισης της Victron squarespace-cdn.com

Επιβλέπει την στάθμη της τάσης που έχουν οι μπαταρίες ανά πάσα στιγμή, περιορίζοντας το ρεύμα φόρτισης καθώς αυτές γεμίζουν, προστατεύοντάς τις από τους κινδύνους της υπερφόρτισης. Αναλόγως την σχεδίαση και την τεχνολογία του, ο ελεγκτής μπορεί και να προσαρμόζει την είσοδό του, έτσι ώστε η φωτοβολταϊκή συστοιχία να εργάζεται πάντα στο

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

σημείο της μέγιστης ισχύος της. Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Τους ελεγκτές τεχνολογίας PWM και τους ελεγκτές τεχνολογίας MPPT.



Εικόνα 3-10 Σύγκριση ελεγκτών PWM και MPPT [Clean Energy Reviews](#)

Οι ελεγκτές PWM, δρουν ουσιαστικά ως ένας ηλιακός φορτιστής μπαταριών. Η μονάδα φόρτισης περιλαμβάνει έναν DC/DC μετατροπέα ελεγχόμενο από διαμορφωμένου εύρους/πλάτους παλμούς (μέθοδος PWM) και φίλτρα εισόδου-εξόδου. Αυτοί οι παλμοί παράγονται από την μονάδα ελέγχου, η οποία αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή.

Ο αλγόριθμος βάσει του οποίου βασίζεται η λειτουργία, είναι το να αυξάνει τους παλμούς που δίνει ο μικροεπεξεργαστής μέχρι η μπαταρία να φορτίσει ολοκληρωτικά (bulk mode). Έπειτα το PWM μειώνεται σταδιακά, ώστε να αποφευχθεί η υπερφόρτιση της μπαταρίας (absorption mode). Ο αλγόριθμος ελέγχει συνεχώς την τάση της μπαταρίας έτσι ώστε αν αυτά μειωθεί, να αυξήσει άμεσα το PWM, ακολουθώντας την διαδικασία από την αρχή. Η κατάσταση κατά την οποία το PWM αυξομειώνεται συνεχώς με μικρό βήμα, έτσι ώστε η τάση της μπαταρίας να παραμένει σταθερή στο επιθυμητό επίπεδο, ονομάζεται float mode. Έτσι ο αλγόριθμος, αν και προσπαθεί να φτάσει στην επιθυμητή τάση, δεν λαμβάνει υπόψη εάν χρησιμοποιεί τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να αποδώσει το φωτοβολταϊκό, συνεπώς υπάρχουν απώλειες ενέργειας.

Ο ρυθμιστής τεχνολογίας MPPT, είναι ένας «έξυπνος» μετατροπέας DC/DC, όπου η ισχύς στην είσοδό του θα ισούται με την ισχύ στην έξοδο, προσαρμόζοντας τα επίπεδα τάσης της ηλιακής γεννήτριας με αυτά των μπαταριών. Ο αλγόριθμος βάσει του οποίου βασίζεται η λειτουργία του ρυθμιστή MPPT, πραγματοποιεί γρήγορες ενέργειες υπολογισμών στην είσοδό του, έτσι ώστε να βρίσκει την ανά πάσα στιγμή μέγιστη τάση και το μέγιστο ρεύμα

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

λειτουργίας των πάνελ, τα οποία συνεχώς αλλάζουν και κυμαίνονται ανάλογα τις συνθήκες έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως και της θερμοκρασίας, έτσι ώστε να τροφοδοτεί τις μπαταρίες με την ανά πάσα στιγμή μέγιστη διαθέσιμη ισχύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας<sup>74</sup>.

Προκειμένου να προστατεύσει την συστοιχία μπαταριών, ένας ελεγκτής – φορτιστής, μπορεί ακόμα και να διακόψει την σύνδεσή της με το σύστημα, όταν κρίνει ότι οι συνθήκες φόρτισής η εκφόρτισης είναι τέτοιες ώστε να κινδυνεύει με καταστροφή, αλλά και να αναλάβει την τροφοδότηση μικρών καταναλώσεων, απευθείας, χωρίς την παρεμβολή των μπαταριών.

### 3.4.2 Αντιστροφείς

Η συσκευή αυτή, είναι ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, είτε αυτή είναι διασυνδεδεμένη με το δίκτυο, είτε αυτή είναι αυτόνομη. Λειτουργία της είναι η μετατροπή του συνεχούς (DC) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC), έτσι ώστε να γίνει η διασύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο, στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου, ενώ στο αυτόνομο, προκειμένου να μπορέσουν να εξυπηρετηθούν οι καταναλώσεις των συσκευών που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Οι αντιστροφείς των αυτόνομων συστημάτων είναι, συνήθως, μονοφασικοί, αν και για μεγάλες εγκατεστημένες ισχύες, όπως και στην συντριπτική πλειονότητα των διασυνδεδεμένων συστημάτων, χρησιμοποιούνται τριφασικοί. Η ισχύς τους καθορίζεται από το μέγεθος του Φ/Β συστήματος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός αντιστροφέα είναι η τάση εισόδου, η οποία είναι και η τάση της αποθηκευτικής συστοιχίας των μπαταριών, η ισχύς του, η απόδοσή του, η μορφή και η ποιότητα της αποδιδόμενης εναλλασσόμενης τάσης. Η απόδοσή του που κυμαίνεται μεταξύ του 80 και 95%. Η μορφή της εναλλασσόμενης τάσης, μπορεί να είναι τετραγωνική, ή τροποποιημένο ημίτονο, ή καθαρό ημίτονο, ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των συσκευών που θα εξυπηρετεί.



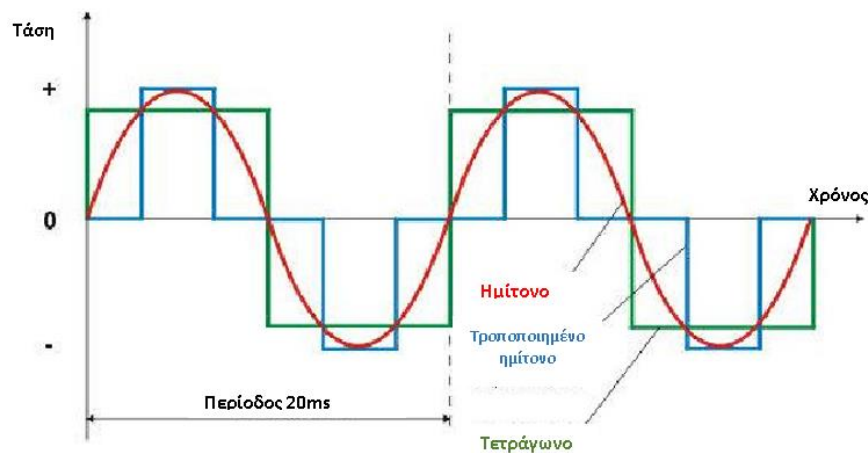
Εικόνα 3-11 Αντιστροφέας τροποποιημένου ημιτόνου ([gopowersolar.com](http://gopowersolar.com))

<sup>74</sup> [MPPT Solar Charge Controllers — Clean Energy Reviews](#)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η έξοδος ενός αντιστροφέα τετραγώνου είναι ένας τετραγωνικός παλμός συχνότητας των 50 Hz, όσο και η συχνότητα του δικτύου της ΔΕΗ. Με έναν τέτοιο μετατροπέα, όμως, δεν μπορούμε να τροφοδοτούμε όλες τις συσκευές. Μπορούμε να τροφοδοτήσουμε λάμπες πυρακτώσεως, συσκευές θέρμανσης με ωμικές αντιστάσεις, καθώς και τις περισσότερες συσκευές που χρησιμοποιούν παλμοτροφοδοτικά, όπως οι υπολογιστές και οι τηλεοράσεις. Δεν μπορούμε να τροφοδοτήσουμε συσκευές που χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για τον υποβιβασμό τάσης, καθώς και κινητήρες.



Εικόνα 3-12 Οι κυματομορφές εξόδου των 3 μετατροπέων [divasomarine.com](http://divasomarine.com)

Συγκριτικά με τον τετραγωνικό παλμό, το τροποποιημένο ημίτονο ομοιάζει περισσότερο με το καθαρό ημίτονο, με αποτέλεσμα μικρότερη, σχετικά, αρμονική παραμόρφωση, απόδοση και συμπεριφορά, πάντως, όπως και ο αντιστροφέας τετραγώνου, εξακολουθεί να μας περιορίζει στις συσκευές που μπορούμε να τροφοδοτήσουμε.



Εικόνα 3-13 Inverter καθαρού ημιτόνου Victron ([frenchman-energy.eu](http://frenchman-energy.eu))

Οι αντιστροφείς καθαρού ημιτόνου, όπως φανερώνει και οι ονομασίες τους παράγουν στην έξοδο καθαρό ημίτονο των 50 Hz. Είναι ποιοτικά ανώτεροι έναντι των άλλων δύο τύπων

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

αντιστροφών και μπορούν να τροφοδοτήσουν οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή που μπαίνει σε οικιακή πρίζα. Η κατασκευή τους είναι γενικά πιο περίπλοκη από των άλλων δύο τύπων και κοστίζουν περισσότερο<sup>75</sup>. Στα σύγχρονα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, επιλέγουμε μόνο αντιστροφέα καθαρού ημιτόνου, είτε απλό, είτε συνδυασμένο αντιστροφέα/φορτιστή, ακόμα και συνδυασμένο αντιστροφέα/φορτιστή/ελεγκτή φόρτισης ΜΡΡΤ.

---

<sup>75</sup> [inverters \(divasomarine.com\)](http://divasomarine.com)



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Αποθήκευση Ενέργειας**

Θεμελιώδες χαρακτηριστικό του τρόπου λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι η στοχαστικότητα. Δηλαδή, η ισχύς παράγεται μόνο όταν υπάρχει διαθέσιμο επαρκές ηλιακό φως, άρα μπορεί να περιοριστεί ή να διακοπεί χωρίς προειδοποίηση, ανά πάσα στιγμή. Για τα αμιγώς ηλιακά συστήματα, στα οποία τα φωτοβολταϊκά είναι η μοναδική πηγή παραγωγής, συνήθως απαιτείται κάποια μορφή αποθήκευσης, καθώς η ακριβής αντιστοίχιση μεταξύ του διαθέσιμου ηλιακού φωτός και του φορτίου περιορίζεται σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

Μακράν, ο πιο συνηθισμένος τύπος αποθήκευσης είναι αυτός της χημικής αποθήκευσης, με τη μορφή μπαταριών. Σε ορισμένες εφαρμογές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μορφές αποθήκευσης, όπως ένας σφόνδυλος ή πυκνωτές, όπως και η δυναμική αποθήκευση του νερού, σε μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές, όπως η αντλησιοταμίευση.

Ενώ η κύρια λειτουργία ενός συστήματος αποθήκευσης είναι να παρέχει ενέργεια όταν το ηλιακό φως δεν είναι διαθέσιμο, αυξάνοντας έτσι το κλάσμα του χρόνου που το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει ηλεκτρική ενέργεια, η ύπαρξη των μπαταριών εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς.

Για συστήματα μικρής ισχύος, τα οποία μπορεί να αποτελούνται από ένα ή δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι μπαταρίες μπορούν να λειτουργήσουν ως σύστημα αντιστοίχισης του φορτίου. Σε φωτοβολταϊκά συστήματα που εξυπηρετούν φορτίο με μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, όπως έναν κινητήρα, οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή αυτού του αρχικού ρεύματος εκκίνησης.

Σε διασυνδεδεμένα συστήματα, η αποθήκευση μπαταρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετατόπιση αιχμής, στην οποία η ισχύς που παράγεται από τον ήλιο, αποθηκεύεται για αρκετές ώρες, προκειμένου να αποδοθεί στο δίκτυο, αργότερα, όταν υπάρχει αιχμή ζήτησης.

Σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα που περιλαμβάνει μπαταρίες, αυτές αποτελούν καίριο απάρτιο του συνολικού συστήματος και επηρεάζουν σημαντικά το κόστος, τις απαιτήσεις συντήρησης, την αξιοπιστία και τον εν γένει σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος.

### **4.1 Ιστορική αναδρομή**

Οι A. Volta και L. Galvani, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ήταν οι πρώτοι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με την μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Αυτοί οι δύο πρωτοπόροι Ιταλοί επιστήμονες, έμειναν στη ιστορία και προς τιμήν τους, οι λέξεις όπως "γαλβανικό στοιχείο" και "βολτ", φέρουν τα ονόματά τους.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Ο Volta εισήγαγε τις έννοιες του δυναμικού και της ηλεκτρικής χωρητικότητας. Εφηύρε το 1801, μια μορφή ηλεκτρικής μπαταρίας, τη βολταϊκή στήλη. Προς τιμή του, το 1881, η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα έδωσε την ονομασία Volt στη μονάδα μέτρησης της τάσεως. Ο Γερμανός φυσικός J. W. Ritter, το 1803 παρουσίασε πρώτος τα στοιχεία που αποτελούσαν μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία και ήταν ένας από τους πρώτους που αναγνώρισε την πόλωση (+ και -).

Ο Άγγλος χημικός, J. F. Daniell το 1836, βελτίωσε την αποδοτικότητα του σχεδιασμού του Volta αναπτύσσοντας έναν τρόπο να αποφευχθούν τα προβλήματα διάβρωσης των μπαταριών του Volta και ανέπτυξε την κλασική μορφή του απλού, μη επαναφορτιζόμενου στοιχείου. ο 1854, ο W. J. Sinsteden, εφηύρε και κατασκεύασε την πρώτη μπαταρία μολύβδου-οξέος, την οποία βελτίωσε κατασκευαστικά ο G. R. Planté, ώστε να γίνει το 1860 το πρώτο εμπορικά βιώσιμο προϊόν. Ο Γάλλος χημικός μηχανικός C. A. Faure το 1881 βελτίωσε το σχεδιασμό της μπαταρίας μολύβδου-οξέος του Planté, αυξάνοντας σημαντικά την ικανότητα αυτών των μπαταριών και οδήγησαν απευθείας στην κατασκευή τους σε βιομηχανική κλίμακα. Αυτό ήταν ένα σημαντικό βήμα που οδήγησε στη βιομηχανική κατασκευή μπαταριών μολύβδου-οξέος, μέθοδος που χρησιμοποιείται έως και σήμερα στις μπαταρίες αυτοκινήτων, με βελτιώσεις κυρίως της σύνθεσης του οξειδίου και της κατασκευαστικής δομής των πλακών για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και καλύτερη ροή του ρεύματος.

Το 1886, ο C. Gassner απέκτησε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το ξηρό στοιχείο του 1,5V, το οποίο βελτιωμένο από την εταιρία National Carbon Co το 1896, βγήκε σε μαζική παραγωγή ως μπαταρία Columbia, ήταν δε η πρώτη εύχρηστη μπαταρία, που έκανε τις φορητές ηλεκτρονικές συσκευές περισσότερο πρακτικές. Ο συσσωρευτής ψευδαργύρου-άνθρακα, όπως ονομάζεται, συνεχίζει να κατασκευάζεται ακόμα και σήμερα. Το 1888, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες της γερμανικής AFA, τροφοδοτούν το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Την ίδια εποχή, ιδρύεται στην Αμερική, η εταιρεία Helios Electric Co, αργότερα γνωστή ως Philco (Philadelphia Storage Battery Co), που ήταν πρωτοπόρος στην παραγωγή μπαταριών και συσκευών ραδιοφώνου και τηλεόρασης. Στη Βόρεια Αμερική, το σήμα Philco ανήκε στην Philips, ενώ σε άλλες αγορές, το σήμα Philco International ανήκε στην Electrolux. Το 1888, επίσης, ιδρύεται η εταιρία Electric Storage Battery, πρόγονος της Exide.

Το 1899, μια συστοιχία μπαταριών της εταιρείας Electric Storage Battery, παρείχε την ηλεκτρική ισχύ για το υποβρύχιο USS Holland και η εταιρεία παρέμεινε σημαντικός προμηθευτής μπαταριών για τα υποβρύχια του Αμερικανικού ναυτικού, τουλάχιστον μέχρι το τέλος του Β' Π.Π. Την ίδια χρονιά ο E. W. Jungner, επινόησε την πρώτη μπαταρία Ni-Cd, η οποία διατέθηκε στην αγορά για πρώτη φορά στη Σουηδία το 1910, ενώ στην Αμερική έφτασε

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

πολύ αργότερα, το 1946. Σήμερα η εταιρεία που συνέστησε τότε ο Jungner, ονομάζεται Saft AB και κατασκευάζει κορυφαίας ποιότητας μπαταρίες Ni-Cd.

Το 1900, η εταιρεία Electric Storage Battery Co, ανέπτυξε μία μπαταρία μεγαλύτερης χωρητικότητας, που έκανε χρήση ενός νέου τύπου οξειδίου στις πλάκες και είχε μικρότερο βάρος, για τα ηλεκτρικά ταξί. Ήταν η πρώτη που ονομαζόταν Exide, προερχόμενο από τη συντόμευση του «excellent oxide». Το 1920, ιδρύεται η εταιρεία P.R. Mallory Co, η οποία αργότερα δημιούργησε το σήμα Duracell. Η εταιρεία, κατασκεύαζε μπαταρίες υδραργύρου (με το σήμα Mallory) για στρατιωτικό εξοπλισμό, υπερσκελίζοντας τις μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα, οι οποίες χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε σε όλες, σχεδόν, τις εφαρμογές.

Ακολουθεί μια φρενήρης εξέλιξη των μπαταριών μολύβδου οξέος, με σκοπό την βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, ιδιαίτερα για τις αυξημένες ανάγκες του Β' Π.Π. Το 1947 έκανε την εμφάνισή της η μπαταρία νικελίου-καδμίου όπως την ξέρουμε σήμερα, όταν ο G. Neumann πέτυχε το αεροστεγές σφράγισμα του στοιχείου της μπαταρίας. Για πολλά χρόνια, η μπαταρία NiCd ήταν η μόνη επαναφορτιζόμενη μπαταρία για χρήση σε φορητές εφαρμογές.

Το 1950 ξεκίνησε η παραγωγή μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης Deep Cycle, για αντίστοιχες εφαρμογές και την ίδια χρονιά παράγεται και η πρώτη δωδεκάβολτη μπαταρία για να ικανοποιήσει τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες των τότε αυτοκινήτων. Το 1957, ο Γερμανός O. Jache, που εργαζόταν για τον κατασκευαστή μπαταριών Accumulatorenfabrik Sonnenschein GmbH, τελειοποιεί την μπαταρία GEL και η εταιρία ξεκινά την βιομηχανική παραγωγή δίβολτων στοιχείων και μονομπλόκ μπαταριών. Το 1959, οι πρώτες εμπορικά βιώσιμες κυλινδρικές αλκαλικές μπαταρίες, φέρνουν την επανάσταση στη φορητή ενέργεια.

Το 1964 αρχίζουν να διατίθενται στην αγορά, από την εταιρεία P.R. Mallory Co, οι πρώτες αλκαλικές μπαταρίες με το σήμα Duracell, που έως το 1980, έφεραν παράλληλα και το σήμα Mallory. Το όνομα Duracell, που μεταφράζεται ως «ανθεκτικό στοιχείο», προήλθε από την συντομογραφία του ονόματος μιας νέας μπαταρίας, που είχε στοιχείο χαλκού και ονομάστηκε Durable Cell. Το 1966, η εταιρεία Delco, παρουσίασε την μπαταρία Energizer, που ήταν η πρώτη που αντικατέστησε το περίβλημα της μπαταρίας από καουτσούκ σε πλαστικό και επέβαλλε το ενιαίο καπάκι κολλημένο στο πάνω μέρος σε κενό αέρος (vacuum sealed Energizer), που περιελάμβανε υγρόμετρο Delco Eye σε ένα από τα 6 στοιχεία, το λεγόμενο ματάκι, για την επίβλεψη της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας και παρείχε 16% περισσότερη ισχύ σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα μπαταριών.

Το 1970 άρχισε η κατασκευή της πρώτης ερμητικά κλειστής μπαταρίας απορροφημένου ηλεκτρολύτη τύπου AGM VRLA (Absorbed Glass Mat - Valve Regulated).

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Το 1980, ο Αμερικανός χημικός J. B. Goodenough και ο ερευνητής R. Yazami επινόησαν την μπαταρία λιθίου, χρησιμοποιώντας το οξείδιο λιθίου-κοβαλτίου και γραφίτη. Το 1985, ομάδα ερευνητών υπό τον Akira Yoshino, κατασκευάζει το πρώτο πρότυπο της μπαταρίας ιόντων λιθίου (Li-ion), μία επαναφορτιζόμενη και περισσότερο σταθερή εκδοχή της μπαταρίας λιθίου. Το 1989 εμφανίστηκε η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη αλκαλική μπαταρία AAA και το ίδιο έτος παρουσιάζεται η πρώτη μπαταρία (Ni-MH) νικελίου υδριδίου του μετάλλου.

Το 1991 η Sony έβγαλε στην αγορά την πρώτη μπαταρία ιόντων λιθίου. Αυτός ο τύπος μπαταριών, σήμερα, βρίσκει εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα, στους φορητούς Η/Υ, στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και σε πολλές ιατρικές συσκευές, ενώ εξελιγμένες μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα ηλεκτρικά οχήματα. Οι περισσότερες ερευνητικές δραστηριότητες, σήμερα, σχετίζονται με τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της οικογένειας των μπαταριών λιθίου, ειδικά για τις μεταφορές. Το 1992 εμφανίστηκε πρώτη μπαταρία λιθίου AA στον κόσμο, με τη μεγαλύτερη διάρκεια για χρήση σε συσκευές υψηλής τεχνολογίας. Το 1997 κυκλοφόρησαν οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου Li-Po με ηλεκτρολύτες από πολυμερή, οι οποίες έχουν τους ηλεκτρολύτες τους σε στερεό σύνθετο πολυμερές αντί σε υγρό διαλύτη, μπορούν να φτιαχτούν σε μεγέθη που ταιριάζουν σε κάθε συσκευή και έχουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, συγκριτικά με τις απλές μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτά τα πλεονεκτήματα, τις καθιστούν ιδανικές για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, καθώς επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία σχεδίασης και πιο συμπαγή σχεδιασμό.

Το 2000 εμφανίστηκε η πρώτη αλκαλική μπαταρία με τεχνολογία τιτανίου, εξαιρετική ισχύ και αξιοπιστία. Το 2003 εμφανίστηκε η πρώτη μπαταρία λιθίου AAA. Το 2007, η Toshiba παρουσιάζει την πρώτη μπαταρία Li-ion με εφαρμογή στο χώρο του αυτοκινήτου.

Το 2010, παρουσιάστηκε η πρώτη βιομηχανοποιημένη παραγωγής μπαταρία αυτοκινήτου ιόντων λιθίου για την Porsche 911 GT3 RS. Το 2019, οι J. B. Goodenough, M. S. Whittingham και Akira Yoshino, τιμήθηκαν με το Βραβείο Νόμπελ Χημείας, για την συμβολή τους στην ανάπτυξη των μπαταριών ιόντων λιθίου<sup>76</sup>.

## 4.2 Τεχνολογίες και χαρακτηριστικά μπαταριών

Η μπαταρία, αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια, με χημικό τρόπο. Μετατρέπει την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς ενός υλικού σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω ενός συνόλου αντιδράσεων οξειδωσης / αναγωγής, κατά τις οποίες, ένα

<sup>76</sup> [Ιστορία της Μπαταρίας - Amperorio](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ηλεκτρόνιο είτε απαιτείται, είτε παράγεται, από τη χημική αντίδραση. Η διαδικασία μπορεί να είναι μονόδρομη, οπότε έχουμε τις πρωτογενείς μπαταρίες, της λεγόμενες μιας χρήσης, ή μπορεί να είναι αμφίδρομη, οπότε έχουμε τις δευτερεύουσες μπαταρίες, ή αλλιώς επαναφορτιζόμενες.

Τα βασικά μέρη που καθορίζουν πολλές από τις ιδιότητες της μπαταρίας είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το ηλεκτρόδιο και τον ηλεκτρολύτη τόσο για τις αντιδράσεις οξειδωσης όσο και για τις αντιδράσεις αναγωγής. Το ρεύμα στην μπαταρία προκύπτει από τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, η αντίδραση οξειδωσης στην άνοδο παράγει ηλεκτρόνια και η αντίδραση αναγωγής στην κάθοδο χρησιμοποιεί αυτά τα ηλεκτρόνια και επομένως κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, τα ηλεκτρόνια ρέουν από την άνοδο στην κάθοδο. Τα ηλεκτρόνια που παράγονται ή χρησιμοποιούνται στην οξειδοαναγωγική αντίδραση μπορούν εύκολα να μεταφερθούν μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσω συμβατικής ηλεκτρικής σύνδεσης, όπως ένα καλώδιο συνδεδεμένο στην άνοδο και την κάθοδο.

Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όλες οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι επαναφορτιζόμενες ή δευτερεύουσες μπαταρίες. Κύρια παραδείγματα δευτερευουσών μπαταριών είναι οι μπαταρίες μολύβδου οξέος και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Άλλες βασικές ιδιότητες της μπαταρίας, όπως η χωρητικότητα της μπαταρίας, η απόδοση φόρτισης / αποφόρτισης και άλλα πρακτικά ζητήματα, επηρεάζονται επίσης και από τη φυσική διαμόρφωση της μπαταρίας, για παράδειγμα την ποσότητα υλικού στην μπαταρία ή τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων.

Η χρήση των μπαταριών στα φωτοβολταϊκά συστήματα διαφέρει άρδην από τη χρήση μπαταριών σε άλλες, κοινές, εφαρμογές. Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα βασικά τεχνικά ζητήματα είναι η απαίτηση για μεγάλη διάρκεια ζωής, υπό συνθήκες σχεδόν πλήρους εκφόρτισης. Οι εφαρμογές γενικής χρήσης επαναφορτιζόμενων μπαταριών, δεν αντιμετωπίζουν τόσο βαθείς κύκλους εκφόρτισης, ούτε και παραμονή σε χαμηλές καταστάσεις φόρτισης για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, όπως αντιμετωπίζουν οι μπαταρίες για χρήση στα φωτοβολταϊκά. Αντιθέτως, στις μπαταρίες για την εκκίνηση αυτοκινήτων ή γενικά κινητήρων, η μπαταρία αντιμετωπίζει μεγάλη, σύντομη όμως, εξάντληση ρεύματος, αλλά από την άλλη, βρίσκεται σε πλήρη φόρτιση για το μεγαλύτερο μέρος της ζωής της. Ομοίως, οι μπαταρίες σε αδιάλειπτα τροφοδοτικά UPS, οι οποίες και διατηρούνται σε πλήρη φόρτιση για το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους. Για τις δε μπαταρίες ηλεκτρονικών ευρείας κατανάλωσης, το βάρος ή το μέγεθος είναι συχνά το πιο σημαντικό ζήτημα.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Θεμελιώδες χαρακτηριστικό μιας μπαταρίας, είναι η τάση, η οποία μετράται σε Volts. Καθορίζεται από τη σχεδίασή της και την τεχνολογία της. Εξαρτάται δε, από τις χημικές αντιδράσεις, τις συγκεντρώσεις των ενεργών υλικών της μπαταρίας και την πόλωση της μπαταρίας. Η τάση που υπολογίζεται από κανονικές συνθήκες ισορροπίας είναι συνήθως γνωστή ως ονομαστική τάση μπαταρίας. Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό δυναμικό από τις περισσότερες χημικές αντιδράσεις είναι της τάξης των 2V, ενώ η τάση που απαιτείται από τα φορτία είναι συνήθως μεγαλύτερη, στις περισσότερες μπαταρίες, πολλά μεμονωμένα στοιχεία μπαταρίας συνδέονται σε σειρά. Για παράδειγμα, στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, κάθε κυψέλη έχει τάση περίπου 2V και έξι κυψέλες συνδέονται σε σειρά, για να σχηματίσουν μια τυπική δωδεκάβολτη μπαταρία. Σε πολλούς τύπους μπαταριών, η μπαταρία δεν μπορεί να αποφορτιστεί κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο, καθώς ενδέχεται να της προκληθεί μόνιμη ζημιά. Αυτή η τάση ονομάζεται «τάση διακοπής» και εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας, τη θερμοκρασία της και τον ρυθμό εκφόρτισης της μπαταρίας.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι ένα μέτρο που αναφέρεται στην ποσότητα φόρτισης ή αλλιώς την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία. Η θεμελιώδης μονάδα χωρητικότητας της μπαταρίας είναι το coulomb (C), αν και η πιο ευρείας χρήσης μονάδα είναι τα Αμπερώρια (Ah).

$$Amps = C / \text{χρόνος}$$

$$Ah = C / \text{χρόνος (sec)} \times \text{χρόνος (ώρες)}.$$

Δεδομένου ότι η κύρια λειτουργία μιας μπαταρίας είναι η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και όχι ηλεκτρικής φόρτισης, η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας μιας μπαταρίας είναι επίσης μια βασική παράμετρος, η οποία και προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την χωρητικότητα Ah με την ονομαστική τάση της μπαταρίας, έτσι ώστε:

$$Energy\ capacity = Ah \times Voltage.$$

Μονάδες μέτρησης της αποθηκευμένης ενέργειας είναι τα Wh, με τα πολλαπλάσιά τους. Η ενεργειακή πυκνότητα είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται κυρίως για τη σύγκριση ενός τύπου συστήματος μπαταριών με έναν άλλο και είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας διαιρούμενη είτε με το βάρος της μπαταρίας, είτε με τον όγκο της. Μια μπαταρία με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα θα είναι ελαφρύτερη από μια μπαταρία παρόμοιας χωρητικότητας με χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα.

Στα στρατιωτικά φορητά συστήματα, η ενεργειακή πυκνότητα είναι μια κρίσιμη παράμετρος, αλλά στα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα που παρέχουν ισχύ σε ένα σταθερό αντικείμενο, η ενεργειακή πυκνότητα μπορεί να είναι λιγότερο σημαντική. Ωστόσο,

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

καθώς στις στρατιωτικές εφαρμογές, το κόστος μεταφοράς μπαταριών σε απομακρυσμένες τοποθεσίες είναι σημαντικά υψηλό, εξυπακούεται ότι μια μπαταρία υψηλής ενεργειακής πυκνότητας είναι συνήθως ένα πλεονέκτημα. Η πυκνότητα ισχύος μιας μπαταρίας σχετίζεται με την ενεργειακή της πυκνότητα, καθώς και με την ικανότητα της μπαταρίας να αποφορτίζεται γρήγορα. Ενώ η πυκνότητα ισχύος είναι σημαντική σε ορισμένες εφαρμογές, ιδιαίτερα στις μεταφορές, συνήθως δεν είναι κρίσιμη σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η απόδοση της μπαταρίας, είναι η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από μια μπαταρία σε σχέση με την ποσότητα ενέργειας που έχει τοποθετηθεί σε αυτήν. Η κουλομβική<sup>77</sup> απόδοση είναι ο λόγος του συνολικού φορτίου που εξάγεται από την μπαταρία προς το συνολικό φορτίο που τοποθετείται στην μπαταρία σε έναν πλήρη κύκλο. Όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός κουλομβικής απόδοσης, τόσο χαμηλότερη είναι η απώλεια ηλεκτρονίων και τόσο μεγαλύτερη είναι η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες Li-ion έχουν μία από τις υψηλότερες κουλομβικές αποδόσεις σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, που υπερβαίνει το 99%, υπό ήπιες συνθήκες ρεύματος φόρτισης και θερμοκρασίας. Οι μπαταρίες μολύβδου έχουν χαμηλότερο βαθμό, περίπου 90%, και οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο είναι ακόμα χαμηλότερες και κυμαίνονται από 70 έως 90%<sup>78</sup>.

Στην πράξη, οι πραγματικές δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας διαφέρουν σημαντικά από την ονομαστική χωρητικότητα, καθώς η χωρητικότητα της μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία και το ιστορικό της μπαταρίας, όπως και από τα καθεστώτα φόρτισης ή αποφόρτισης της μπαταρίας, καθώς και από τη θερμοκρασία.

Ο ρυθμός φόρτισης/αποφόρτισης επηρεάζει σημαντικά την πλήρη εκμετάλλευση της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας. Εάν η μπαταρία αποφορτίζεται πολύ γρήγορα δηλαδή, το ρεύμα εκφόρτισης είναι υψηλό, τότε η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από την μπαταρία μειώνεται και η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι χαμηλότερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα απαραίτητα χημικά συστατικά που μετέχουν στις αντιδράσεις, δεν έχουν αρκετό χρόνο για να μετουσιωθούν, ένα μόνο κλάσμα των συνολικών αντιδρώντων προλαβαίνει και μετατρέπεται σε άλλες μορφές, επομένως η διαθέσιμη ενέργεια μειώνεται. Εναλλακτικά, από μια μπαταρία που αποφορτίζεται με πολύ αργό ρυθμό αποδίδοντας χαμηλό ρεύμα, μπορεί να εξαχθεί περισσότερη ενέργεια και η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι υψηλότερη. Επομένως, για να γνωρίζουμε την χωρητικότητα πρέπει να ξέρουμε και το ρυθμό φόρτισης / εκφόρτισης.

<sup>77</sup> [Coulombic Efficiency Demystified | QuantumScape](#)

<sup>78</sup> [Coulombic and Energy Efficiency - Battery University](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η θερμοκρασία μιας μπαταρίας θα επηρεάσει επίσης την ενέργεια που μπορεί να εξαχθεί από αυτήν. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι συνήθως υψηλότερη από ότι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ωστόσο, η σκόπιμη αύξηση της θερμοκρασίας της μπαταρίας δεν είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας, καθώς αυτό μειώνει, επίσης, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Η ηλικία και το ιστορικό της μπαταρίας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη χωρητικότητα μιας μπαταρίας. Ακόμη και όταν ακολουθούνται οι προδιαγραφές του κατασκευαστή στο DOD, η χωρητικότητα της μπαταρίας θα παραμείνει κοντά στην ονομαστική χωρητικότητά της για όχι περιορισμένο αριθμό κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης. Το ιστορικό της μπαταρίας έχει επιπλέον αντίκτυπο στη χωρητικότητα, καθώς εάν η μπαταρία έχει λειτουργήσει συχνά κάτω από το μέγιστο DOD της, τότε η χωρητικότητά της μπορεί να έχει μειωθεί πρόωρα και ο ονομαστικός αριθμός κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης ενδέχεται να μην είναι εφικτός.

Καθώς η κύρια λειτουργία της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι να παρέχει ενέργεια στο φορτίο όταν οι πηγές παραγωγής δεν είναι διαθέσιμες, ως εκ τούτου, οι μπαταρίες σε φωτοβολταϊκά συστήματα ενδέχεται να αντιμετωπίζουν συνεχείς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Όλες οι παράμετροι της μπαταρίας επηρεάζονται από τον κύκλο φόρτισης και επαναφόρτισης της μπαταρίας.

Μια βασική παράμετρος μιας μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας (SOC). Το SOC ορίζεται ως το κλάσμα της συνολικής ενέργειας ή χωρητικότητας μπαταρίας που έχει χρησιμοποιηθεί πάνω από το συνολικό διαθέσιμο από την μπαταρία. Ένας συνηθισμένος τρόπος μέτρησης του SOC είναι η μέτρηση της τάσης της μπαταρίας και η σύγκρισή της με την τάση μιας πλήρως φορτισμένης μπαταρίας. Ωστόσο, καθώς η τάση της μπαταρίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία καθώς και από την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, αυτή η μέτρηση παρέχει μόνο μια γενική ιδέα της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας.

Σε πολλούς τύπους μπαταριών, όλη η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί στο έπακρο, δηλαδή η μπαταρία δεν μπορεί να αποφορτιστεί πλήρως, χωρίς αυτό να προκαλέσει σοβαρή και συχνά ανεπανόρθωτη ζημιά στην ίδια την μπαταρία. Το βάθος εκφόρτισης (DOD) είναι το κλάσμα της χωρητικότητας της μπαταρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αυτήν και καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα, μια μπαταρία 200 Ah με DOD 25% μπορεί να παρέχει μόνο  $200\text{Ah} \times 0.25 = 50 \text{ Ah}$ .

Ένας συνηθισμένος τρόπος προσδιορισμού της χωρητικότητας μιας μπαταρίας είναι η παροχή της χωρητικότητας της μπαταρίας ως συνάρτηση του χρόνου κατά τον οποίο απαιτείται για την πλήρη αποφόρτιση της μπαταρίας, αν και πρακτικά, η μπαταρία στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν μπορεί να αποφορτιστεί πλήρως. Ο συμβολισμός για τον



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

καθορισμό της χωρητικότητας της μπαταρίας με αυτόν τον τρόπο γράφεται ως  $Cx'$ , όπου  $x'$  είναι ο χρόνος σε ώρες που χρειάζεται για την αποφόρτιση της μπαταρίας.  $C10 = y'$  σημαίνει ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι  $y'$  όταν η μπαταρία αποφορτιστεί σε 10 ώρες. Όταν αυτός ο ρυθμός αποφόρτισης μειωθεί κατά το ήμισυ, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την αποφόρτιση της μπαταρίας διπλασιάζεται στις 20 ώρες, η χωρητικότητα της μπαταρίας αυξάνεται στο  $z'$ . Ο ρυθμός εκφόρτισης κατά την αποφόρτιση της μπαταρίας σε 10 ώρες βρίσκεται διαιρώντας την χωρητικότητα με το χρόνο. Επομένως, το  $C / 10$  είναι ο ρυθμός φόρτισης. Αυτό συνήθως αναγράφεται ως  $0.1C$ .

Ο ρυθμός φόρτισης, σε αμπέρ, δίνεται στην ποσότητα φόρτισης που μπορεί να δεχθεί η μπαταρία ανά μονάδα χρόνου. Ο ρυθμός φόρτισης /εκφόρτισης μπορεί να καθοριστεί απευθείας δίνοντας το ρεύμα, οπότε για παράδειγμα, μια μπαταρία μπορεί να φορτιστεί / αποφορτιστεί στα 10 Α. Ωστόσο, είναι πιο συνηθισμένο να καθοριστεί ο ρυθμός φόρτισης / αποφόρτισης καθορίζοντας το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την πλήρη αποφόρτιση της μπαταρίας. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ρυθμός εκφόρτισης δίνεται από την χωρητικότητα της μπαταρίας (σε Ah) διαιρούμενη με τον αριθμό των ωρών που απαιτούνται για τη φόρτιση / αποφόρτιση της μπαταρίας. Για παράδειγμα, μια μπαταρία χωρητικότητας 200 Ah που θεωρητικά αποφορτίζεται στην τάση διακοπής της σε 20 ώρες θα έχει ρυθμό εκφόρτισης  $200 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 10 \text{ A}$ .

Κάθε τύπος μπαταρίας έχει ένα συγκεκριμένο σύνολο περιορισμών και συνθηκών που σχετίζονται με τα καθεστάτα φόρτισης και εκφόρτισης και πολλοί τύποι μπαταριών απαιτούν συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ή ελεγκτές φόρτισης. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες νικελίου καδμίου πρέπει να αποφορτίζονται σχεδόν πλήρως, πριν από την επόμενη φόρτιση, ενώ οι μπαταρίες μολύβδου οξέος δεν πρέπει ποτέ να αποφορτίζονται πλήρως. Επιπλέον, τα επίπεδα της τάσης και του ρεύματος κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης είναι διαφορετικά για κάθε τύπο μπαταρίας. Συνήθως, ένας φορτιστής μπαταρίας ή ένας ελεγκτής φόρτισης που έχει σχεδιαστεί για έναν τύπο μπαταρίας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με άλλο τύπο, ή θα πρέπει να προγραμματιστεί για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας.

Η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας μπορεί να καθοριστεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την εφαρμογή. Για εφαρμογές στις οποίες η μπαταρία φορτίζεται και αποφορτίζεται τακτικά, όπως στα φωτοβολταϊκά συστήματα, το καταλληλότερο μέτρο υπολογισμού της διάρκειας ζωής της, είναι ο αριθμός των κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης κατά τους οποίους η μπαταρία διατηρεί ένα δεδομένο κλάσμα της χωρητικότητάς της, οπότε είναι πρακτικά ακόμα χρησιμοποιήσιμη. Ωστόσο, σε συστήματα που δεν αντιμετωπίζουν συχνά κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης (όπως σε αδιάλειπτα τροφοδοτικά), η διάρκεια ζωής της μπαταρίας καθορίζεται πιο κατάλληλα σε χρόνια. Η ακατάλληλη χρήση της μπαταρίας μπορεί

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

να επιταχύνει σημαντικά τη γήρανσή της, μειώνοντας περαιτέρω, τον αριθμό των κύκλων κατά τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η αυτοεκφόρτιση αναφέρεται στο γεγονός ότι ακόμη και αν δεν υπάρχει συνδεδεμένο φορτίο, η αντίδραση εκφόρτισης θα προχωρήσει, σε περιορισμένο βαθμό, επομένως η μπαταρία θα τείνει να αποφορτιστεί, με την πάροδο του χρόνου. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης εξαρτάται, κυρίως, από τα υλικά που εμπλέκονται στη χημική αντίδραση, δηλαδή από τον τύπο της και από τη θερμοκρασία της.

Η μέγιστη ποσότητα ρεύματος που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία για σύντομο χρονικό διάστημα ονομάζεται ψυχρό ρεύμα εκκίνησης. Αυτή η παράμετρος καθορίζεται συχνά για εφαρμογές μεταφοράς, στις οποίες η μπαταρία πρέπει να παρέχει αρκετό ρεύμα για να ξεκινήσει ένας μεγάλος κινητήρας. Ωστόσο, συνήθως δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ο τύπος της μπαταρίας που χρησιμοποιείται, έχει σημαντικό αντίκτυπο στις απαιτήσεις συντήρησης της μπαταρίας. Ορισμένοι τύποι αντιδράσεων, εκλύουν αέρια και άλλα προϊόντα που αλλάζουν τις εντάσεις των εξαρτημάτων της μπαταρίας. Σε περιπτώσεις στις οποίες αλλάζει ο όγκος μιας μπαταρίας, είναι πιο δύσκολο αυτή να σφραγιστεί, οπότε θα πρέπει να προστεθούν ορισμένα χημικά συστατικά, συνήθως νερό, για να αντισταθμιστεί η έκλυση των αερίων. Μια ερμητικά σφραγισμένη μπαταρία δεν ανταλλάσσει υλικά με το περιβάλλον της, οπότε θα έχει χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης από μια μπαταρία στην οποία τα διάφορα στοιχεία της μπαταρίας αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον. Σχεδόν όλες οι μικρές κοινές πρωτογενείς μπαταρίες είναι ερμητικά σφραγισμένες και δεν απαιτούν συντήρηση, σε αντίθεση με πολλές δευτερεύουσες μπαταρίες, ιδιαίτερα τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, που απαιτούν αυστηρό πρόγραμμα συντήρησης.

Μια μπαταρία μπορεί να υποβαθμιστεί ή μπορεί να αστοχήσει, καταστροφικά. Οι τρόποι είναι: βραχυκυκλώματα, υποβάθμιση υλικού ηλεκτροδίων, πάγωμα, αύξηση της αντίστασης.

Τα περισσότερα συστήματα μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιέχουν διαβρωτικές ή επικίνδυνες χημικές ουσίες και οι κανονισμοί ασφαλείας για κάθε τύπο μπαταρίας πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά. Οι μπαταρίες είναι δυνητικά επικίνδυνες και οι χρήστες πρέπει να γνωρίζουν τους κύριους κινδύνους. Το θειικό οξύ στον ηλεκτρολύτη είναι διαβρωτικό. Η προστατευτική ενδυμασία εκτός από την προστασία των ποδιών και των ματιών είναι απαραίτητη κατά την εργασία με μπαταρίες. Οι μπαταρίες έχουν ικανότητα παραγωγής υψηλού ρεύματος. Εάν ένα μεταλλικό αντικείμενο πέσει κατά λάθος στους ακροδέκτες μιας μπαταρίας, τα υψηλά ρεύματα μπορούν να ρέουν μέσω αυτού του αντικειμένου. Η παρουσία

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

περιττών μεταλλικών αντικειμένων (π.χ. κοσμήματα) θα πρέπει να ελαχιστοποιείται κατά την εργασία με μπαταρίες και τα εργαλεία θα πρέπει να έχουν μονωμένες λαβές.

Οι μπαταρίες δεν πρέπει να απορρίπτονται, καθώς οι περισσότερες μπαταρίες περιέχουν τοξικά ή και διαβρωτικά υλικά, παρά να οδηγούνται σε ειδικά σημεία συλλογής, προς ανακύκλωση.

#### 4.2.1 Συνήθεις τύποι μπαταριών

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά είναι μολύβδου-θειικού οξέος, βαθιάς εκφόρτισης. Η σχέση τιμής / απόδοσης είναι αυτή που επιβάλλει την κυριαρχία τους. Στο άμεσο μέλλον, όμως, οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών τεχνολογίας λιθίου, με πολλά πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό βάρος, οι πολυάριθμοι κύκλοι ζωής κλπ, θα δώσουν μια μεγάλη ώθηση στη σχεδίαση των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων με μπαταρίες. Αυτή τη στιγμή, το αρκετά υψηλό τους κόστος, τις καθιστούν μη ελκυστική επιλογή για μεγάλα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.



Εικόνα 4-1 Μπαταρίες λιθίου και μπαταρίες μολύβδου-οξέος για φωτοβολταϊκά Clean Energy Reviews

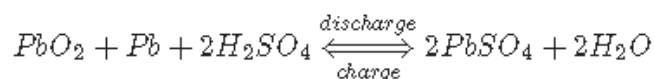
Ανάλογα με την εφαρμογή, ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει μπαταρίες φωτοβολταϊκών μεταξύ ανοιχτού ή κλειστού τύπου. Οι ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών, συγκριτικά με τις μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν το μειονέκτημα της αυξημένης συντήρησης, η οποία συνίσταται σε περιοδικό έλεγχο της στάθμης των υγρών, αλλά με παρόμοιο κόστος προσφέρουν υψηλότερη αποθηκευμένη ενέργεια, για περισσότερους κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης, καθώς και ισχυρότερη αντοχή σε βαθιές εκφορτίσεις. Οι κλειστού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών AGM, GEL, VRLA, μπαταρίες λιθίου, επιλέγονται κυρίως όταν τοποθετούνται σε κινούμενες κατασκευές, όπως σκάφη και τροχόσπιτα ή σε μη καλά αεριζόμενους χώρους<sup>79</sup>.

<sup>79</sup> [Μπαταρίες φωτοβολταϊκών - Τιμές - Διαθεσιμότητα \(mp-energy.gr\)](http://mp-energy.gr)

#### 4.2.2 Μόλυβδος

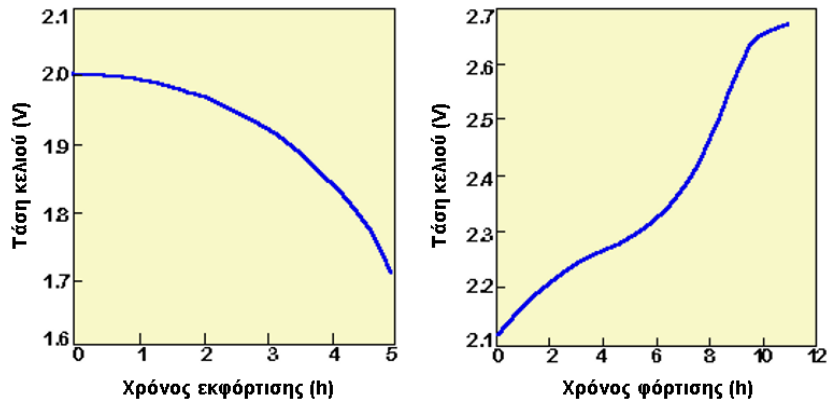
Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος μπαταρίας σε χρήση για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Παρ' όλο που οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, μέτρια απόδοση και υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, έχουν επίσης την ικανότητα να προσφέρουν μεγάλα αρχικά ρεύματα εκκίνησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ χαμηλό κόστος, σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Ένα από τα μοναδικά πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-οξέος είναι ότι είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή μπαταρίας για τις περισσότερες εφαρμογές επαναφορτιζόμενων μπαταριών, όπως για παράδειγμα, στην εκκίνηση κινητήρων αυτοκινήτων και επομένως έχουν μια καθιερωμένη, ώριμη τεχνολογική βάση.

Μια μπαταρία μολύβδου οξέος αποτελείται από ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από σπογγώδη ή πορώδη μόλυβδο. Ο η κατασκευή του ηλεκτροδίου είναι πορώδης για να διευκολύνει το σχηματισμό και τη διάλυση του μολύβδου. Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από οξειδίο του μολύβδου. Και τα δύο ηλεκτρόδια βυθίζονται σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα θεικού οξέος και νερού. Σε περίπτωση που τα ηλεκτρόδια έρθουν σε επαφή μεταξύ τους μέσω φυσικής κίνησης της μπαταρίας ή μέσω αλλαγών στο πάχος των ηλεκτροδίων, μια ηλεκτρικά μονωτική, αλλά χημικά διαπερατή μεμβράνη χωρίζει τα δύο ηλεκτρόδια. Αυτή η μεμβράνη εμποδίζει επίσης το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα μέσω του ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποθηκεύουν ενέργεια με την παρακάτω αναστρέψιμη χημική αντίδραση.



Η εκφόρτιση μιας μπαταρίας προκαλεί το σχηματισμό κρυστάλλων θεικού μολύβδου τόσο στους αρνητικούς όσο και στους θετικούς ακροδέκτες, καθώς και την απελευθέρωση ηλεκτρονίων λόγω της αλλαγής του φορτίου σθένους του μολύβδου. Ο σχηματισμός αυτού του θεικού μολύβδου χρησιμοποιεί θεικό άλας από τον ηλεκτρολύτη θεικού οξέος που περιβάλλει την μπαταρία. Ως αποτέλεσμα, ο ηλεκτρολύτης γίνεται λιγότερο πυκνός. Μεταξύ των πλήρως αποφορτισμένων και φορτισμένων καταστάσεων, μια μπαταρία μολύβδου-οξέος θα εμφανίσει σταδιακή μείωση της τάσης της. Το επίπεδο της τάσης χρησιμοποιείται, συνήθως, για να υποδείξει την κατάσταση φόρτισης μιας μπαταρίας. Η εξάρτηση του επιπέδου της τάσης της μπαταρίας από την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4-2.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 4-2 Η συμπεριφορά της τάσης του κελιού κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση PVEducation

Εάν η μπαταρία παραμείνει σε χαμηλές καταστάσεις φόρτισης για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, μπορούν να αναπτυχθούν μεγάλοι κρύσταλλοι θεϊκού μολύβδου, γεγονός που μειώνει μόνιμα τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Αυτοί οι μεγαλύτεροι κρύσταλλοι είναι διαφορετικοί από την τυπική πορώδη δομή του ηλεκτροδίου μολύβδου και είναι δύσκολο να μετατραπούν ξανά σε μολύβδο. Η αντίδραση φόρτισης μετατρέπει το θεϊκό μολύβδο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο σε μολύβδο. Στον θετικό ακροδέκτη η αντίδραση μετατρέπει τον μολύβδο σε οξείδιο του μολύβδου. Ως υποπροϊόν αυτής της αντίδρασης, εκλύεται υδρογόνο.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους του κύκλου φόρτισης, η μετατροπή του θεϊκού μολύβδου σε μολύβδο και οξείδιο του μολύβδου είναι η κυρίαρχη αντίδραση. Ωστόσο, καθώς η φόρτιση προχωρά και το μεγαλύτερο μέρος του θεϊκού μολύβδου μετατρέπεται είτε σε μολύβδο είτε σε διοξείδιο του μολύβδου, το ρεύμα φόρτισης ηλεκτρολύει το νερό από τον ηλεκτρολύτη και τόσο το υδρογόνο όσο και το αέριο οξυγόνο εξελίσσονται, μια διαδικασία γνωστή ως "βράσιμο" της μπαταρίας.

Εάν παρέχεται ρεύμα στην μπαταρία γρηγορότερα από ότι μπορεί να μετατραπεί θεϊκό μολύβδο, τότε αρχίζει η «βράση» πριν μετατραπεί όλο το θεϊκό μολύβδο, δηλαδή πριν φορτιστεί πλήρως η μπαταρία. Η «βράση» εισάγει πολλά προβλήματα σε μια μπαταρία μολύβδου οξέος. Όχι μόνο εγείρει ανησυχίες για την ασφάλεια, λόγω της εκρηκτικής φύσης του παραγόμενου υδρογόνου, αλλά μειώνει επίσης το νερό στην μπαταρία, η οποία πρέπει να αντικατασταθεί χειροκίνητα, εισάγοντας ένα στοιχείο συντήρησης στο σύστημα. Επιπλέον, η «βράση» μπορεί να προκαλέσει την αποβολή ενεργού υλικού από τον ηλεκτρολύτη, μειώνοντας έτσι μόνιμα την χωρητικότητα της μπαταρίας. Για αυτούς τους λόγους, η μπαταρία δεν πρέπει να φορτίζεται τακτικά πάνω από την τάση που προκαλεί αέρια. Η τάση «βρασίματος» αλλάζει με το ρυθμό φόρτισης.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**Εικόνα 4-3** Σειρά μπαταριών μολύβδου-οξέος για αποθήκευση ενέργειας της Sunlight ([the-sunlight-group.com](http://the-sunlight-group.com))

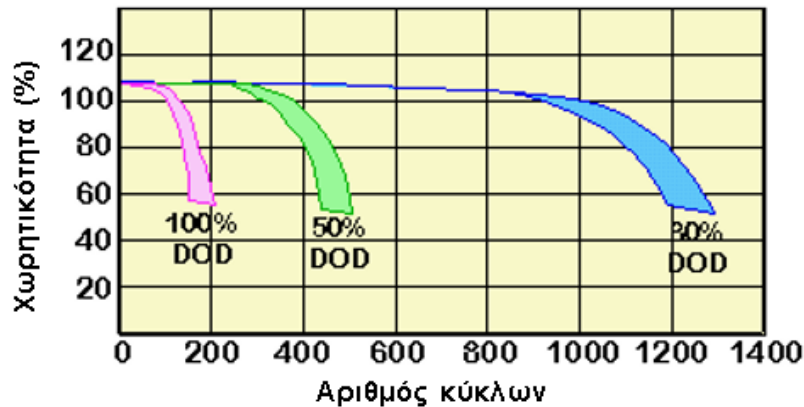
Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χαρακτηρίζονται είτε ως μπαταρίες βαθέως κύκλου, είτε ως μπαταρίες ρηχού κύκλου. Μια μπαταρία βαθέως κύκλου θα έχει βάθος εκφόρτισης μεγαλύτερο από 50% και μπορεί να φτάσει το 80%. Για να επιτευχθεί η ίδια χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητα, μια συστοιχία μπαταριών ρηχού κύκλου, θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα από μια συστοιχία μπαταριών βαθέως κύκλου.

Με την πάροδο του χρόνου, η χωρητικότητα της μπαταρίας μειώνεται λόγω θείκωσης της μπαταρίας και της αποβολής ενεργού υλικού. Η υποβάθμιση της χωρητικότητας της μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αλληλεξάρτηση μεταξύ των ακόλουθων παραμέτρων:

- το καθεστώς φόρτισης/αποφόρτισης που έχει υποστεί η μπαταρία
- το DOD της μπαταρίας κατά τη διάρκεια ζωής της
- την έκθεσή του σε παρατεταμένες περιόδους χαμηλής φόρτισης
- τη μέση θερμοκρασία της μπαταρίας κατά τη διάρκεια ζωής της

Στην επόμενη εικόνα 4-4, το γράφημα δείχνει την εξέλιξη της λειτουργίας της μπαταρίας σε συνάρτηση του αριθμού των κύκλων και του βάθους εκφόρτισης, για μια μπαταρία μολύβδου-οξέος ρηχού κύκλου.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 4-4 Σχέση μεταξύ χωρητικότητας μπαταρίας, βάθους εκφόρτισης και διάρκειας ζωής για μπαταρία ρηχού κύκλου PVEducation

Μια μπαταρία μολύβδου οξέος βαθύς κύκλου, θα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρεί διάρκεια ζωής κύκλου άνω των 1.000 ακόμη και σε DOD πάνω από 50%. Η παραγωγή και η διαφυγή υδρογόνου και αερίου οξυγόνου από μια μπαταρία μολύβδου-οξέος, προκαλεί απώλεια νερού και το νερό πρέπει να αντικαθίσταται τακτικά, κάτι που μπορεί να αυξήσει το κόστος, ιδιαίτερα εάν το σύστημα βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία.

Οι μπαταρίες εισάγουν ένα στοιχείο περιοδικής συντήρησης σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Όλες οι μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών "χωρίς συντήρηση", απαιτούν πρόγραμμα συντήρησης, το οποίο θα πρέπει να διασφαλίζει ότι:

- οι ακροδέκτες της μπαταρίας δεν έχουν διαβρωθεί
- οι συνδέσεις της μπαταρίας είναι σφιχτές
- το περίβλημα της μπαταρίας είναι απαλλαγμένο από ρωγμές και διάβρωση.

Οι μπαταρίες ανοιχτού τύπου απαιτούν επιπλέον και συχνότερη συντήρηση. Για αυτές τις μπαταρίες, το επίπεδο ηλεκτρολύτη και το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη για κάθε στοιχείο, θα πρέπει να ελέγχονται τακτικά. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος τύπου GEL ή AGM οι οποίες είναι συνήθως σφραγισμένες, μπορούν να κάνουν βαθύ κύκλο διατηρώντας παράλληλα τη διάρκεια ζωής τους, ενώ απαιτούν χαμηλότερη συντήρηση.

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα ηλεκτρόδια έχουν σημαντική επίδραση στη χημεία της μπαταρίας και ως εκ τούτου επηρεάζουν την τάση της μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά φόρτισης και εκφόρτισης. Η γεωμετρία του ηλεκτροδίου καθορίζει την εσωτερική αντίσταση και το ρυθμό φόρτισης και εκφόρτισης. Οι κύριοι τύποι ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται είναι μολύβδος - αντιμόνιο, κράματα μολύβδου - ασβεστίου και κράματα μολύβδου - αντιμονίου - ασβεστίου. Η φυσική διαμόρφωση των ηλεκτροδίων έχει επίσης αντίκτυπο στους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης και στη διάρκεια ζωής. Οι λεπτές



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

πλάκες επιτρέπουν ταχύτερη φόρτιση και εκφόρτιση, αλλά είναι λιγότερο ανθεκτικές και πιο επιρρεπείς στην αποβολή υλικού από τις πλάκες. Καθώς τα υψηλά ρεύματα φόρτισης ή εκφόρτισης δεν αποτελούν συνήθως απαιτούμενο χαρακτηριστικό των μπαταριών για συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παχύτερες πλάκες, οι οποίες έχουν χαμηλότερους χρόνους φόρτισης και εκφόρτισης, αλλά έχουν επίσης μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Μια μπαταρία μεγάλης διάρκειας ζωής σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα με σωστή συντήρηση μπορεί να διαρκέσει έως και 15 χρόνια, αλλά η χρήση μπαταριών που δεν έχουν σχεδιαστεί για μεγάλη διάρκεια ζωής σε φωτοβολταϊκό σύστημα ή αποτελούν μέρος ενός κακώς σχεδιασμένου συστήματος, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μικρούς χρόνους ζωής της αποθηκευτικής συστοιχίας.

Σε μια φορτισμένη μπαταρία, υπάρχει μια διαδικασία με την οποία η μπαταρία μπορεί να αποφορτιστεί, ακόμη και αν δεν υπάρχει φορτίο συνδεδεμένο με την μπαταρία. Η ποσότητα που αποφορτίζεται μια μπαταρία κατά την αναμονή της, είναι γνωστή ως αυτοεκφόρτιση. Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

Σε μια μπαταρία μολύβδου οξέος τύπου GEL, ο ηλεκτρολύτης μπορεί να σταθεροποιηθεί με πήξη του θεικού οξέος, χρησιμοποιώντας ζελέ πυριτίου. Ο ηλεκτρολύτης με ζελέ έχει ένα πλεονέκτημα στο ότι η παραγωγή αερίων μειώνεται και, κατά συνέπεια, οι μπαταρίες είναι χαμηλής συντήρησης. Επιπλέον, η διαστρωμάτωση του ηλεκτρολύτη δεν συμβαίνει με μπαταρίες με ζελέ, επομένως δεν απαιτείται ενισχυτική φόρτιση (boost charge). Επιπροσθέτως, επειδή ο ηλεκτρολύτης είναι πηγμένος, μειώνονται οι πιθανότητες διαρροής θεικού οξέος. Ωστόσο, προκειμένου να μειωθεί περαιτέρω η παραγωγή αερίων, αυτές οι μπαταρίες τύπου gel χρησιμοποιούν συνήθως πλάκες μολύβδου ασβεστίου, καθιστώντας τις ακατάλληλες για εφαρμογές βαθιάς εκφόρτισης.

Μια δεύτερη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σταθεροποίηση του θεικού οξέος είναι οι μπαταρίες “απορροφητικού γυαλιού” ή AGM. Σε μια μπαταρία AGM, το θεικό οξύ απορροφάται σε ένα στρώμα από υαλοβάμβακα που τοποθετείται μεταξύ των πλακών ηλεκτροδίων. Οι μπαταρίες AGM έχουν πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας βαθιάς αποφόρτισης χωρίς να επηρεάζεται η διάρκεια ζωής, επιτρέποντας υψηλά ποσοστά φόρτισης / εκφόρτισης και εκτεταμένο εύρος θερμοκρασίας για λειτουργία. Το βασικό μειονέκτημα με αυτές τις μπαταρίες είναι η ανάγκη τους για πιο προσεκτικά ελεγχόμενα καθεστώτα φόρτισης και το υψηλότερο αρχικό κόστος τους.<sup>80</sup>

---

<sup>80</sup> [Μπαταρίες μολύβδου οξέος | \(pveducation.org\)](http://pveducation.org)

### 4.3 Το Λίθιο

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές, αποτελούν την κινητήρια δύναμη πίσω από την ψηφιακή ηλεκτρονική επανάσταση στη σημερινή κοινωνία. Η εμπορική επιτυχία μπαταριών ιόντων λιθίου στη δεκαετία του 1990 ήταν το αποτέλεσμα ετών αυστηρής μελέτης και συνεισφορών από πολλούς λαμπρούς επιστήμονες και μηχανικούς.



Εικόνα 4-5 Οι μπαταρίες λιθίου είναι παντού στη ζωή μας [WIRED](#)

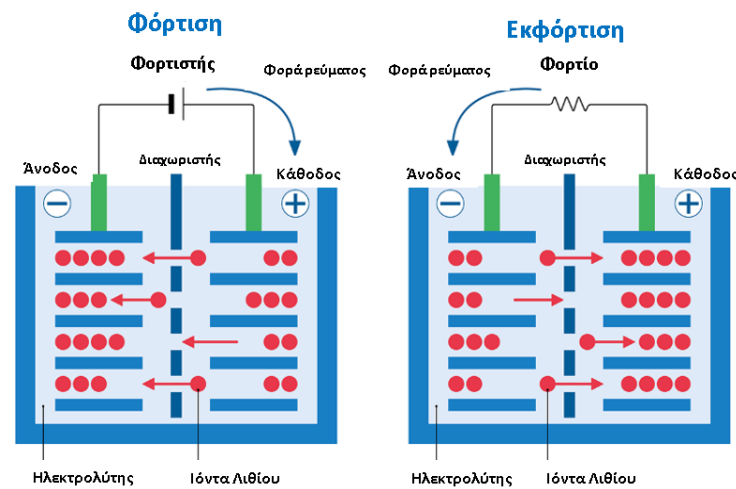
Μια μπαταρία ιόντων λιθίου αποτελείται από βασικά στοιχεία ιόντων λιθίου που συνδέονται σε σειρά, παράλληλα, ή σε μικτές διαμορφώσεις για την ενίσχυση του ρεύματος, της τάσης και γενικά για την επίτευξη των επιθυμητών ενεργειακών χαρακτηριστικών της μπαταρίας. Μια μονάδα μπορεί να έχει πολλά στοιχεία. Πολλαπλές μονάδες μπορούν να αποτελέσουν μια μπαταρία. Για παράδειγμα, η μπαταρία των 85 kWh σε ένα τυπικό αυτοκίνητο της Tesla, περιέχει 7104 κυψέλες. Μια κάθοδος (θετικό ηλεκτρόδιο) και μια άνοδος (αρνητικό ηλεκτρόδιο) σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη ιόντων λιθίου αποτελούν μια βασική κυψέλη ιόντων λιθίου.

Τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται μεταξύ τους με έναν διαχωριστή, συνήθως, μια μικροπορώδη μεμβράνη πολυμερούς, η οποία επιτρέπει στα ιόντα λιθίου αλλά όχι στα ηλεκτρόνια να περάσουν μεταξύ τους. Πολυμερείς, γέλη και κεραμικοί ηλεκτρολύτες, εκτός από τους υγρούς ηλεκτρολύτες, έχουν διερευνηθεί για χρήση σε αυτές τις μπαταρίες. Τα δύο ηλεκτρόδια συνδέονται εξωτερικά με εξωτερική ηλεκτρική παροχή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης.

Τα ηλεκτρόνια οδηγούνται για να εγκαταλείψουν την κάθοδο και να ταξιδέψουν στην άνοδο εξωτερικά. Ταυτόχρονα, τα ιόντα λιθίου ταξιδεύουν από την κάθοδο στην άνοδο μέσω του ηλεκτρολύτη προς την ίδια κατεύθυνση. Η εξωτερική ενέργεια αποθηκεύεται

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ηλεκτροχημικά στην μπαταρία ως χημική ενέργεια στα υλικά ανόδου και καθόδου, τα οποία έχουν διαφορετικά χημικά δυναμικά.



Εικόνα 4-6 Διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης [Murata Manufacturing Articles](#)

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκφόρτισης, τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν από την άνοδο στην κάθοδο μέσω του εξωτερικού φορτίου για να εκτελέσουν την εργασία, ενώ τα ιόντα λιθίου ταξιδεύουν από την άνοδο στην κάθοδο του ηλεκτρολύτη. Κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης, τα ιόντα Li μεταφέρονται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου και αντίστροφα. Μια από τις πιο ενεργές ερευνητικές κατευθύνσεις στην κοινότητα μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η βελτίωση του ρυθμού απόδοσης, έτσι ώστε ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση μιας μπαταρίας να μειωθεί δραστικά, κάτι που είναι κρίσιμο για την εμπορική αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) ενός τυπικού στοιχείου ιόντων λιθίου, αποτελείται από άνθρακα, ενώ το πιο δημοφιλές εμπορικά αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι ο γραφίτης.

Οι πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για το θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) για τις μπαταρίες λιθίου είναι:

1. Φωσφορικός σίδηρος λιθίου (LFP)  $\text{LiFePO}_4$ . Στις μπαταρίες φωσφορικού λιθίου-σιδήρου, συχνά γνωστές ως μπαταρίες φωσφορικού λιθίου, το φωσφορικό άλας χρησιμοποιείται ως κάθοδος. Οι ιδιότητες χαμηλής αντίστασης βελτιώνουν τη θερμική σταθερότητα και την ασφάλειά τους.

Ονομαστική τάση: 3.2V

Κύκλοι: 2000+

Εφαρμογές: Ηλεκτρικά οχήματα, drones, συστήματα τηλεπικοινωνιών, αεροδιαστημικός και στρατιωτικός εξοπλισμός, εφεδρική ισχύς.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

2. Οξειδίο του κοβαλτίου λιθίου (LCO)  $\text{LiCoO}_2$ . Οι μπαταρίες οξειδίου του κοβαλτίου λιθίου, κοινώς γνωστές ως μπαταρίες κοβαλτίου λιθίου, κατασκευάζονται από ανθρακικό λίθιο και κοβάλτιο. Λόγω της υψηλής ειδικής ενέργειάς τους, αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και ηλεκτρονικές κάμερες. Έχουν κάθοδο οξειδίου του κοβαλτίου και άνοδο άνθρακα γραφίτη.

Ονομαστική τάση: 3.6V

Κύκλοι: 1000+

Εφαρμογές: Κινητά τηλέφωνα, tablet, φορητοί υπολογιστές και κάμερες.

3. Οξειδίο του μαγγανίου λιθίου (LMO)  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Οι μπαταρίες οξειδίου του μαγγανίου λιθίου είναι επίσης γνωστές ως μπαταρίες μαγγανίου λιθίου, μπαταρίες μαγγανίου ιόντων λιθίου. Αυτός ο τύπος τεχνολογίας μπαταριών βρέθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1980, και το 1996, η Moli Energy παρήγαγε τις πρώτες εμπορικές μπαταρίες ιόντων λιθίου με κάθοδο οξειδίου του μαγγανίου λιθίου.

Ονομαστική τάση: 3.6V

Κύκλοι: 1000+

Εφαρμογές: Φορητά ηλεκτρικά εργαλεία, ιατρικά όργανα και ορισμένα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα.

4. Τιτανικό λίθιο (LTO)  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ . Το τιτανικό λίθιο, ή li-titanate, είναι μια μορφή μπαταρίας με αυξανόμενη ποικιλία εφαρμογών. Η μπαταρία λιθίου-τιτανικού έχει εξαιρετικά γρήγορο χρόνο επαναφόρτισης λόγω της ανώτερης νανοτεχνολογίας της. Αυτές οι μπαταρίες, από την άλλη πλευρά, έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από άλλους τύπους μπαταριών ιόντων λιθίου, αλλά έχουν υψηλότερη πυκνότητα από τις συμβατικές μπαταρίες, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα.

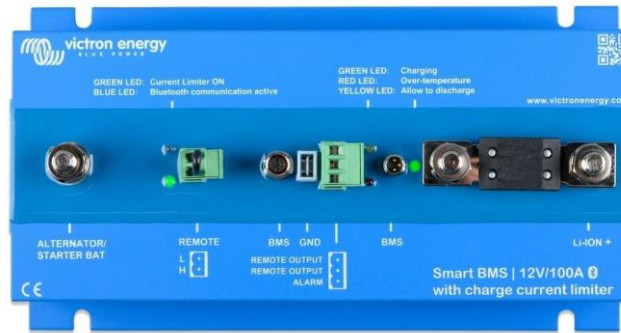
Ονομαστική τάση: 3.6V

Κύκλοι: 2000 +

Εφαρμογές: Ηλεκτρικά οχήματα και σταθμοί φόρτισης, αδιάλειπτη παροχή ρεύματος, αποθήκευση αιολικής και ηλιακής ενέργειας, ηλιακά φώτα δρόμου, συστήματα τηλεπικοινωνιών και αεροδιαστημικός και στρατιωτικός εξοπλισμός είναι μόνο μερικές από τις περιπτώσεις χρήσης.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, απαιτούν ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών (Battery Management System ή BMS) προκειμένου να αποτραπεί η λειτουργία εκτός της ασφαλούς περιοχής λειτουργίας κάθε στοιχείου, δηλαδή την τάση των κελιών, μέγιστη και ελάχιστη φόρτιση κελιών, τη θερμοκρασία λειτουργίας.

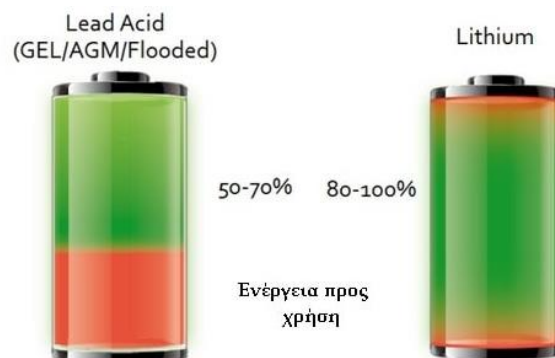
Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 4-7 Battery Management System της Victron [offgridcentrum.nl](http://offgridcentrum.nl)

Το BMS φροντίζει επίσης να εξισορροπεί τα στοιχεία, ώστε να εξασφαλίζει ομαλή λειτουργία όλου του συστήματος, αποφεύγοντας ακραίες καταστάσεις που θα μπορούσαν να υποβαθμίσουν την απόδοση ή και να θέσουν την ίδια την μπαταρία σε κίνδυνο. Το BMS, είναι μια προσθήκη που αφ' ενός μεν βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό την αποτελεσματικότητα της μπαταρίας, αφ' ετέρου, έχοντας μια εποπτεία των ορίων της, αυξάνεται με ασφάλεια η πραγματική ωφέλιμη χωρητικότητα.

Η βελτίωση της ογκομετρικής (Wh/L) και σταθμικής (Wh/kg) ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών, ιδιαίτερα αυτών των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ένας από τους βασικούς τομείς ώθησης των παγκόσμιων πρωτοβουλιών E&A. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει προσπάθειες για την ενίσχυση της ενεργειακής πυκνότητας όλων των μεθόδων αποθήκευσης. Ενώ αρχικά, το κύριο πεδίο εφαρμογής ήταν για τη χρήση σε ηλεκτρονικά gadgets, τα τελευταία 20 χρόνια, η εφαρμογή τους στα ηλεκτρικά οχήματα έχει προσφέρει μια τεράστια ώθηση προς την εξέλιξη.



Εικόνα 4-8 Σύγκριση της ωφέλιμης χωρητικότητας των μπαταριών λιθίου έναντι των μπαταριών μολύβδου οξέος [MP-Energy](http://MP-Energy)

Με βάση την τρέχουσα χημεία της μπαταρίας, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θεωρούνται σχετικά ώριμες. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι από καιρό το πρότυπο στις κινητές

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ηλεκτρονικές συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές, και τώρα αρχίζουν να παίζουν μεγαλύτερο ρόλο στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θα αξιολογηθούν για χρήση σε βιώσιμα ενεργειακά συστήματα για την αποθήκευση ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Η αυξανόμενη ζήτηση για αποθήκευση ενέργειας απαιτεί περαιτέρω βελτιώσεις στις υπάρχουσες μπαταρίες ιόντων λιθίου, καθώς και την ανάπτυξη μπαταριών ιόντων λιθίου επόμενης γενιάς, για τη μείωση του κόστους τους.

Η ανάπτυξη νέας χημείας μπαταριών για την αντικατάσταση της υπάρχουσας τεχνολογίας μπαταριών ιόντων λιθίου εξακολουθεί να είναι εξαιρετικά δύσκολη. Είναι επιθυμητό να βρεθούν ζεύγη ηλεκτροδίων με υψηλές ειδικές χωρητικότητες και υψηλή τάση κυψελών λειτουργίας για την ενίσχυση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών ιόντων λιθίου<sup>81</sup>.



Εικόνα 4-9 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου Sunlight ([the-sunlight-group.com](http://the-sunlight-group.com))

Επειδή οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, περιέχουν λιγότερο τοξικά μέταλλα από ότι οι άλλοι τύποι μπαταριών, οι οποίοι περιέχουν μόλυβδο ή κάδμιο, κατηγοριοποιούνται γενικά στα μη επιβλαβή απόβλητα. Τα στοιχεία των μπαταριών ιόντων λιθίου περιλαμβάνουν σίδηρο, χαλκό και κοβάλτιο και θεωρούνται ασφαλή τόσο για αποτεφρωτές, όσο και ΧΥΤΑ. Όλα αυτά τα μέταλλα μπορούν να ανακυκλωθούν, αλλά προς το παρόν, δεν έχουν επενδυθεί πολλά στην ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου, λόγω του κόστους, της περιπλοκότητας και των χαμηλών απόδοσης. Η παρασκευή ενός κιλού μπαταρίας Li-ion, απαιτεί ενέργεια ισοδύναμη με 1,6 κιλά πετρελαίου<sup>82</sup>.

<sup>81</sup> [Μπαταρίες ιόντων λιθίου - Βασικές αρχές, εξελίξεις και προκλήσεις - \(e-vehicleinfo.com\)](http://e-vehicleinfo.com)

<sup>82</sup> [Μπαταρίες ιόντων λιθίου, τύποι, πλεονεκτήματα και χρήσεις τους - Amperorio](http://Amperorio)



#### 4.4 Το μέλλον

Στην εποχή του σύγχρονου πολέμου, ένα μικρό επιτελείο επιστημόνων του Στρατού των ΗΠΑ, πρωτοστάτησε στη σχεδίαση και κατασκευή μιας σχεδόν ανίκητης, ελαφριά μπαταρίας που πρόκειται να κυκλοφορήσει μέχρι το 2024, καθώς αναμένονται τα αποτελέσματα της επιχειρησιακής αξιολόγησης, και τα σχόλια των Στρατιωτών που τα δοκιμάζουν.

Το Εργαστήριο Έρευνας Στρατού (ARL), της Διοίκησης Ανάπτυξης Δυνατοτήτων Μάχης, του Στρατού των ΗΠΑ, είναι πάντα πρόθυμο να προσφέρει τις υπηρεσίες του σε αυτούς που είτε απομονώνονται στην παγωμένη Αρκτική είτε δέχονται εχθρικά πυρά στις πιο άγονες περιοχές της Μέσης Ανατολής και οι οποίοι χρειάζονται αξιόπιστη ενέργεια σε ακραίες συνθήκες.

Οι επιστήμονες της ARL έχουν κατασκευάσει φύλλα εύκαμπτων, άφλεκτων, μεγαλύτερης διάρκειας μπαταριών ιόντων λιθίου, με βάση το νερό, που προορίζονται για την υποστήριξη πολεμικών προσπαθειών. Σκοπός τους είναι να κάνουν μια εκσυγχρονισμένη πηγή ενέργειας που είναι ελαφρύτερη, ασφαλέστερη και ανεκτική στην κατάχρηση, καθώς η ασφάλεια των Στρατιωτών παραμένει κορυφαία προτεραιότητα. Εάν όλα πάνε καλά, η ομάδα ελπίζει να συνεργαστεί με τη βιομηχανία για να σχεδιάσει ένα πιο προηγμένο πρωτότυπο, το οποίο θα αυτό που τελικά θα χρησιμοποιηθεί σε όλο τον στρατό γύρω στο 2024<sup>83</sup>.

Προς το παρόν, οι τυπικές μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε συσκευές του Στρατού - όπως στην τεχνολογία GPS, στα συστήματα νυχτερινής όρασης, στα ραδιόφωνα, στα λέιζερ κ.λπ.- αλλά, δεν τα πάνε πάντα καλά στη μάχη.

Οι τυπικές μπαταρίες μπορεί να είναι δυνητικά επικίνδυνες κατά τη διάρκεια στρατιωτικών επιχειρήσεων, είτε, όπου η θερμική φόρτιση και η φυσική φθορά είναι αναπόφευκτες. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι παραδοσιακές μπαταρίες μπορεί να είναι αναξιόπιστες, να πάρουν φωτιά ή ακόμα και να εκραγούν. Ο μέσος καταναλωτής δεν κυλάει σε βράχους, δεν πηδάει από οχήματα ή δεν πηδάει από αεροπλάνα με όλο τον εξοπλισμό του, αλλά οι στρατιωτικοί καταναλωτές κάνουν όλα αυτά και όχι μόνο. Διακατέχονται από πολύ άγχος και δεν μπορούν πάντα να δώσουν προσοχή στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν τον εξοπλισμό τους, οπότε αυτό είναι ένα κίνητρο ώστε να γίνουν οι μπαταρίες ασφαλέστερες.

Με στόχο να παράγει ευέλικτη και αδιάβροχη τεχνολογία μπαταριών, η ομάδα ανέπτυξε μια πιο σταθερή πηγή ενέργειας που είναι σε θέση να υλοποιείται σε οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος. Στις δοκιμές, έκοψαν και έσπασαν τη νέα μπαταρία, την έριξαν στο νερό και πραγματοποίησαν βαλλιστικές δοκιμές. Σε κάθε δοκιμή, οι μπαταρίες τους ήταν

---

<sup>83</sup> [Army scientists on verge of nearly unbreakable battery | Article | The United States Army](#)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

επιτυχημένες. Για να υλοποιήσουν αυτή την τεχνολογία, οι επιστήμονες της ARL αντικατέστησαν τον ηλεκτρολύτη των μπαταριών, ο οποίος γενικά αποτελείται από διαλυτά άλατα, οξέα και άλλα, με νερό, μια απλούστερη λύση. Αυτό εξασφάλισε επίσης ότι οι μπαταρίες θα μπορούσαν να είναι αδιάβροχες, μια θεωρία που δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά στο περιοδικό Science.

Η τεχνολογία άρχισε να διαμορφώνεται το 2017, όταν ο ηλεκτρολύτης νερού-άλατος έφτασε σε τάση εξόδου 4,0V, τιμή που απαιτείται για οικιακά ηλεκτρονικά, όπως φορητούς υπολογιστές, χωρίς πυρκαγιά ή άλλους κινδύνους. Ακόμα κι αν το νερό εισχωρήσει στη συσκευασία της μπαταρίας, ή αυτή βρίσκεται κάτω από το νερό, αποδείχτηκε ότι θα συνεχίσει να λειτουργεί βέλτιστα, κάτι που του δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των σημερινών οργανικών μπαταριών. Με άλλα λόγια, όταν συνδυάζονται το αλάτι και το νερό, δημιουργείται ένα νέο είδος μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτή η φόρμουλα βοήθησε την ομάδα να αναπτύξει το είδος της σταθερής πηγής ενέργειας υψηλής πυκνότητας που απαιτείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται στο πεδίο της μάχης.

Μετά την ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι επιστήμονες ενθουσιάστηκαν την μπαταρία με βάση το νερό σε ένα μεταλλικό φύλλο που είναι εύκαμπτο, μπορεί να βυθιστεί στο νερό και να κοπεί σε σχήματα, χωρίς να απειλεί τη συνολική απόδοση της μπαταρίας. Όταν η συσκευασία μιας κανονικής μπαταρίας βληθεί, η σφαίρα βραχυκυκλώνει το κελί και τα ηλεκτρόδια, κάτι που παράγει θερμότητα, αέριο και τελικά ανάφλεξη. Αλλά με τη νέα μπαταρία, τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε ένα μη εύφλεκτο τζελ, οπότε ακόμη και αν η μπαταρία έχει υποστεί ζημιά, είτε με αμβλεία δύναμη είτε με άμεση διείσδυση, θα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί. Οι επιστημονικές εξελίξεις στα εργαστήρια ARL έχουν σκοπό να βοηθήσουν τους στρατιώτες στον αγώνα τους, όπως λένε κι οι ίδιοι: *«Θέλουμε να διευρύνουμε τα όρια της επιστήμης που θα ωφελούσαν όλη την ανθρωπότητα, αλλά πρώτα τους Στρατιώτες».*

Το πρόγραμμα xTech του στρατού των ΗΠΑ ανακοίνωσε τους έξι φιναλίστ του xTech Innovation Combine Advanced Energy Storage Challenge, ενός διαγωνισμού που προκαλεί τις εταιρείες να προτείνουν μετασχηματιστικές τεχνολογικές λύσεις που σχετίζονται με δύο θέματα:

- 1) Παρακολούθηση και διαχείριση μπαταριών
- 2) Ασφαλείς, εκτυπώσιμες, σύμμορφες μπαταρίες.

Η ενέργεια και η απόδοση της μπαταρίας είναι μια βασική αλλά θεμελιώδης ανάγκη του Στρατού των ΗΠΑ, επειδή απαιτείται σχεδόν σε κάθε πτυχή της υπηρεσίας στην πρώτη γραμμή και όπως, δήλωσε ο Δρ. Matt Willis, Διευθυντής Διαγωνισμών Βραβείων Στρατού

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

*«Οι μπαταρίες τροφοδοτούν την τεχνολογία μας και η τεχνολογία τροφοδοτεί τους στρατιώτες μας».*<sup>84</sup>

Το μέλλον αναμένεται να είναι άκρως αποκαλυπτικό και ενδιαφέρον, με τις εξελίξεις να διαδέχονται η μία την άλλη. Η ανάγκη για ασφαλή και ελαφριά «κονσερβοποιημένη ενέργεια», όπως και σε όλα τα επιτεύγματα που εξελίχθηκαν για αμυντικούς σκοπούς, θα οδηγήσει τους επιστήμονες σε λύσεις που δεν φανταζόμαστε ακόμη.

Μια ματιά στο κοντινό παρελθόν, θα δείξει το πόσο γρήγορα «τρέχουν» οι ανακαλύψεις στην εποχή μας. Από τις αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων και τις διαθέσιμες ισχύες, έως τις χωρητικότητες των μπαταριών στις μέρες μας, οι εξελίξεις κάνουν την περασμένη δεκαετία να φαντάζει πολύ μακρινή.

---

<sup>84</sup> [Army announces first round of competition finalists with energy-saving battery solutions | Article | The United States Army](#)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> :Μελέτη αμυντικού συστήματος**

Η μελέτη είναι επισκόπησης. Μια καινοτομία αυτής είναι η έννοια της χρήσης φωτοβολταϊκής γεννήτριας για αμυντικούς σκοπούς. Οι τεχνικές λεπτομέρειες των προτάσεων αποτελούν τομέα της στρατιωτικής ανάλυσης και μπορούν να παρουσιαστούν μόνο ως δημοσίευση με μη εμπιστευτικό χαρακτηρισμό.

### **5.1 Σκοπός**

Σκοπός της μελέτης είναι αφ' ενός η εφαρμογή στην πράξη της τελευταίας λέξης της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφ' ετέρου η αναβάθμιση μέσου χρόνου ζωής του συστήματος αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας ενός αυτοκινούμενου συστήματος συλλογής πληροφοριών.

Η μελέτη θα εστιάσει μόνο στο σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, των απάρτιών του και η κατανάλωση θα αντιμετωπιστεί συνολικά, σαν «black box», με αναφορές μόνο σε τυπικές αντίστοιχες συσκευές, όπως υπολογιστές, οθόνες, για ευνόητους λόγους.

### **5.2 Περιγραφή Συστήματος**

Το αυτοκινούμενο σύστημα, είναι στην ουσία μια πλατφόρμα αισθητήρων και συσκευών πρόσκτησης, επεξεργασίας, αποθήκευσης και μετάδοσης πληροφοριών.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί πλειάδα ηλεκτρονικών και ηλεκτρομηχανικών συσκευών, καταναλώνοντας σεβαστό ποσό ενέργειας. Έχοντας ως πεδίο δράσης την ύπαιθρο, απαιτείται να μεταφέρει όλη αυτή την ενέργεια.

Καθώς, όμως, η συλλογή πληροφοριών απαιτεί διακριτικότητα, η μεταφορά της ενέργειας που χρειάζεται ως μέρος των καυσίμων του, καθώς και η επιτόπια μετατροπή της σε ηλεκτρική, μέσω μιας γεννήτριας, είναι εκτός συζητήσεως.

Για το σκοπό αυτό, μια συστοιχία μπαταριών, αναλαμβάνει την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ισχύος, για ορισμένο χρονικό διάστημα, με τον κινητήρα του οχήματος εκτός λειτουργίας.

Για την λειτουργία του Συστήματος, συνυπάρχουν τρία διαφορετικά ηλεκτρικά κυκλώματα. Ένα κύκλωμα των 12V, ένα κύκλωμα των 24V και ένα κύκλωμα των 230V, με έναν αντιστροφέα καθαρού ημιτόνου 24VDC-230VAC.

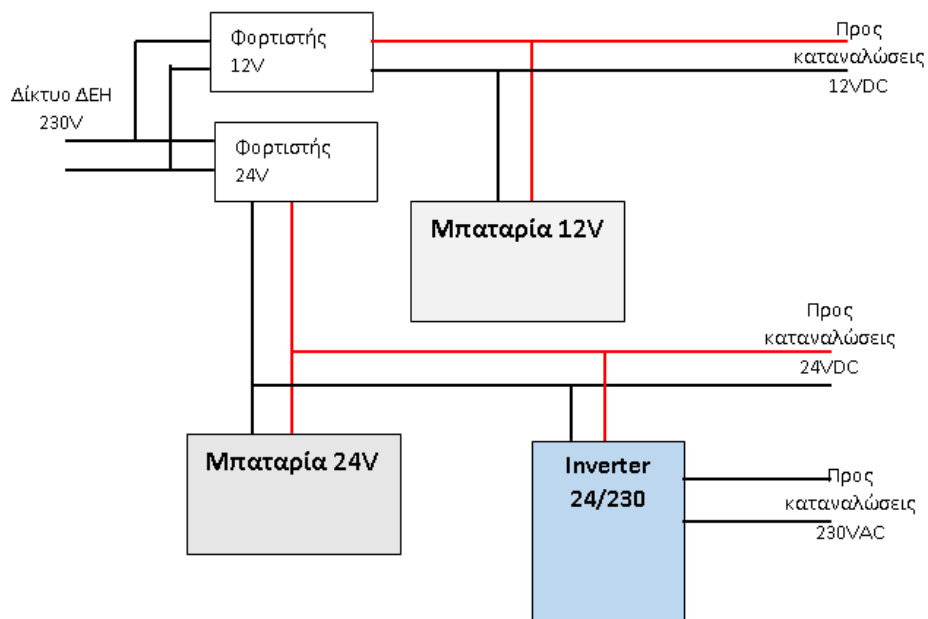
Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**Εικόνα 5-1** Ο χώρος του συστήματος αποθήκευσης. Διακρίνεται σε πρώτο πλάνο ο αντιστροφέας καθαρού ημιτόνου, αριστερά του η μπαταρία τύπου Gel και πάνω δεξιά ο φορτιστής των 24V

Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται με την τροφοδότηση των αντίστοιχων φορτιστών από το δίκτυο πόλεως. Το κύκλωμα των 12V έχει ως καταναλωτές τις οθόνες, το σύστημα επικοινωνιών και τον μερικό χειρισμό λειτουργιών του Συστήματος.

Το κύκλωμα των 24V, έχει ως καταναλωτές τον αντιστροφέα των 2kW, τον μερικό χειρισμό λειτουργιών του Συστήματος, καθώς και τον κινητήρα και τις ηλεκτροβάνες του υδραυλικού συστήματος σταθεροποίησης. Τέλος, το κύκλωμα των 230V, έχει ως καταναλωτές, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διάφορες βοηθητικές συσκευές μέσω μικροτροφοδοτικών, καθώς και τις πρίζες στο χώρο του χειριστή.



**Εικόνα 5-2** Μπλοκ διάγραμμα του υφιστάμενου συστήματος τροφοδοσίας

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Οι μπαταρίες του συστήματος, είναι, ανάλογα με την έκδοση, είτε μία των 12V/120Ah και δύο σε σειρά των 12V/200Ah, είτε έξι των 12V/120Ah, οι οποίες, με κατάλληλη μικτή συνδεσμολογία, θα δώσουν 12V/240Ah και 24V/240Ah. Οι μπαταρίες είναι μολύβδου - οξέος, κλειστού τύπου, τεχνολογίας GEL.



Εικόνα 5-3 Μέρος της συστοιχίας μπαταριών τύπου gel

### 5.2.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Έχοντας ως θεωρητικό χρόνο ζωής, σύμφωνα με τον Κατασκευαστή του Συστήματος, τη δεκαετία, το σύστημα αποθήκευσης, απαρτιζόμενο από τις μπαταρίες και τους φορτιστές, έχει φτάσει στο τέλος της ονομαστικής του ζωής.

Ο σχεδιαστής του, είχε διαστασιολογήσει την αποθήκευση ενέργειας, έχοντας στο νου του μια «ορθή» ή μια «τυπική ΝΑΤΟϊκή» δραστηριότητα. Αυτό φαίνεται και από τις προσπάθειες να ενισχύσει την αντοχή του συστήματος, ύστερα από μερικές σειρές παραγωγής, Γι' αυτό και συναντάμε διαφορετικούς συνδυασμούς χωρητικότητας, χωρίς όμως να υπάρχει λόγος επαυξημένων αναγκών, από τις καταναλώσεις.

Η σχεδίαση του Συστήματος, μπορούμε να πούμε με σιγουριά, έπασχε δικλείδων ασφαλείας για το ίδιο το υλικό που αυτό απαρτίζεται. Σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα, η ασφαλής λειτουργία μιας συστοιχίας μπαταριών τέτοιων διαστάσεων, δεν θα έπρεπε να αφήνεται στη διακριτική ευχέρεια του εκάστοτε χειριστή και στην εμπειρία του, αλλά θα έπρεπε να διασφαλίζεται αυτοματοποιημένα από το σύστημα καθαυτό. Θα πρέπει να υπήρχαν σαφείς εσωτερικές, αυτοματοποιημένες διαδικασίες, οι οποίες δεν θα επιδέχονταν αλλοιώσεις.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 5-4 Η οθόνη του συστήματος εποπτείας των μπαταριών

Η πολυπλοκότητα της σχεδίασης, επέφερε πολλά σημεία πιθανής αστοχίας, τα περισσότερα δεν ήταν λόγω κακού χειρισμού. Αν και, θεωρητικά, η σχεδίαση ήταν ασφαλής από πλευράς διαστάσεων καλωδίων, διακοπτικού υλικού, ασφαλιστικού υλικού, προστασίας από ηλεκτροπληξία και κεραυνοπληξία, εν τούτοις, η ασφαλής για το υλικό λειτουργία ήταν πλημμελής.

Ο χειριστής, είχε στη διάθεσή του μια συσκευή BMS, η οποία στην ουσία, με τα τωρινά δεδομένα, δεν έκανε διαχείριση του αποθηκευτικού χώρου, φροντίζοντας να επιτηρεί το βάθος εκφόρτισης και τις τάσεις λειτουργίας, φόρτισης και αποκοπής. Η παρουσία της περιοριζόταν σε απλή ένδειξη της στιγμιαίας κατανάλωσης και του υπολοίπου χρήσης, η οποία και μπορούσε, να επηρεαστεί, όπως και γινόταν, από εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και οι διακυμάνσεις της αποδιδόμενης ισχύος, παρουσιάζοντας ενδείξεις που δεν ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα.

Ο χειριστής, έχοντας να ασχοληθεί με το επιχειρησιακό του έργο, δεν ήταν σε θέση να γνωρίζει εάν η χρήση του αποθηκευτικού χώρου και η εσωτερική του διαχείριση γινόταν σωστά. Δεν υπήρχε επαρκές σύστημα προειδοποίησης, για παράδειγμα του τύπου GO/NO-GO<sup>85</sup>, οπότε ήταν συχνή η απρόσμενη κατάρρευση, που οφειλόταν, φυσικά, σε άδειες μπαταρίες.

Εν τέλει, η εκτιμώμενη από τον κατασκευαστή διάρκεια ζωής των μπαταριών του συστήματος, οι οποίες αν και ήταν κορυφαίας ποιότητας για την εποχή, δεν ήταν και αυτή που αποδείχθηκε στην πράξη. Η θεωρητική δεκαετία ζωής για μπαταρία τύπου Gel, μπορεί να ήταν για μικρά βάθη εκφόρτισης, αλλά ο σχεδιασμός του συστήματος, απαιτούσε σχεδόν όλη τη χωρητικότητα, με αποτέλεσμα, οι 800 κύκλοι (τεράστιος αριθμός για την εποχή), καταναλώνονταν σε μια τετραετία. Το κόστος για την αντικατάστασή τους, πάρα πολύ μεγάλο. Το θετικό ήταν ότι οι τιμές των μπαταριών θα έπεφταν στα επόμενα χρόνια, αλλά το ίδιο και η ποιότητά τους.

<sup>85</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Go/no\\_go](https://en.wikipedia.org/wiki/Go/no_go)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η αυξημένη πολυπλοκότητα της σχεδίασης, απαιτούσε κυκλώματα των 230V, των 24V και των 12V, με ξεχωριστές αποθηκευτικές συστοιχίες των 12V και 24V, αντίστοιχα. Η παρουσία πολλών διαφορετικών κυκλωμάτων, εισήγαγε και κακό βαθμό απόδοσης, της εκμετάλλευσης της αποθηκευμένης ενέργειας, αφού σε κάθε στάδιο υποβιβασμού της, είχαμε την εισαγωγή και των βαθμών απόδοσης του κάθε επιμέρους τροφοδοτικού.



**Εικόνα 5-5 Σε πρώτο πλάνο ο φορτιστής των 24V και πίσω του με λευκό χρώμα ο φορτιστής των 12V**

Ξεχωριστές ήταν και οι τροφοδοτικές διατάξεις των αντίστοιχων αποθηκευτικών συστοιχιών. Τυχόν σφάλμα ή δυσλειτουργία σε μια διάταξη, στην καλύτερη περίπτωση, μείωνε τον χρόνο αυτονομίας, άρα μείωνε την επιχειρησιακή του ικανότητα.

Το σύστημα BMS δεν ήταν σε θέση να γνωρίζει την κατάσταση υγείας των διαφόρων συσσωρευτών και να την παρουσιάσει στο χειριστή, ώστε αυτός να επέμβει κατάλληλα, φτάνοντας στο σημείο να υπάρχουν Συστήματα, οι χειριστές των οποίων ως κύρια παρατήρηση κατά την απενημέρωση στη Βάση τους, ήταν η μειωμένη αυτονομία.

Οι μπαταρίες, όμως, παρά το γεγονός ότι εξακολουθούσαν να έχουν τα ονομαστικά χαρακτηριστικά τάσης, κατά τις μετρήσεις, δεν είχαν την αναμενόμενη διάρκεια, γιατί στην ουσία οι φορτιστές απλά «έβραζαν» τα υγρά τους, χωρίς εν τέλει η ενέργεια από το δίκτυο να αποθηκεύεται, παρά να σπαταλάται ως θερμότητα.

Η επιδιωκόμενη κατάσταση, με τη βοήθεια της τωρινής τεχνολογίας στον τομέα της αποθήκευσης, με χρήση προηγμένων μπαταριών λιθίου και επαρκούς συστήματος για την επίβλεψή τους, θα λύσει ικανοποιητικά το συγκεκριμένο πρόβλημα, με εμφανή βελτιωμένα χαρακτηριστικά απόδοσης.



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

### 5.2.2 Επιδιωκόμενη κατάσταση

Επιδιωκόμενη κατάσταση είναι η αναβάθμιση μέσου χρόνου ζωής (MLU) του συστήματος αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας, με σκοπό την αλλαγή των συσκευών εκείνων που έχουν πρακτικά και τεχνολογικά γεράσει, την αντικατάστασή τους από άλλες, τελευταίας τεχνολογίας, έτσι ώστε η κύρια πηγή ισχύος να είναι η ηλιακή ενέργεια, αλλά χωρίς ουσιαστικές παρεμβάσεις στην αρχική σχεδίαση και με τέτοιον τρόπο, που να μην διαταράσσεται η αρχική επιχειρησιακή αξία του συστήματος.

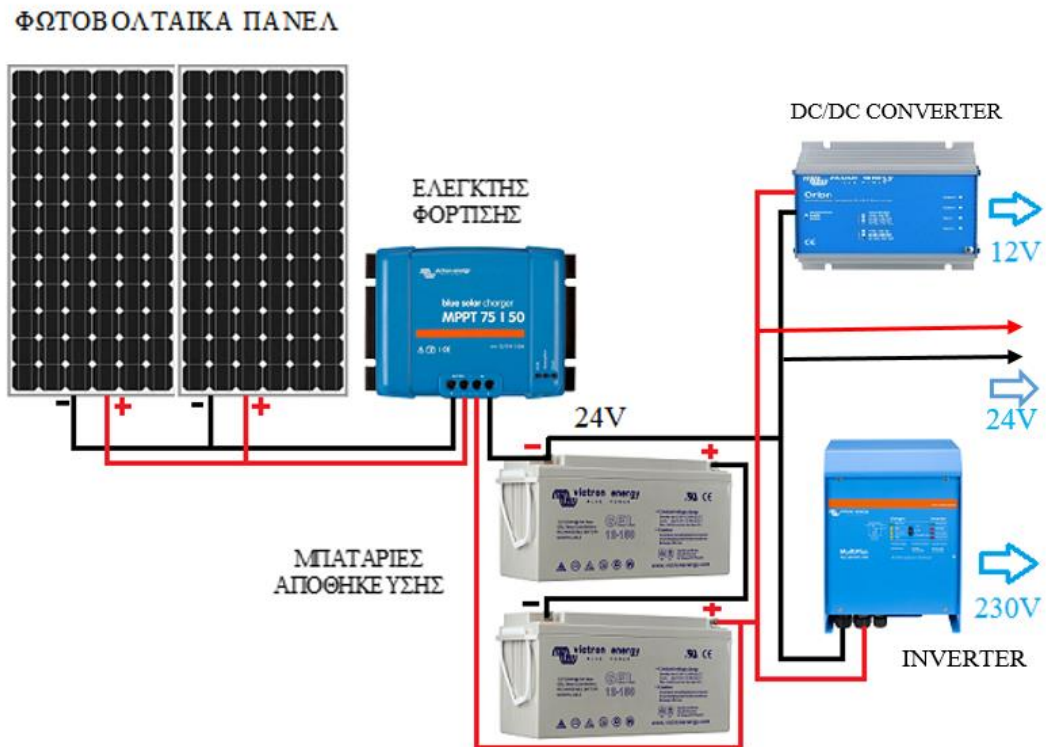
Θα ακολουθηθεί μια μεθοδολογία, κατά την οποία πρώτα θα καταγραφεί η κατανάλωση και η χρονική διάρκειά της, ύστερα θα εξεταστεί μια εξορθολόγηση, στο μέσω του δυνατού, των μη κρίσιμων φορτίων, όπως ο φωτισμός, με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης. Θα εξεταστεί το κατά πόσο παρωχημένη είναι η υφιστάμενη σχεδίαση και θα προβούμε στην βελτίωσή της, έχοντας ως γνώμονα την τωρινή τεχνολογία, τις επιδιωκόμενες επιδόσεις στον τομέα της αυτονομίας και λαμβάνοντας υπόψη τις επιχειρησιακές ανάγκες, καθώς και τις απαιτήσεις των ίδιων των χειριστών.

Βάσει της έως τώρα συσσωρευμένης εμπειρίας, στην συντριπτική πλειοψηφία του στόλου των οχημάτων αυτού του τύπου, ουδέποτε επιτεύχθηκε η θεωρητική διάρκεια ζωής των μπαταριών που απαρτίζουν το σύστημα αποθήκευσης. Η αρχική σχεδίαση, με μπαταρίες τύπου GEL<sup>86</sup>, έχει ως γνώμονα την ασφάλεια της εγκατάστασης, κατά πρώτο λόγο, αφού οι μπαταρίες αυτές, όντας κλειστού τύπου, ο ηλεκτρολύτης είναι σε ημιστερεά μορφή, δεν εκλύουν αναθυμιάσεις κατά τον κύκλο λειτουργία τους. Επιπροσθέτως, κατά την χρονική περίοδο του αρχικού σχεδιασμού, η τεχνολογία αποθήκευσης αυτού του τύπου, ήταν στην κορυφή της αγοράς, με πολύ μεγάλο αριθμό κύκλων, αν και πολλαπλάσια σε κόστος από τις κοινές μπαταρίες τεχνολογίας υγρών.

Θα επιχειρηθεί η προσαρμογή σύγχρονων συσσωρευτών LiFePO<sub>4</sub>, οι οποίοι είναι ιδανικοί για εφαρμογές αυτού του τύπου, έχουν πολλαπλάσια εκτιμώμενη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους υπάρχοντες, μεγαλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη χωρητικότητα για την ίδια ονομαστική και το σημαντικότερο, έχουν ενσωματωμένο BMS, δηλαδή το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας, με προφανή πλεονεκτήματα, για την υγεία και την απρόσκοπτη απόδοση των συσσωρευτών. Θα χρησιμοποιηθεί μόνο ένα επίπεδο αποθηκευμένης τάσης, αυτό των 24V, το οποίο και θα αποδίδεται στα αντίστοιχα κυκλώματα – καταναλωτές, είτε αυτούσιο, όπως τώρα, είτε μέσω inverter 24VDC-230VAC, όπως τώρα, είτε μέσω DC-DC converter 24/12, για τις 12βολτες καταναλώσεις.

<sup>86</sup> <https://www.mkbattery.com/blog/what-are-gel-batteries>

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 5-6 Προτεινόμενη συνδεσμολογία εγκατάστασης ([ase-energy.com](http://ase-energy.com))

Θα επιχειρηθεί η μετατροπή σε υβριδική, της όλης διάταξης αποθήκευσης, με την προσθήκη ηλιακών πάνελ, τελευταίας διαθέσιμης τεχνολογίας, με ισχύ αρκετή ώστε να μπορεί να παρέχει πλήρη φόρτιση τις χειμωνιάτικες ημέρες και γρήγορη φόρτιση τις καλοκαιρινές. Αυτό, θα υλοποιήσει στην πράξη τις δεσμεύσεις της Ηγεσίας για ανεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, εμμέσως, μέσω της ανεξάρτησης από την τροφοδοσία του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, από διάφορα καύσιμα.

Τέλος, θα επιχειρηθεί η επαύξηση της αυτονομίας του συστήματος, στα πλαίσια του οικονομοτεχνικά εφικτού, προσδίδοντάς του χαρακτήρα ενεργειακού hub, δίνοντάς του νέες προοπτικές αξιοποίησης.

### 5.3 Διαστασιολόγηση αναβάθμισης

Ο θεωρητικός υπολογισμός της μετατροπής θα ακολουθήσει τη μεθοδολογία υπολογισμού ενός αυτόνομου συστήματος. Αρχικά, θα γίνει μια ενδεικτική καταγραφή των καταναλώσεων, καθώς και του χρόνου που αυτές βρίσκονται σε χρήση. Θα υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς που θα κληθεί να καλύψει η σχεδίαση, η συνολική ενέργεια που θα απαιτηθεί κατά την διάρκεια ενός 24ώρου, όπως και η επιθυμητή αυτονομία, ώστε το σύστημα να εξακολουθεί να παρέχει ισχύ, ακόμα και σε ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια. Ύστερα, θα υπολογισθεί η απαιτούμενη ισχύς

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, θα υπολογισθεί ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πάνελ, θα επιλεγεί η τάση λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης και στο τέλος θα βάσει των ημερών αυτονομίας, της τάσης λειτουργίας, θα υπολογισθεί η χωρητικότητα των μπαταριών. Οι ενδεικτικές καταναλώσεις, παρουσιάζονται στον πίνακα της εικόνας 5-7.

<b>Πίνακας φορτίων &amp; καταναλώσεων</b>				
<b>αα</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Ισχύς (W)</b>	<b>Χρόνος (h)</b>	<b>Ενέργεια (Wh)</b>
1	Φωτισμός	20	7	140
2	Η/Υ	200	6	1200
3	Επικοινωνίες	120	1	120
4	Φορτίο	200	6	1200
5	Διάφορα	50	2	100
6	Σύστημα ανύψωσης	2000	0,03	60
7	Inverter	1000	0,01	10
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>		<b>3590</b>		<b>2830</b>

Εικόνα 5-7 Οι καταναλώσεις του συστήματος

Το σύστημα ανύψωσης, δεν ταυτοχρονίζεται με τις υπόλοιπες συσκευές, καθώς χρησιμοποιείται για ελάχιστο χρόνο, για την ανάπτυξη ιστών κλπ, πριν και μετά την λειτουργία του Συστήματος. Όλες οι καταναλώσεις του συστήματος, υποστηρίζονται από τις μπαταρίες των 24V. Η ισχύς του Inverter, στην ουσία εξυπηρετεί φορτία που δεν είναι πάγια, ούτε κρίσιμα για την λειτουργία, οπότε ο χρόνος που αναφέρεται στον πίνακα είναι ενδεικτικός.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, ανέρχεται σε 3,6 kW και η ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια, για την προβλεπόμενη επιχειρησιακή λειτουργία, ανέρχεται στις 2,8 kWh.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η απαιτούμενη ισχύς από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, θα υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$P = \frac{E_k \cdot P_{stc} \cdot m}{E_{\pi} \cdot \sigma_{\phi\beta} \cdot \sigma_{\mu}} \cdot \frac{31}{31 - N}$$

Όπου:

$E_k$  : Ημερήσια ενέργεια των καταναλώσεων σε kWh/ημέρα

$P_{stc}$  : Ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες STC

$m$  : περιθώριο (συνήθως 1,2)

$E_{\pi}$  : Ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (3 kWh/m<sup>2</sup> την ημέρα το χειμώνα και 7 kWh/m<sup>2</sup> την ημέρα το καλοκαίρι)

$\sigma_{\phi\beta}$  : Συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκού (συνήθως 0,9)

$\sigma_{\mu}$  : Συντελεστής απωλειών μεταφοράς (συνήθως 0,9)

$N$  : Αριθμός ημερών αυτονομίας

Θέτοντας ως τιμή ημερήσιας ενέργειας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας τα 4,5 kWh/m<sup>2</sup> και ως ημέρες αυτονομίας τη μία, προκύπτει ότι:

$$P_{\text{φωτοβ}} = \frac{2,8 \text{ kWh/ημέρα} \cdot 1 \text{ kW/m}^2 \cdot 1,2}{4,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,9 \cdot 0,9} \cdot \frac{31}{31-1} = 952 \text{ W}_p$$

Η απαιτούμενη φωτοβολταϊκή ισχύς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις μας, θα ανέρχεται σε περίπου 1 kW<sub>p</sub>.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Στη συνέχεια από τα παραπάνω, θα υπολογιστεί η χωρητικότητα  $C$  των μπαταριών, σε Ah, από την παρακάτω εξίσωση:

$$C_{\text{μπατ}} = \frac{(N + P) \cdot m \cdot E_k \cdot}{\sigma_\gamma \cdot \sigma_\mu \cdot \beta_{\text{εκ}} \cdot V}$$

Όπου:

$N$  : Αριθμός ημερών αυτονομίας

$P$  : Ποσοστό των φορτίων που εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από τις μπαταρίες (συνήθως 0,6)

$m$  : περιθώριο (συνήθως 1,2)

$E_k$  : Ημερήσια ενέργεια των καταναλώσεων σε kWh/ημέρα

$\sigma_\gamma$  : Συντελεστής απωλειών γήρανσης (συνήθως 0,8)

$\sigma_\mu$  : Συντελεστής απωλειών μεταφοράς (συνήθως 0,9)

$\beta_{\text{εκ}}$  : Βάθος εκφόρτισης μπαταριών

$V$  : Τάση μπαταριών

Θέτοντας ως βάθος εκφόρτισης το 70%, ποσοστό ταυτοχρονισμού των φορτίων το 60%, τάση συστήματος τα 24V, που είναι και η τάση λειτουργίας των περισσότερων συσκευών στρατιωτικής χρήσης και για μία ημέρα αυτονομίας, προκύπτει ότι:

$$C_{\text{μπατ}} = \frac{(1\text{ημέρα} + 0,6) \cdot 1,2 \cdot 2,8 \text{ kWh/ημέρα}}{0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 24V} = 444 \text{ Ah}$$

Η απαιτούμενη χωρητικότητα των μπαταριών, για την ικανοποίηση των απαιτήσεών μας, θα ανέρχεται σε περίπου 440Ah.

Η επιλογή του τύπου των φωτοβολταϊκών πάνελ, του είδους του ρυθμιστή φόρτισης, καθώς και των μπαταριών, αναλύεται στην μεθ'επόμενη ενότητα.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

### 5.3.1 Προδιαγραφές

Μία από τις προκλήσεις που θα αντιμετωπιστούν, είναι και ο περιορισμένος χώρος για την τοποθέτηση του αποθηκευτικού συστήματος. Ο χώρος των μπαταριών που ήδη χρησιμοποιούνται, δεν θα πρέπει να αλλοιωθεί, ενώ οι νέες μπαταρίες λιθίου θα πρέπει να συνδεθούν επακριβώς στα ίδια με τις προηγούμενες σημεία της εγκατάστασης.

Λόγω της φύσης του οχήματος, δεν θα πρέπει να διενεργηθούν μεγάλες επεμβάσεις, όπως διάνοιξη οπών και ηλεκτροσυγκολλήσεις μετάλλων στο πλαίσιο του οχήματος και αλλαγές στον μηχανολογικό του εξοπλισμό, να διατηρηθούν οι σημαντικές καταναλώσεις ως έχουν και η εγκατάσταση να δένει αρμονικά με την υπάρχουσα μορφή του.

Απαραίτητη προϋπόθεση, να μην διακυβεύεται η ασφάλεια του προσωπικού και της εγκατάστασης, να ισχύει η προς τα πίσω συμβατότητα με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, η απλότητα της κατασκευής και η ευκολία συντήρησης και επισκευής.

### 5.3.2 Επιλογή υλικών

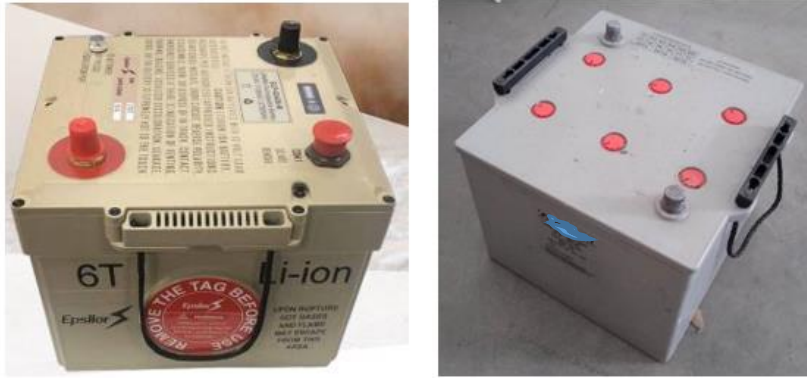
Έχοντας ως προαπαιτούμενο, την μη διατάραξη της σχεδίασης και της χρησιμοποίησης νέας, σύγχρονης τεχνολογίας υλικών, συμβατών όμως με την προϋπάρχουσα σχεδίαση, θα περιοριστούμε σε υλικά Commercial Off The Shelf<sup>87</sup>, τα οποία και προσφέρουν κατασκευαστές ήδη δοκιμασμένοι και καταξιωμένοι. Τα μεγαλύτερα οφέλη που έχουν προκύψει από τη χρήση εξαρτημάτων COTS είναι το συνολικά χαμηλότερο κόστος, η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και η ταχύτερη παράδοση. Οι τεχνολογίες μη στρατιωτικού επιπέδου θα είναι πάντα οικονομικότερες σε σχέσεις με τις αμιγώς στρατιωτικές, με περισσότερες επιλογές προμηθευτών, εφάμιλλης ποιότητας, καθώς η εξέλιξη των τεχνολογιών σχεδίασης και κατασκευής, έχει βελτιώσει και έχει αυξήσει την αξιοπιστία των εξαρτημάτων και των συστημάτων εμπορικής ποιότητας, σε μεγάλο βαθμό.

Αναφορικά με την αποθήκευση της ενέργειας, ανατρέχοντας σε datasheets, παρατηρείται ότι, η τεχνολογία λιθίου, έχει πια ωριμάσει, έχει προσαρμοστεί στην ήδη υπάρχουσα σχεδίαση στρατιωτικών προϊόντων και είναι πρακτικά plug and play, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπως αυτή που περιγράφεται. Η μεγαλύτερη εκτιμώμενη διάρκεια ζωής, ο μεγαλύτερος αριθμός κύκλων λειτουργίας, καθώς και η καλύτερη εκμετάλλευση της ονομαστικής χωρητικότητας που επιτυγχάνει η τεχνολογία μπαταριών λιθίου, θα την κάνει την πρώτη επιλογή, αντικαθιστώντας τις παρωχημένες, για αυτή την εφαρμογή, μπαταρίες μολύβδου τύπου gel.

---

<sup>87</sup> [Busting the myths of COTS devices in military applications - Military Embedded Systems](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 5-8 Η συμβατότητα των μπαταριών λιθίου με τις υπάρχουσες μολύβδου - οξέος, στρατιωτικών προδιαγραφών [Epsilor](#)

Στη θέση των φορτιστών, ένας hybrid inverter charger, θα κάνει την δουλειά τριών συσκευών της προηγούμενης σχεδίασης, των φορτιστών 12V και 24V και του inverter, με κύριο πλεονέκτημα την αυξημένη ενεργειακή απόδοση. Η επιλογή δίδυμων panels, με παράλληλη σύνδεση, θα αυξήσει την ανθεκτικότητα, φροντίζοντας την υπό περιορισμούς λειτουργία του συστήματος παραγωγής, ακόμα και ύστερα από αστοχία του ενός, πχ εξ' αιτίας ατυχήματος με θραύση.

Η εν γένει υπερδιαστασιολόγηση του Συστήματος, θα έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης φόρτισης κατά την θερινή λειτουργία και της ικανοποιητικής φόρτισης κατά τη χειμερινή, με το «μειονέκτημα» της μη επαρκούς αξιοποίησης της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας. Ας μην ξεχνάμε, ότι η σχεδίαση του συστήματος, αφορά την λειτουργία του με μπαταρίες, για ορισμένη χρονική περίοδο.

Η δε τυπική σχεδίαση ενός αυτόνομου συστήματος, περιλαμβάνει και την επιλογή των βέλτιστων εκείνων διατάξεων, ώστε να γίνεται η καλύτερη «συγκομιδή» της προσφερόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, τη χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας όλο το 24ωρο, με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας, σε περίπτωση που η ηλιοφάνεια κάποιων ημερών δεν θα επαρκεί να αναπληρώσει την αποθηκευμένη ισχύ των μπαταριών που ήδη καταναλώθηκε. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, η χρήση του οχήματος δύναται να είναι εντατική και πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος να μην υπάρχει διαθέσιμη επαρκή ισχύς, ούτε ο άπλετος χρόνος για την φόρτιση με χρήση της τροφοδοσίας ρεύματος πόλεως.

Η χρήση των φωτοβολταϊκών πάνελ, θα είναι επικουρική, αν και θα μπορούν να υποστηρίξουν επαρκώς το σύστημα, ενώ προβλέπεται η χρήση και της εξωτερικής φόρτισης με ρεύμα πόλεως, με συνδυασμό με τους ήδη υπάρχοντες εναλλάκτες του οχήματος, η οποία και θα εγγυάται την άμεση διαθεσιμότητα του Συστήματος, οποιαδήποτε στιγμή, ενώ η αυξημένη αυτονομία, ενδέχεται να προσφέρει πεδίο περεταίρω επιχειρησιακής αξιοποίησης.



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Έχοντας ως σημείο αναφοράς την ισχύ των πάνελ, την τεχνολογία της εποχής, τον διαθέσιμο χώρο και τις προσφερόμενες λύσεις, προτείνεται η επιλογή ενός μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πάνελ<sup>88</sup> SMF430F-12X12UV της σειράς F, της εταιρίας Sunman, τεχνολογίας eArche, με ισχύ Wp ίση με 430W σε STC συνθήκες, χωρίς πλαίσιο αλουμινίου και εμπρόσθιας γυάλινης επιφάνειας.



Εικόνα 5-9 Η σειρά ημιεύκαμπτων πάνελ eArche [Sunman, Iris Hellas](#)

Το βάρος των πάνελ της σειράς F ανέρχεται σε  $3,3 \text{ kg/m}^2$ , είναι εύκαμπτα, με ελάχιστη ακτίνα κάμψης τα 0,5 m. Σύμφωνα με τον Κατασκευαστή του, οι μονάδες SMF χρησιμοποιούν ένα σύνθετο οργανικό πολυμερές για να αντικαταστήσουν το τυπικό γυάλινο μπροστινό φύλλο, ως πλαστικοποιημένο. Το πολυμερές σύνθετο υλικό που χρησιμοποιείται είναι εξαιρετικά ανθεκτικό, ικανό να αντέχει σε ακραίες θερμοκρασίες και κλιματικές συνθήκες. Ο δε σχεδιασμός χωρίς πλαίσιο, εξαλείφει την ανάγκη γείωσης του πλαισίου, καθώς δεν υπάρχουν μεταλλικές επιφάνειες.

Το πάνελ της τεχνολογίας eArc είναι η πρώτη μονάδα του είδους της που σύμφωνα με τον Κατασκευαστή της, πέρασε τις ίδιες δοκιμές ανθεκτικότητας και ασφάλειας με τις αντίστοιχες μονάδες γυαλιού, συμπεριλαμβανομένων των IEC 61215: 2016, IEC61730: 2016 και UL1703 (ΗΠΑ). Το IEC61215 επιβεβαίωσε την ικανότητα της eArc να αντέχει σε παρατεταμένη έκθεση στην ύπαιθρο. Η eArc έχει επίσης περάσει πρόσθετες αξιολογήσεις ποιότητας ενόττητας, συμπεριλαμβανομένων 3000 ωρών υγρής θερμότητας, έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία (ισοδύναμο 25 ετών), PID, ομίχλης άλατος και διάβρωσης αμμωνίας<sup>89</sup>.

<sup>88</sup> [SMF430F-12X12UW \(425-430\) IEC EN 2022C \(sunman-energy.com\)](#)

<sup>89</sup> [| Ελαφριάς Ηλιακής Τεχνολογίας eArc Ηλιακή Ενέργεια \(sunman-energy.com\)](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Οι μονάδες SMF μπορούν να κολληθούν απευθείας στις στέγες με "Quick bonding"<sup>90</sup>, γρήγορη συγκόλληση δεν περιλαμβάνει βίδες και υλικά στήριξης, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία εγκατάστασης. Ένα string, αποτελούμενο από δύο πάνελ, όπως αυτά, θα αποδίδει ισχύ 860Wr, τιμή βέβαια κατά 13% χαμηλότερη της υπολογισμένης, κάτι που μπορούμε να το αντισταθμίσουμε τόσο με την ιδιαιτερότητα της σχεδίασης, που είναι ιδανική για την εφαρμογή, λόγω βάρους και ευκολίας τοποθέτησης, όσο και με τη χρήση των άλλων επικουρικών συστημάτων φόρτισης, ήτοι με ρεύμα πόλεως και με τον alternator του οχήματος.

Τα πάνελ συνδέονται στο κύκλωμα φόρτισης των μπαταριών, με διάφορους τρόπους. Ο πιο διαδεδομένος, ένας ρυθμιστής φόρτισης με MPP Tracker, καθώς η τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι μεγαλύτερη της τάσης των μπαταριών, είναι η μία λύση, την οποία και θα υιοθετήσουμε.

Προτείνεται ο Victron SmartSolar<sup>91</sup> 100/50 της Victron Energy, καθώς μπορεί να διαχειριστεί έως 1400 W ισχύ φωτοβολταϊκών και εργάζεται με μπαταρίες 24 V. Ο ρυθμιστής αυτός, θα προσαρμόζει τα φωτοβολταϊκά πάνελ στο σύστημα μπαταριών, φροντίζοντας τόσο την λειτουργία των πάνελ στο εκάστοτε μέγιστο σημείο ισχύος, μεγιστοποιώντας την απόδοση, όσο και στον έλεγχο της σωστής φόρτισης των μπαταριών.



Εικόνα 5-10 Ο προτεινόμενος ρυθμιστής φόρτισης ([victtronenergy.gr](http://victtronenergy.gr))

Από το φυλλάδιο τεχνικών χαρακτηριστικών, προκύπτει ότι το εύρος τάσης εξόδου που ενδέχεται να παράξει το πάνελ, καθώς και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να εμφανιστεί,

<sup>90</sup> [Η τεχνολογία γρήγορης συγκόλλησης βοηθά την ηλεκτρονική έρευνα να ανοίξει νέες αγορές φωτοβολταϊκών - σελίδα λεπτομερειών \(sunman-energy.com\)](http://www.sunman-energy.com)

<sup>91</sup> <https://www.victtronenergy.gr/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-100-30-&-100-50-EN.pdf>

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

βρίσκονται μέσα στο διαχειρίσιμο εύρος τιμών τάσεως και ρεύματος του ελεγκτή. Χρησιμοποιεί γρήγορο αλγόριθμο παρακολούθησης του μέγιστου σημείου ισχύος (MPPT), καθώς και έναν εξελιγμένο τρόπο ανίχνευσης του σημείου μέγιστης ισχύος σε περίπτωση μερικής σκίασης. Έχει εξαιρετική απόδοση μετατροπής, ψύξη με φυσική επαγωγή, χωρίς ανεμιστήρες, αυτόματη αναγνώριση της τάσης των μπαταριών και έναν ευέλικτο αλγόριθμο φόρτισης. Έχει προστασία από υπερθέρμανση, καθώς και περιορισμό της ισχύος σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας.

Οι μπαταρίες που επιλέγονται για το σύστημα, είναι δύο μπαταρίες των 25,6V τεχνολογίας λιθίου, των 200 Ah εκάστη, το μοντέλο Lithium Battery Smart 25,6V της Victron Energy<sup>92</sup>. Ο συγκεκριμένος τύπος, είναι Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>).



Εικόνα 5-11 Η προτεινόμενη μπαταρία λιθίου [Victron Energy](#)

Καθώς κάθε στοιχείο LFP έχει ονομαστική τάση 3,2V, η μπαταρία αποτελείται από 8 κελιά σε σειρά, εξ' ου και η τάση των 25,6V. Σύμφωνα με την εταιρία, σε συνδυασμό με το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας Lynx<sup>93</sup> Smart BMS, η αποθηκευτική συστοιχία τεχνολογίας LFP, έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Αντίθετα με τις μπαταρίες μολύβδου, οι οποίες γερνούν πρόωρα, εξ' αιτίας της θείκωσης, λόγω κακών συνθηκών φόρτισης και εκφόρτισης, οι μπαταρίες LFP δεν χρειάζεται να είναι πλήρως φορτισμένες, έχουν εξαιρετική κυκλική απόδοση φόρτισης, της τάξεως του 92%, έναντι 80% των μπαταριών μολύβδου – οξέος, πάρα πολύ μεγάλη απόδοση και πολύ μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης, καλύτερη απόδοση σε καταστάσεις βαθιάς εκφόρτισης, πάντα σε σχέση με τις αντίστοιχες μπαταρίες μολύβδου – οξέος.

Μπορεί το αρχικό κόστος εγκατάστασης αυτών των μπαταριών να είναι μεγαλύτερο, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο κόστος των μπαταριών μολύβδου – οξέος, μακροπρόθεσμα όμως, η διαφορά θα ισοσκελισθεί, λαμβάνοντας υπ' όψη την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, την

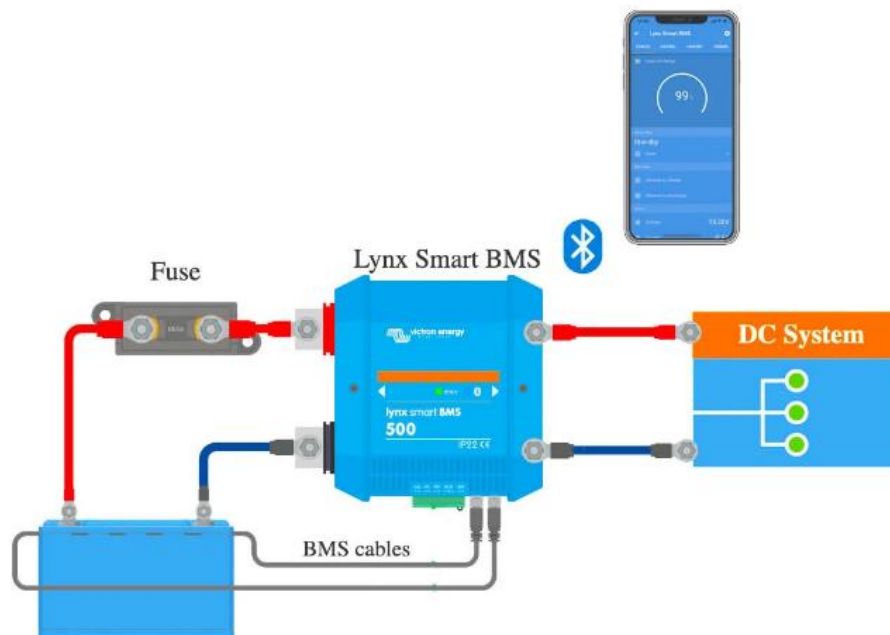
<sup>92</sup> [Datasheet-12,8-&-25,6-Volt-lithium-iron-phosphate-batteries-Smart-EN.pdf \(victronenergy.gr\)](#)

<sup>93</sup> [Lynx Smart BMS - Victron Energy](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ανώτερη αξιοπιστία και την εξαιρετική απόδοση, κάνοντας τις μπαταρίες LFP να είναι η σωστή επιλογή, βάση συσχέτισμού κόστους – οφέλους, σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος.

Οι συγκεκριμένες μπαταρίες, έχουν ενσωματωμένο κύκλωμα παρακολούθησης και εξισορρόπησης των κελιών τους, που σε συνδυασμό με το εξωτερικό Lynx Smart BMS, θα προσφέρουν στον χρήστη πλήρη εποπτεία του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Αξιοσημείωτο, είναι και το μικρό βάρος τους, οι οποίες, στα 78kg, υπερτερούν έναντι των 200kg μιας συστοιχίας Gel της υπάρχουσας σχεδίασης.



Εικόνα 5-12 Η σύνδεση του Lynx BMS με την μπαταρία και το λογισμικό επισκόπησης [\[suntrack.pl\]](http://suntrack.pl)

Το σύστημα αποθήκευσης εργάζεται, τόσο λόγω της ισχύος του, όσο και λόγω της απαίτησης συμβατότητας με τα στρατιωτικά συστήματα, με τάση 24V. Για λόγους απλότητας και απόδοσης που προαναφέρθηκαν και προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι καταναλώσεις των 12V, θα χρησιμοποιηθεί ο μετατροπέας DC/DC Victron Orion<sup>94</sup> 24/12 -20, ο οποίος μετατρέπει τα 24V του συστήματος σε 12V. Το μοντέλο Orion έχει ένα ευρύ φάσμα τάσεως εισόδου από 18 έως 35V, τάση εξόδου 12,5V, και υψηλή απόδοση 97%, στο πλήρες φορτίο.

<sup>94</sup> [Datasheet-Orion-Tr-DC-DC-converters-low-power,-non-isolated-EN.pdf \(victronenergy.gr\)](https://www.victronenergy.com/Data/Datasheet-Orion-Tr-DC-DC-converters-low-power,-non-isolated-EN.pdf)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 5-13 Ο μετατροπέας DC/DC για την τροφοδότηση των 12βολτων συσκευών ([frenchman-energy.eu](http://frenchman-energy.eu))

Ένα από τα κρίσιμα στοιχεία της σχεδίασης, είναι ο αντιστροφέας – φορτιστής Victron MultiPlus<sup>95</sup> 24/2000/50. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του, αποτελεί μια συσκευή που συνδυάζει έναν ισχυρό αντιστροφέα καθαρού ημιτόνου, έναν εξελεγμένο φορτιστή μπαταριών, μαζί με έναν μεταγωγικό διακόπτη, πολύ υψηλής ταχύτητας, όλα σε μια συσκευή.



Εικόνα 5-14 Ο προτεινόμενος αντιστροφέας – φορτιστής Victron ([kampetorpmarin.com](http://kampetorpmarin.com))

Έχει τη δυνατότητα πολλαπλών ρυθμίσεων, τον περιορισμό του ποσού της ισχύος που εισάγεται μέσω του δικτύου πόλεως, την επιλογή τροφοδότησης των φορτίων του είτε από την εξωτερική πηγή, είτε σε συνδυασμό με την μπαταρία, καθώς και την εξελεγμένη αυτόματη διαδικασία φόρτισης των μπαταριών, τριών σταδίων. Αυτός ο αντιστροφέας – φορτιστής, θα

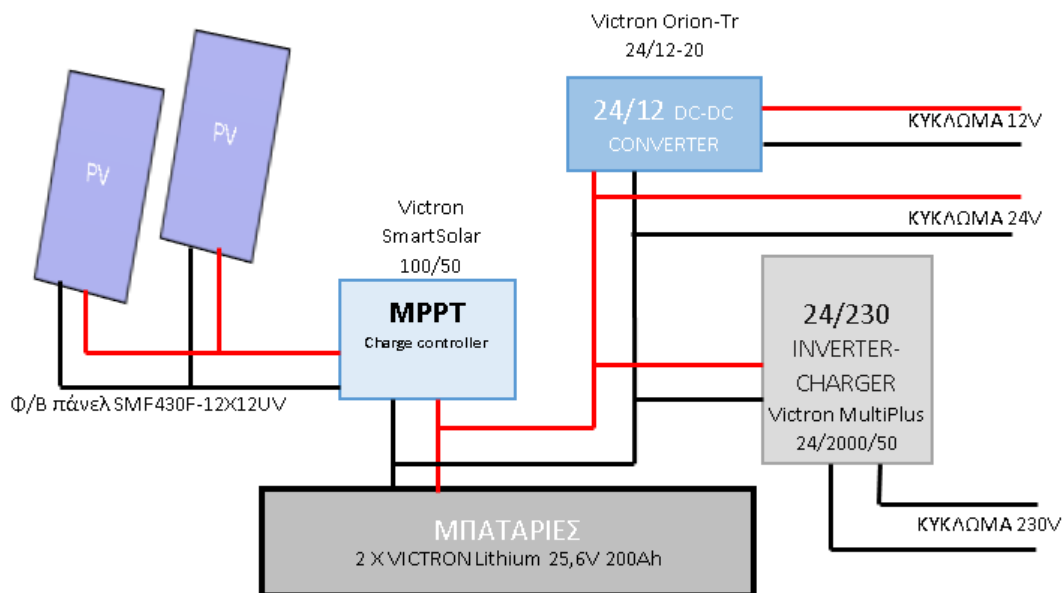
<sup>95</sup> [Datasheet-MultiPlus-500VA-2000VA-EN.pdf](https://www.victronenergy.gr/Data/Datasheet-MultiPlus-500VA-2000VA-EN.pdf) ([victronenergy.gr](http://victronenergy.gr))



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

δίνει τη δυνατότητα στο σύστημά μας, να φορτίζει από το ρεύμα πόλεως, αλλά και θα παρέχει ισχύ στο κύκλωμα 230V του συστήματος, κατά την αυτόνομη λειτουργία.

Οι παραπάνω συσκευές, που απαρτίζουν το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας, είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους και ο κατασκευαστής τους προσφέρει την συσκευή διασύνδεσης με το χρήστη, η οποία και παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο όλες τις λειτουργίες, προσφέροντας πλήρη παραμετροποίηση, με σημαντικότερη λειτουργία την έγκαιρη και σαφή προειδοποίηση του χρήστη, για την υγεία των μπαταριών, την απομένουσα στάθμη ενέργειας και προειδοποιήσεις πιθανόν δυσλειτουργιών. Το ίδιο το σύστημα, όντας διασυνδεδεμένο, προσφέρει λειτουργία self-check, καθώς και shut-down, σε περίπτωση ανίχνευσης κρίσιμης κατάστασης, λειτουργίες, που δεν υπήρχαν στην αρχική σχεδίαση.



Εικόνα 5-15 Μπλοκ διάγραμμα του υβριδικού συστήματος με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Όλη η κατασκευή, θα διασυνδεθεί με καλώδια που ήδη υπάρχουν στη συσκευασία κάθε απαρτίου, με την καλωδίωση των φωτοβολταϊκών, με καλώδιο 4mm<sup>2</sup> και ακροδέκτες MC4, να συνδέεται, με ίδιας διατομής καλώδιο τύπου solar, μήκους το μέγιστο 4 μέτρων, στον κεντρικό πίνακα παροχής ισχύος της εγκατάστασης. Το μέγιστο εκτιμώμενο ρεύμα βραχυκυκλώσεως από τα δύο πάνελ, που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, είναι 26,8A, το οποίο και καλύπτεται από τη διατομή των 4mm<sup>2</sup> του solar cable. Από εκεί, με διευθέτηση των ήδη υπάρχοντων αγωγών, θα γίνει ανακατάταξη των συσκευών, αφαίρεση των παλαιών και τοποθέτηση των καινούριων.

Καθώς η εγκατάσταση είναι ήδη διαστασιολογημένη για μεγάλα ρεύματα, η καλωδίωση των 6mm<sup>2</sup>, 10mm<sup>2</sup> και 16 mm<sup>2</sup> σε κάποια σημεία, κρίνεται επαρκής και δεν κρίνεται σκόπιμο

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

να αλλαχθεί. Εξ' άλλου, στην υφιστάμενη κατάσταση, οι τιμές τάσεως των 12V και 24V, δεν εμφάνιζαν απώλειες σε όλο το δίκτυο καταναλώσεων, αφού και οι αγωγοί είναι ικανοποιητικής διατομής, αλλά και οι αποστάσεις μεταξύ μπαταρίας και κατανάλωσης πάρα πολύ μικρές, της τάξεως του ενός ή δυο μέτρων. Αυτό που θα πρέπει να προστεθεί στον πίνακα, είναι ένας ασφαλειοδιακόπτης για τα φωτοβολταϊκά, ως νέα προσθήκη παροχής ισχύος.

### 5.3.3 Χωροθέτηση

Η τοποθέτηση των πάνελ, γίνεται στην οροφή του οχήματος, σε χώρο όπου σύμφωνα με την τωρινή σχεδίαση, είναι για μεταφορά υλικών και μελλοντική χρήση. Οι διαστάσεις του, είναι υπεραρκετές, έτσι ώστε να τοποθετηθούν ακόμα και πάνελ μεγάλης ισχύος, έχοντας ωφέλιμο διαθέσιμο μήκος άνω των 2500mm και διαθέσιμο πλάτος περί τα 1400mm. Έτσι, τα επιλεγμένα πάνελ της δοκιμής, μπορούν να στερεωθούν με ελάχιστες τροποποιήσεις.

Καθώς το υλικό της υπερκατασκευής, στο σημείο που προτείνεται για την τοποθέτηση είναι ενισχυμένο fiberglass με μεταλλικές δοκούς υποστήριξης, δεν θα υπάρξει δυσκολία για το άνοιγμα οπών, τόσο για τη στερέωση των πάνελ, όσο και για την όδευση των καλωδίων ισχύος. Για τον σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση όδευσης καλωδίων, που χρησιμοποιείται από το σύστημα αισθητήρων, η οποία και έχει χωρητικότητα για τα καλώδια, αλλά και εγγυάται αδιαβροχοποίηση στην είσοδό τους στο τμήμα ισχύος του οχήματος.



Εικόνα 5-16 Η ενδεικτική τοποθέτηση των πάνελ στην οροφή του οχήματος

Τα καλώδια των πάνελ, θα οδηγηθούν, μέσω διπολικού διακόπτη, στην ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση και θα πάρουν τη θέση στον υπάρχοντα πίνακα ασφαλειών, στην θέση που καταλάμβανε ο φορτιστής μπαταριών.



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**Εικόνα 5-17 Το σημείο όδευσης των καλωδίων προς το εσωτερικό του οχήματος**

Στη συνέχεια, μετά την ασφάλεια, θα οδηγηθούν στον υβριδικό ελεγκτή φόρτισης, η έξοδος του οποίου θα οδηγηθεί στο bus bar του χώρου μπαταριών, μέσω της υπάρχουσας καλωδίωσης. Η είσοδος των 230V από το δίκτυο πόλεως, μέσω των υπάρχουσών καλωδίων, θα οδηγηθεί με τη σειρά της στον υβριδικό ελεγκτή φόρτισης, με τον ίδιο τρόπο που τροφοδοτούσε το προηγούμενο inverter.

Τέλος, οι μπαταρίες, συνδέονται στο DC bus bar των προηγούμενων μπαταριών, μέσω καλωδίων ίδιας διατομής με αυτές, εάν είναι δυνατόν, ακόμα και με την χρήση των ιδίων καλωδίων, τροποποιώντας το μήκος τους, αναλόγως.



**Εικόνα 5-18 Το bus bar των θετικών ακροδεκτών**

Τα καλώδια εσωτερικής διασύνδεσης των συσκευών διαχείρισης της αποθήκευσης, μέσω ενός τοπικού δικτύου, συνδέονται στις αντίστοιχες συσκευές, οδεύονται καταλλήλως προς τον υπολογιστή και προς την συσκευή απεικόνισης λειτουργικής κατάστασης φόρτισης, κάνοντας χρήση των ήδη υπάρχοντων καναλιών.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Βλέπουμε ότι η χωροθέτηση των συστημάτων που απαρτίζουν την τροποποίηση, δεν θα επιφέρει σημαντικό χωροταξικό φορτίο στην εγκατάσταση, είναι τεχνικά μη πολύπλοκη, ικανοποιώντας το αίτημα για μη διατάραξη της υφιστάμενης σχεδίασης. Αντιθέτως, έχει υπάρξει σημαντική μείωση στο φερόμενο βάρος στον πίσω άξονα, τόσο από την μείωση του συνολικού βάρους των μπαταριών, όσο και από την αντικατάσταση των φορτιστών και του inverter από συσκευή ιδίων διαστάσεων και χαμηλότερου συνολικού βάρους, η οποία μείωση δεν αντισταθμίζεται με το βάρος που προστέθηκε στην οροφή, καθώς είχε ήδη προβλεφθεί η μεταφορά μικρών φορτίων στον συγκεκριμένο χώρο.

#### **5.3.4 Δοκιμή – Έλεγχος**

Ύστερα από την εγκατάσταση και προ της ηλεκτρίσης του συστήματος, θα διενεργηθεί μια σειρά ενδεδειγμένων ελέγχων, προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα της εγκατάστασης, η σωστή διακλάδωση των καλωδίων, η αποφυγή κατεστραμμένων μονώσεων κατά την φάση τοποθέτησης.

Αρχικά, ένας οπτικός έλεγχος της συμβατότητας με το σχέδιο, έλεγχος ορθής τάσης σύσφιξης, στα σημεία που υπάρχουν βίδες, έλεγχος για τη συνέχεια των κυκλωμάτων και για την απουσία βραχυκυκλωμάτων, στις ενώσεις των ηλεκτρικών καλωδίων, καθώς και έλεγχος της ορθής όδευσης των καλωδίων στα κανάλια οδεύσεως, μαζί με έλεγχο για την σωστή τοποθέτησή τους, ώστε να μην κρέμονται και εμποδίζουν άλλα κινούμενα μέρη της εγκατάστασης. Κατά την ηλεκτρίση του συστήματος, θα μετρηθούν στα σημεία ελέγχου, εάν εμφανίζονται οι προβλεπόμενες από τη σχεδίαση τιμές τάσης και ρεύματος.

Εάν οι έλεγχοι βρεθούν εντός των ορίων, το σύστημα θα παραμείνει σε ανοιχτό χώρο, μέχρι την πλήρη φόρτιση των μπαταριών του, επιβεβαιώνοντας τους αναμενόμενους χρόνους φόρτισης και στη συνέχεια, σε κλειστό χώρο, θα ενεργοποιηθούν τα πιο ενεργοβόρα συστήματα, ώστε να διαπιστωθεί ο χρόνος που απαιτείται μέχρι το άδειασμα των μπαταριών. Ολοκληρώνοντας έναν κύκλο λειτουργίας, εφόσον όλα τα συστήματα εργάστηκαν χωρίς τεχνική δυσλειτουργία, θα διαπιστωθεί η λειτουργικότητα της εγκατάστασης.

#### **5.3.5 Τεχνική αξιολόγηση**

Σύμφωνα με τους ισχύοντες στρατιωτικούς Κανονισμούς, οι οποίοι διέπουν την τεχνική υποστήριξη του ΣΞ, καθώς και από ΝΑΤΟικές STANAG, ύστερα από οποιαδήποτε μεγάλη ή μικρή επέμβαση στο αρχικό σχέδιο μιας ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης, ή ύστερα από τροποποίηση οποιουδήποτε απαρτίου, είναι απαραίτητη η διενέργεια Τεχνικής αξιολόγησης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν η επέμβαση ήταν επιτυχής, τεχνικά ορθή, δεν

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

επηρεάζει σε οποιονδήποτε τομέα την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος και δεν διακυβεύεται η ασφάλεια τόσο του προσωπικού, όσο και του ιδίου του υλικού.

Η Τεχνική αξιολόγηση, θα διενεργηθεί από μια επιτροπή, απαρτιζόμενη από Μηχανολόγο ή Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, συνήθως τον Προϊστάμενο της Δ/σης Μελετών ή Κατασκευών, και από τρία μέλη, Τεχνικό προσωπικό, συναφών με το εγχείρημα ειδικοτήτων. Λαμβάνοντας υπόψη το σκεπτικό της τεχνικής επέμβασης που διενεργήθηκε, τα σχέδια που συνοδεύουν το Υλικό, καθώς και τα τεχνικά φυλλάδια και εγχειρίδια των συσκευών που τροποποιήθηκαν, ύστερα από εμπειροτεχνική εξέταση του Συστήματος και λειτουργική του δοκιμή, αποφαίνονται εάν στα σημεία που διενεργήθηκε η αξιολόγηση, το Σύστημα είναι τεχνικά ορθό, προτείνοντας και την Επιχειρησιακή του αξιολόγηση, στο πεδίο. Η έκθεση, αφού υπογραφεί από τους εμπλεκόμενους, θα αποσταλεί σε ανώτερο κλιμάκιο, την Δ/ση Τεχνικού του Σχηματισμού, προς τελική έγκριση.

Μετά την έγκρισή της, ξεκινά η συγγραφή της Τεχνικής Οδηγίας, η οποία περιέχει τα σχέδια, τον κατάλογο υλικών, αναλυτικές οδηγίες κατασκευής, την τιμολόγηση του έργου, καθώς και εικόνες από την διαδικασία κατασκευής, έτσι ώστε να αποτελεί τον πλήρη οδηγό για τις επόμενες κατασκευές. Η Τεχνική Οδηγία, θα εγκριθεί, ύστερα από την επιτυχή επιχειρησιακή αξιολόγηση, εφ' όσον δεν απαιτηθούν αλλαγές και δεν υπάρξουν περεταίρω τροποποιήσεις.

### **5.3.6 Επιχειρησιακή αξιολόγηση**

Μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών κατασκευής και τεχνικής αξιολόγησης, το σύστημα θα διατεθεί στον τελικό Χρήστη του, προκειμένου να γίνει η λεγόμενη επιχειρησιακή αξιολόγηση.

Σύμφωνα με το ισχύον πρωτόκολλο, το σύστημα θα ενταχθεί σε υπηρεσία, οι όποιες έξοδοί του θα διενεργούνται κανονικά, σύμφωνα με τις ισχύουσες διαταγές. Κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας του, οι χειριστές, θα πρέπει να καταγράφουν λεπτομερώς, οποιεσδήποτε δυσλειτουργίες προκύψουν, καθώς και όποιες παρατηρήσεις ενδεχομένως υπάρξουν. Η διαδικασία της επιχειρησιακής αξιολόγησης, στην ουσία είναι μια δοκιμή επ' έργω, όλων των επιμέρους συστημάτων που απαρτίζουν το όλο Σύστημα. Οι δοκιμές επιχειρησιακής αξιολόγησης είναι ενδεδειγμένες και αφορούν όλο το φάκελο λειτουργίας.

Επειδή ελλοχεύει ο κίνδυνος αστοχίας υλικού, ανά πάσα στιγμή, ο επιχειρησιακός φορέας δεν θα υπολογίζει το υπό αξιολόγηση σύστημα στα επιχειρησιακά του σχέδια, μολονότι το σύστημα υπηρετεί σαν επιχειρησιακό.

Μετά την παρέλευση του προδιαγεγραμμένου χρονικού διαστήματος επιχειρησιακής αξιολόγησης, υποβάλλεται στην Υπηρεσία το πρακτικό επιχειρησιακής αξιολόγησης και

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

εφόσον δεν υπάρχουν παρατηρήσεις και αστοχίες, το Σύστημα εντάσσεται στην διάθεση του σχηματισμού και του τελικού του χρήστη. Ταυτόχρονα, επικυρώνεται η Διαταγή Τροποποίησης, που εμπεριέχει την Τεχνική Οδηγία με την λεπτομερή καταγραφή των σταδίων υλοποίησης και αναρτάται στο Δίκτυο Τεχνικών Οδηγιών της Δ/νσης Τεχνικού, ώστε να είναι προσβάσιμη από όλους τους καθ' ύλην ενδιαφερόμενους.

#### **5.4 Φάκελος λειτουργίας**

Προκειμένου να γίνει πλήρης και ασφαλής αξιοποίηση της νέας πλατφόρμας ισχύος, θα πρέπει να επικαιροποιηθεί το Τεχνικό Εγχειρίδιο του συστήματος.

Με γνώμονα την Τεχνική Οδηγία, η οποία είναι η αναλυτική περιγραφή όλου του εγχειρήματος, από τα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά σχέδια και τον κατάλογο υλικών και αναλωσίμων, μέχρι την λεπτομερή περιγραφή, με εικόνες και σχέδια, του τρόπου υλοποίησης, θα αποτυπωθούν αναλυτικά οι χειρισμοί που απαιτούνται από τον Χειριστή, τα σημεία που χρήζουν ειδικής προσοχής και οι περιορισμοί, οι οποίοι επιβάλλονται ώστε η χρήση να είναι ασφαλής, τόσο για το προσωπικό, όσο και για το υλικό, καθ' αυτό.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, θα πρέπει να τονισθεί το εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας των μπαταριών, να περιγραφούν οι κινήσεις που πρέπει να γίνουν από τον χειριστή σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες, καθώς και οι απαιτήσεις από αυτόν. Συγχρόνως, θα πρέπει να χαραχθεί ένα χρονοδιάγραμμα ελέγχων και προληπτικής συντήρησης της εγκατάστασης, καθώς και η δημιουργία της ημερήσιας προ και μετά την χρήση ρουτίνας ελέγχων και καθαρισμών, υπό τη μορφή check list. Τέλος, θα πρέπει να επισυναπτούν στο Φάκελο του Οχήματος, όλα τα τεχνικά εγχειρίδια των επί μέρους συσκευών, τα οποία και θα οφείλουν να συμβουλευούνται τόσο χειριστής, όσο και ο τεχνικός που θα ενασχοληθεί με το Σύστημα, είτε προληπτικά, είτε επισκευαστικά.

Η κατάλληλη και επαρκής συντήρηση σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι εκ των ουκ άνευ, προκειμένου για να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία του εξοπλισμού, όπως και η μακροζωία της. Μεσοπρόθεσμα, θα επιφέρει μείωση των βλαβών, άρα και μείωση του κόστους λειτουργίας, παράλληλα με μεγιστοποίηση της απόδοσης λειτουργίας της εγκατάστασης και την επέκταση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού.

Κατά τη διάρκεια των τακτικών συντηρήσεων του οχήματος, σε εβδομαδιαία, τριμηνιαία και ετήσια βάση, θα πρέπει να προβλεφθεί και αντίστοιχος έλεγχος στο σύστημα παραγωγής, διαχείρισης και αποθήκευσης της ενέργειας, ο οποίος θα περιλαμβάνει τυχόν ενέργειες που προβλέπει ο κατασκευαστής των απαρτίων, οπτικό έλεγχο όλης της εγκατάστασης, σε εβδομαδιαία βάση, τριμηνιαίο έλεγχο και καθαρισμό όλων των συνδέσεων, του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, με αλλαγή τυχόν φθαρμένων υλικών.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Εκτός της τακτικής συντήρησης, απαιτείται να διασφαλιστεί το ότι δε θα υπάρξει μείωση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, κυρίως λόγω εναπόθεσης σκόνης, γύρης, ή περιττωμάτων από πουλιά, πάνω στα πάνελ, κάτι που ενδέχεται να προκαλέσει όχι μόνο μείωση της απόδοσης, αλλά και πρόωρη φθορά, ακόμα και καταστροφή των πάνελ. Ένας γρήγορος καθαρισμός της επιφάνειας των πάνελ προ αναλήψεως υπηρεσίας του οχήματος, θα πρέπει να ενταχθεί στην καθημερινή ρουτίνα των προ της εκκινήσεως ελέγχων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Εξομοίωση με το PVsyst**

Προκειμένου να εκτιμήσουμε το αν η προτεινόμενη σχεδίαση θα είναι όντως λειτουργική, έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε μια προκαταρκτική εκτίμηση, με τη βοήθεια ενός ισχυρού λογισμικού προσομοίωσης. Λαμβάνοντας υπόψη την σχεδίαση και έχοντας στη διάθεσή του μετεωρολογικά δεδομένα υψηλής ποιότητας και αξίας, το λογισμικό PVsyst, θα μας δείξει εκ των προτέρων, εάν η σχεδίαση είναι εφικτή και το κατά πόσο θα αξίζει να επενδύσουμε, χωρίς το ρίσκο μιας λανθασμένης υλοποίησης.

### **6.1 Περιγραφή λογισμικού**

Το λογισμικό εξομοίωσης PVsyst, είναι ένα ισχυρό λογισμικό προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και έχει σχεδιαστεί για χρήση από αρχιτέκτονες, μηχανικούς, αλλά και ερευνητές.

Όντας ένα πολύ χρήσιμο εκπαιδευτικό εργαλείο, περιλαμβάνει ένα λεπτομερές μενού βοήθειας, με βάση τα συμφραζόμενα, που εξηγεί τις διαδικασίες και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, προσφέροντας μια φιλική προς το χρήστη προσέγγιση, καθοδηγώντας τον στην ανάπτυξη ενός έργου. Το PVsyst είναι σε θέση να εισάγει μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς και προσωποποιημένα δεδομένα, από πολλές διαφορετικές πηγές.

Ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια γρήγορη και απλή διαδικασία, όπου μας ζητείται να καθορίσουμε την επιθυμητή ισχύ ή το διαθέσιμο χώρο για την ανάπτυξη του έργου. Στη συνέχεια μας ζητείται να επιλέξουμε τη φωτοβολταϊκή μονάδα από την εσωτερική βάση δεδομένων, μέσω αναπτυσσόμενου μενού και ακολούθως την επιλογή του μετατροπέα, επίσης από την εσωτερική βάση δεδομένων, πάλι από αναπτυσσόμενο μενού. Το PVsyst θα προτείνει μια ενδεικτική διαμόρφωση για το σύστημά μας, η οποία θα μας επιτρέπει να πραγματοποιήσουμε μια προκαταρκτική προσομοίωση.

Το λογισμικό περιλαμβάνει ένα σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων προειδοποίησης ή σφαλμάτων, με χρωματική κωδικοποίηση. Εάν υπάρχει αναντιστοιχία, πρόβλημα ή προειδοποίηση, αναφορικά με το σχέδιο ή τις επιλογές μας, υπάρχει ενημέρωση μέσω αντίστοιχου πλαισίου εμφάνισης, μηνυμάτων και προειδοποιήσεων.

Υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν διαφορετικές απώλειες, όπως κοντινές και μακρινές σκιάσεις, καθώς και εργαλεία για την αξιολόγηση διαφορετικών απωλειών λόγω καλωδίωσης, ποιότητας μονάδας, αναντιστοιχίας μεταξύ μονάδων, ρύπανσης, θερμικής συμπεριφοράς, μηχανικής τοποθέτησης, μη διαθεσιμότητας συστήματος κ.λπ.

Στη συνέχεια, η προσομοίωση, θα υπολογίσει την κατανομή της ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και θα εκδώσει αναφορά αποτελεσμάτων, όπως η συνολική παραγωγή

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ενέργειας σε MWh/έτος, οποία είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της απόδοσης και του κέρδους του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος, τον λόγο απόδοσης PR, σε ποσοστό επί τοις εκατό, ο οποίος περιγράφει την ποιότητα του ίδιου του συστήματος, αλλά και την ειδική ενέργεια, εκφρασμένη σε kWh/kWp, που είναι ένας δείκτης παραγωγής με βάση τη διαθέσιμη ακτινοβολία, συναρτήσει της θέσης και τον προσανατολισμό<sup>96</sup>.

Η έκθεση αξιολόγησης, σε μορφή .pdf παρουσιάζει τα κύρια ενεργειακά κέρδη ή ζημίες, με την αναφορά να μπορεί να προσαρμοστεί, προτού γίνει το export της. Είναι ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει τη γρήγορη ανάλυση της συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς και την εξέταση πιθανών βελτιώσεων στο σχεδιασμό.

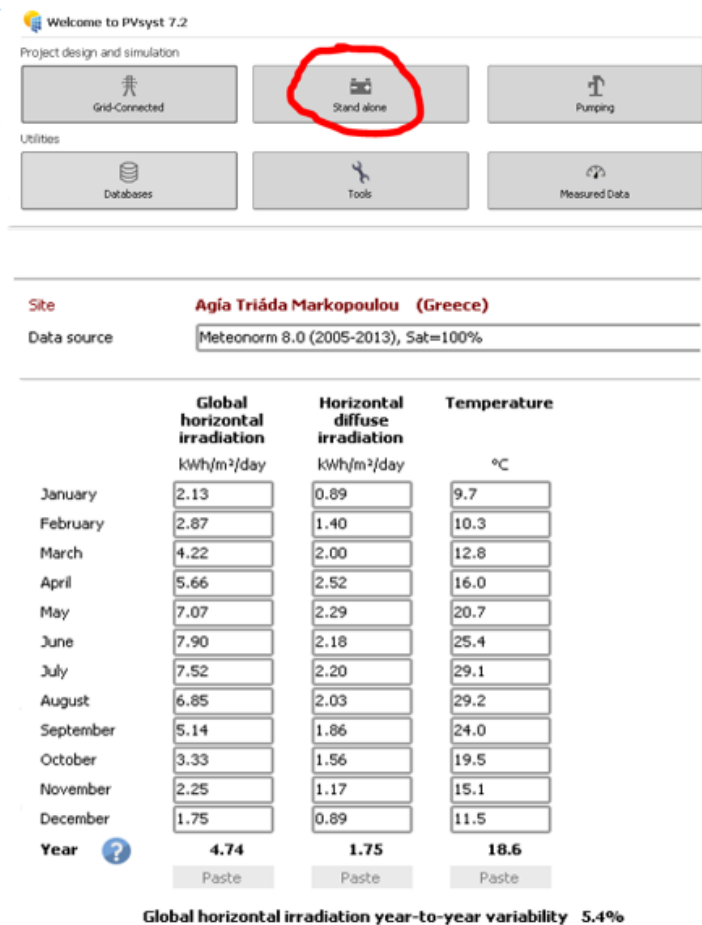
---

<sup>96</sup> [Features – PVsyst](#)



## 6.2 Εισαγωγή στοιχείων

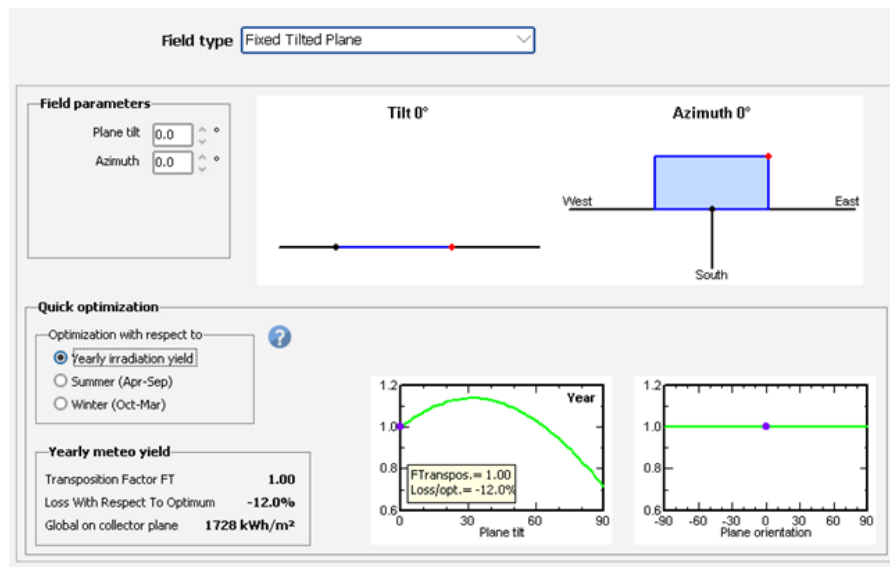
Έχοντας κατά νου το πως θα θέλουμε να είναι το σύστημά μας, μπορούμε να ξεκινήσουμε την διαδικασία εξομοίωσης, μέσω του προγράμματος PVsyst. Το συγκεκριμένο σύστημα, εμπίπτει στην κατηγορία των αυτόνομων φωτοβολταϊκών. Αρχικά, επιλέγουμε την κατηγορία project, που στην περίπτωση μας είναι η stand-alone project. Αφού δώσουμε ένα όνομα στο project, θα επιλέξουμε την τοποθεσία που μας ενδιαφέρει, πάνω στον εμφανιζόμενο χάρτη και θα εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.



Εικόνα 6-1 Επιλογή project και εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής

Η περιοχή που επιλέχθηκε είναι η περιοχή πέριξ του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος των Αθηνών και στο λογισμικό ονομάζεται Αγία Τριάδα Μαρκοπούλου. Αποθηκεύουμε τις προτιμήσεις μας και επαναφερόμαστε στην οθόνη όπου θα εισάγουμε τις παραμέτρους προσανατολισμού, στην επιλογή Orientation. Εκεί, επιλέγουμε “Fixed Tilted Plane” και γωνία κλίσης τη μηδενική, καθώς, για τις ειδικές ανάγκες της σχεδίασης τα πάνελ θα πρέπει να βρίσκονται στην οροφή του οχήματος, οριζόντια και σε σταθερές βάσεις. Αυτή η επιλογή, όπως φαίνεται και στην εικόνα που μας δείχνει τη συγκεκριμένη ρύθμιση, μπορεί να επιφέρει μέσες απώλειες, σε σχέση με την ιδανική γωνία κλίσης, της τάξης του 12%, σε ετήσια βάση.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 6-2 Επιλογή της γωνίας κλίσης του πάνελ

Στην επιλογή User's needs, θα αποτυπωθούν οι καταναλώσεις που υπάρχουν στο Σύστημα, μαζί με την ισχύ τους, τον χρόνο λειτουργίας τους και την κατανομή του χρόνου κάθε συσκευής, στο 24ωρο, δίνοντας σημασία στις πάγιες καταναλώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου, που μπορεί να υπάρχουν και οφείλονται στην κατανάλωση της κατάστασης αναμονής ορισμένων συσκευών. Στην περίπτωσή μας, θα εισαχθεί μια συνολική κατανάλωση, κανονικοποιημένη, η οποία και θα αντιπροσωπεύει το σύνολο των επιμέρους συσκευών, για ευνότητα λόγους.

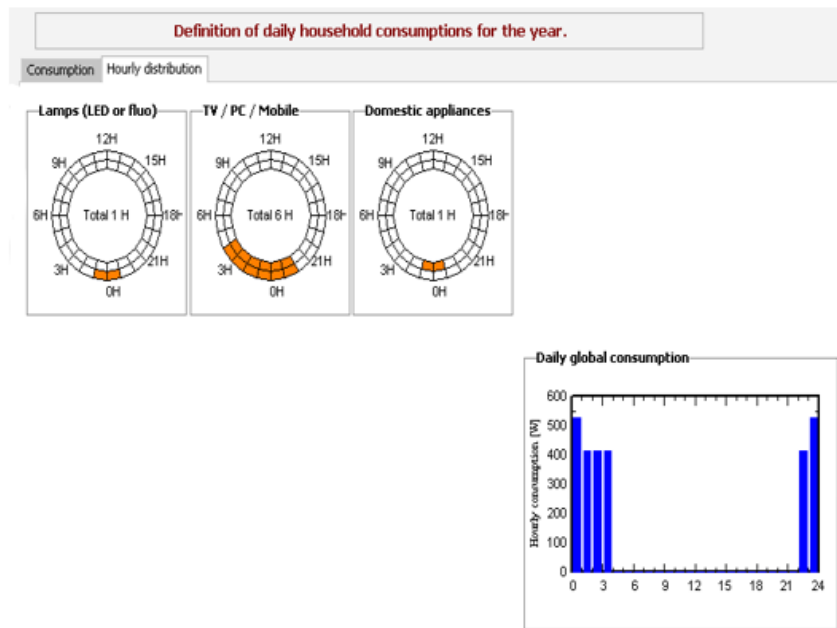
Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy
1	Lamps (LED or fluo)	150 W/lamp	1.0 h/day	OK	150 Wh
1	TV / PC / Mobile	410 W/app	6.0 h/day	OK	2460 Wh
2	Domestic appliances	40 W/app	1.0 h/day	OK	80 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	24.0		0 Wh
0	Dish- and Cloth-washer	0.0 W aver.	2.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		3 W tot	24 h/day		72 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>2762 Wh/day</b>
<b>Monthly energy</b>					<b>82.9 kWh/mth</b>

<b>Consumption definition by</b> <input checked="" type="radio"/> Years <input type="radio"/> Seasons <input type="radio"/> Months	<b>Week-end or Weekly use</b> <input type="checkbox"/> Use only during <input checked="" type="checkbox"/> 7 days in a week
---	---

Εικόνα 6-3 Αποτύπωση των καταναλώσεων

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 6-4 Κατανομή των καταναλώσεων στο 24ωρο

Στη συνέχεια, μας ζητείται η παραμετροποίηση του συστήματος, με την επιλογή των ημερών αυτονομίας, τον τύπο και την ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ, τον τύπο και την ισχύ του αντιστροφέα. Ήδη, στη ροζ περιοχή, έχει εμφανιστεί μια προκαταρκτική διαστασιολόγηση, βασισμένη στις μέσες ημερήσιες ανάγκες, στις απαιτούμενες ημέρες αυτονομίας, καθώς και στην ποσοστιαία τιμή της παραμέτρου «LOL» (Loss of Load). Αυτή η τιμή είναι η πιθανότητα να μην μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες του χρήστη από την αποθηκευμένη ενέργεια, δηλαδή το κλάσμα του χρόνου κατά το οποίο η μπαταρία είναι εκτός, λόγω χαμηλής φόρτισης. Κατά τη διαδικασία διαστασιολόγησης, η ποσόστωση LOL επιτρέπει τον προσδιορισμό του μεγέθους της συστοιχίας φωτοβολταϊκών που απαιτείται, για μια δεδομένη χωρητικότητα μπαταρίας.



Εικόνα 6-5 Επίδραση του ποσοστού Loss Of Load στα χαρακτηριστικά των πάνελ

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Στην περίπτωση μας, θα χρησιμοποιήσουμε τους υπολογισμούς φωτοβολταϊκής ισχύος, καθώς και χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης, για να παραμετροποιήσουμε το σύστημα. Έχοντας τα καταγεγραμμένα φορτία μας, έχει υπολογιστεί ότι έναν τυπικό καλοκαιρινό μήνα, θα χρειαστούμε φωτοβολταϊκή ισχύ, περίπου 1000Wp. Επίσης, για να τροφοδοτήσουμε τα φορτία μας, υπολογίστηκε χωρητικότητα μπαταριών, περίπου 400Ah.

**Specify the Battery set**

Sort batteries by  voltage  capacity  manufacturer

Victron Energy 25.6 V 180 Ah Li LFP LFP-CB 25.6V / 180Ah Since 2017

Lithium-ion The selected battery is a module

1  modules in series Number of modules 2

2  modules in parallel

100.0 % Initial State of Wear (nb. of cycles) Number of elements 928

100.0 % Initial State of Wear (static) Total stored energy during the battery life 14588 kWh

Battery pack voltage 26 V  
Global capacity 360 Ah  
Stored energy (80% DOD) 8.3 kWh  
Total weight 110 kg  
Nb. cycles at 80% DOD 2000

Εικόνα 6-6 Επιλογή μπαταρίας, πλαισίων και ελεγκτή φόρτισης

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, επιλέχθηκαν δύο μπαταρίες Victron Energy, λιθίου, τάσεως 25,6V και χωρητικότητα 180Ah η κάθε μία, οι οποίες και συνδέθηκαν παράλληλα, έχοντας μια συνολική αποθηκευτική χωρητικότητα των 360Ah, με αποθηκευτική ισχύ τα 8,3kWh, σε βάθος εκφόρτισης 80%.

**Select the PV module**

All modules Sort modules  Power  Technology

Generic 440 Wp 35V Si-mono Mono 440 Wp Twin 144 F Since 2020 Typical

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 35.8 V  
Voc (-10°C) 55.1 V

**Select the control mode and the controller**

Universal controller All manufacturers MPPT power converter

Max. Charging - Discharging current

MPPT 1000 W 26 V 38 A 19 A Universal controller with MPPT conve G

The operating parameters of the universal controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.

**PV Array design**

Number of modules and strings

Mod. in series 1 should be:  No constraint

Nb. strings 2  between 3 and 4

Nb. modules 2 Area 4 m²

Operating conditions:

Vmpp (60°C) 36 V  
Vmpp (20°C) 42 V  
Voc (-10°C) 55 V

Plane irradiance 1000 W/m²

Imp (STC) 21.2 A  
Isc (STC) 22.5 A  
Isc (at STC) 22.2 A

Max. operating power 0.9 kW  
(at 1000 W/m² and 50°C)

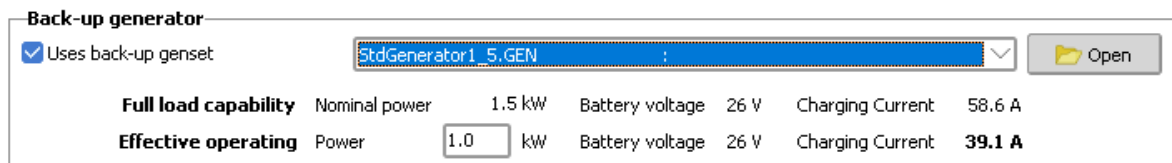
Array nom. Power (STC) 880 Wp

Εικόνα 6-7 Επιλογή φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Για την υλοποίηση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, επιλέχθηκαν δύο πάνελ της Sunman, τα SMF430F-12X12-UW, μονοκρυσταλλικά πυριτίου, 144 κελιών, αποδόσεως 19,4%,

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

ονομαστικής ισχύος 430Wp, έκαστο, σε STC συνθήκες. Για την προσομοίωση, όμως, η πιο ταιριαστή επιλογή ήταν τα Generic, στα 440Wp, 144κελιών. Τα πάνελ, συνδέθηκαν παράλληλα, με συνολική τάση  $V_{mp}$  τα 42V στους 20°C και ρεύμα  $I_{mp}$  τα 21,5A, σε STC συνθήκες. Η συνολική ονομαστική ισχύς, θα ανέρχεται σε περίπου 0,9kWp, σε STC συνθήκες. Για ελεγκτή φόρτισης, το σύστημα επιλέγει έναν charge controller MPPT Generic, γενικής χρήσης, με την ισχύ του και τα χαρακτηριστικά του να προσαρμόζονται αυτόματα στο σύστημα, οπότε δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον ρύθμιση από τον χρήστη.

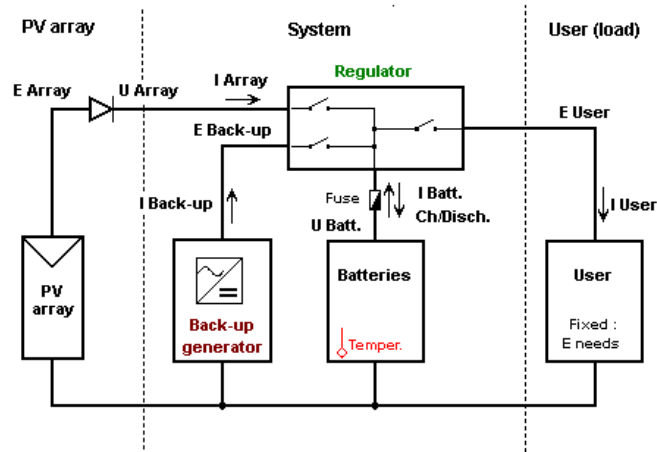


Εικόνα 6-8 Η επιλογή εξωτερικής πηγής ισχύος

Ακολούθως και προκειμένου να προσομοιάσουμε τον υβριδικό χαρακτήρα της κατασκευής, η εξωτερική πηγή τροφοδοσίας του συστήματος, στο λογισμικό PVsyst θα αποτυπωθεί ως εφεδρική γεννήτρια, Back-up Generator. Στην επιλογή της, θα διαλέξουμε την γεννήτρια ονομαστικής ισχύος 1,5kW, με 1kW συνεχή ισχύ. Το λογισμικό θα την λαμβάνει υπ' όψη, σε περιπτώσεις μη επαρκούς ισχύος της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ώστε είτε να συνεισφέρει στην φόρτιση, είτε να αναλαμβάνει μόνη της τα φορτία.

Μετά την ολοκλήρωση των επιλογών και των ρυθμίσεων, το πρόγραμμα μας παρουσιάζει ένα τυπικό σχέδιο, ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού, με εφεδρική γεννήτρια, για επισκοπικούς λόγους.

Typical layout of a stand-alone system



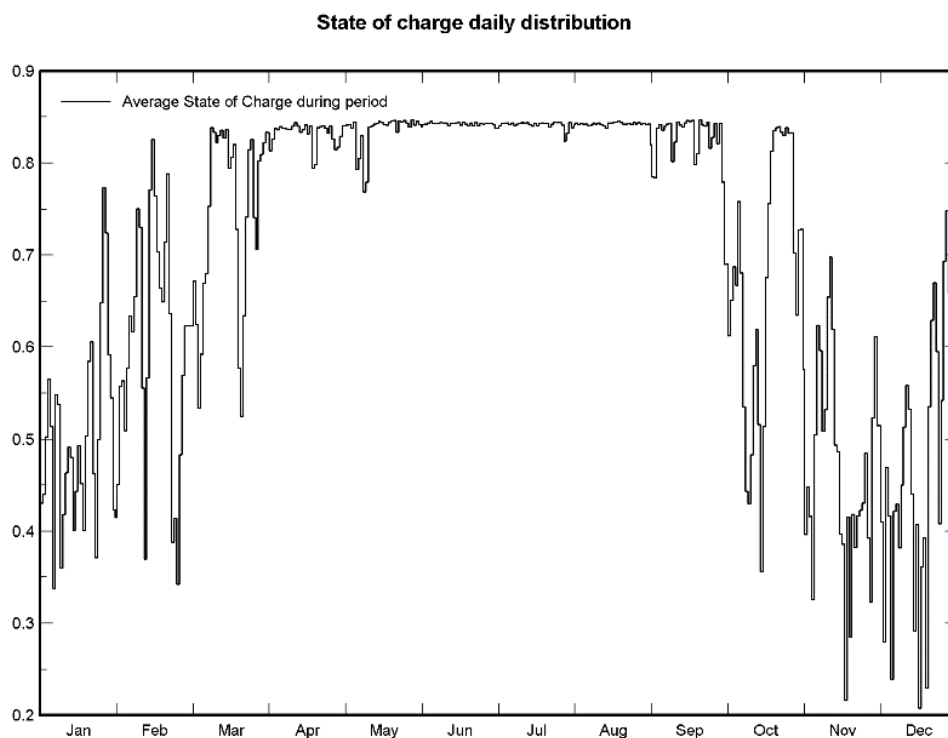
Εικόνα 6-9 Αυτοματοποιημένη τυπική διάταξη αυτόνομου συστήματος

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Έχοντας δημιουργήσει ένα σύστημα αρκετά κοντά στους θεωρητικούς μας υπολογισμούς, θα προβούμε στην εξομοίωση, προκειμένου να δούμε εάν, πραγματικά, θα μπορέσουμε να έχουμε την επιθυμητή απόδοση, έτσι ώστε να αποφανθούμε για την επιτυχία της σχεδίασης.

### 6.3 Εξομοίωση

Από την εξομοίωση, ένα βασικό διάγραμμα, το “*State of charge daily distribution*”, μας δείχνει τη στάθμη της φόρτισης της μπαταρίας, καθημερινά, καθ’ όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η διάταξη της δοκιμής, έδειξε ότι το σύστημα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι πλήρως φορτισμένο, τον υπόλοιπο χρόνο, οι φορτίσεις είναι από οριακές, έως ικανοποιητικές.



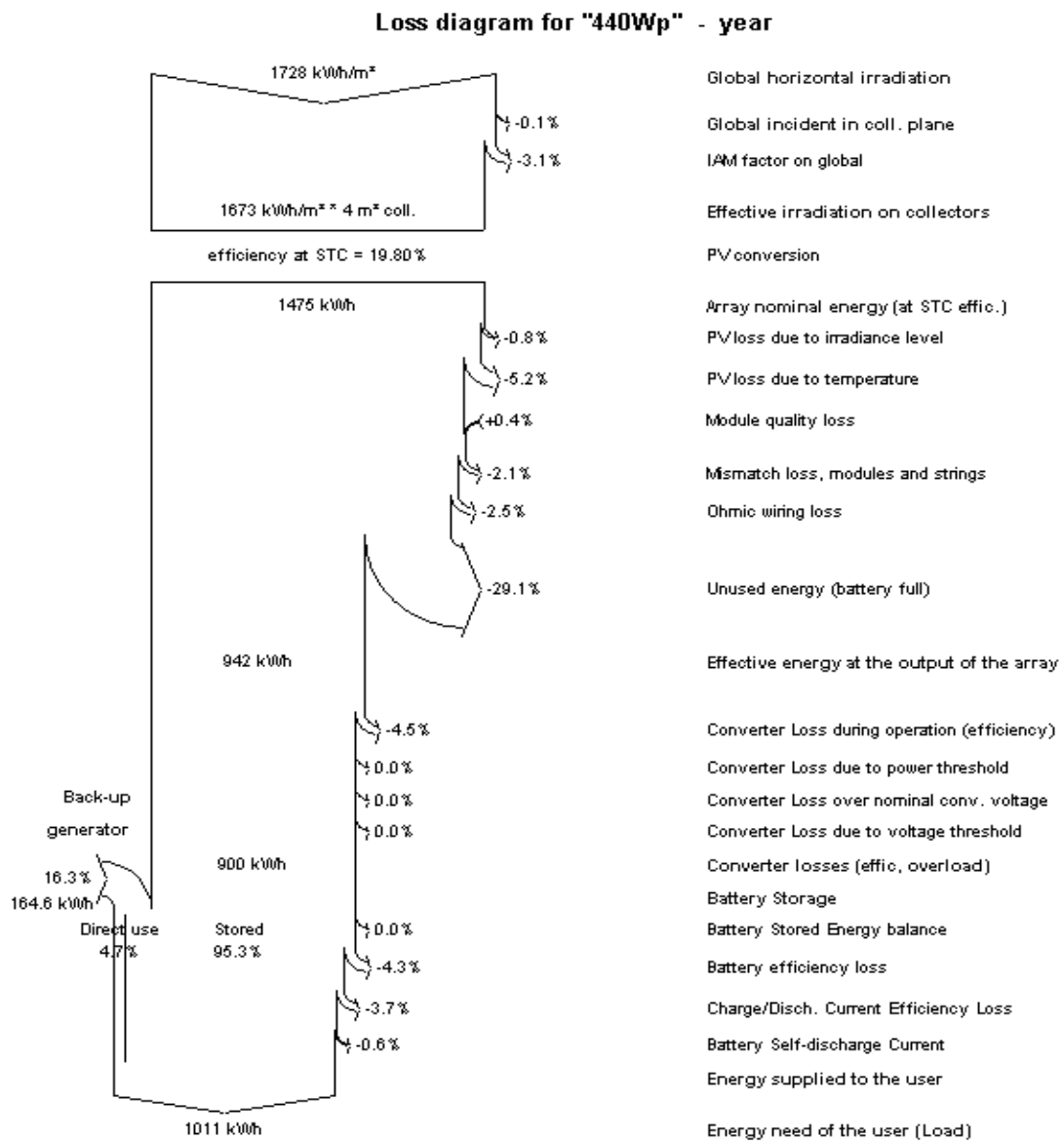
Εικόνα 6-10 Στάθμη φόρτισης μπαταριών κατά τη διάρκεια του έτους

Από το παραπάνω διάγραμμα, μπορούμε να πούμε ότι από αρχές Μάρτη, έως αρχές Οκτώβρη, το σύστημα μας έχει υπερ καλυμένους, ενώ τους χειμερινούς μήνες, ενδέχεται να χρειάζεται, κατά περίπτωση, η υποβοήθηση και των άλλων συστημάτων φόρτισης, κυρίως με τη σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Από το παρακάτω, άκρως κατατοπιστικό, ετήσιο διάγραμμα απωλειών, μελετώντας τα μηνιαία δεδομένα, που παρατίθενται στο συνοδευόμενο φάκελο εξομοιώσεων, διαπιστώθηκε ότι κατά τους μήνες Ιανουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, απαιτείται η εισροή από μη ηλιακή πηγή περίπου από 20% έως 50% της απαιτούμενης μηνιαίας ενέργειας, ενώ τους υπόλοιπους

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

μήνες, με εξαίρεση τον Μάρτιο, ο οποίος απαιτεί 3% της ενέργειας, η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι αποκλειστικά ηλιακή.



**Εικόνα 6-11 Διάγραμμα ετήσιας ροής ενέργειας και απωλειών**

Το παραπάνω διάγραμμα, σε ετήσια βάση, δείχνει ότι το σύστημα εξυπηρετείται υβριδικά, κατά 84% με ήλιο και κατά 16% με άλλη πηγή ενέργειας. Αυτή η διαπίστωση, φτάνει για να επιβεβαιώσει την επιτυχία του όλου εγχειρήματος. Η τροποποίηση δουλεύει, ο ήλιος αναλαμβάνει την κύρια τροφοδότηση με ισχύ, τα άλλα συστήματα την συνεπικουρούν, οι ημέρες αυτονομίας είναι πολλές, οπότε δεν θα βρεθούμε ποτέ χωρίς ισχύ.



#### 6.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο PVsyst, ύστερα από την προσομοίωση, έδειξαν κάποια αποτελέσματα, που μας βοηθούν να εξάγουμε αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Το σύστημα μπορεί να επιτυγχάνει αυτονομία 3 ημερών. Ο βαθμός απόδοσης της διάταξης είναι λίγο πάνω από το 55%. Αυτό ήταν εις γνώσιν κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, καθώς η χωροταξία των φωτοβολταϊκών πάνελ δεν είναι η ιδανική για τις συνθήκες της περιοχής, ούτε καν για τις ελληνικές συνθήκες, καθώς η μηδενική γωνία κλίσης, αντί της ιδεατής των περίπου 30°, είναι μονόδρομος για την χρήση του συστήματος.

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, θα μπορεί να αποδώσει, κατά τη διάρκεια του έτους, ηλεκτρική ενέργεια, περίπου 1,5 MWh. Από αυτή την ενέργεια, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, περίπου το 30%, θα χάνεται καθώς δεν υπάρχει ημερήσια κατανάλωση και οι μπαταρίες θα έχουν ήδη γεμίσει. Το υπόλοιπο ποσοστό, αφού θα υποστεί ορισμένες απώλειες, λόγω των βαθμών αποδόσεων των επιμέρους κυκλωμάτων ρύθμισης, διαχείρισης, καθώς και αποθήκευσης, με ένα ποσό ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης του 0,86 MWh θα αποδοθεί προς τις ανάγκες του χρήστη. Οι ανάγκες αυτές, καλύπτονται κατά 85% από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια και κατά 15% από εξωτερική παροχή ενέργειας, που για τις ανάγκες της προσομοίωσης είναι μια γεννήτρια 1kW.

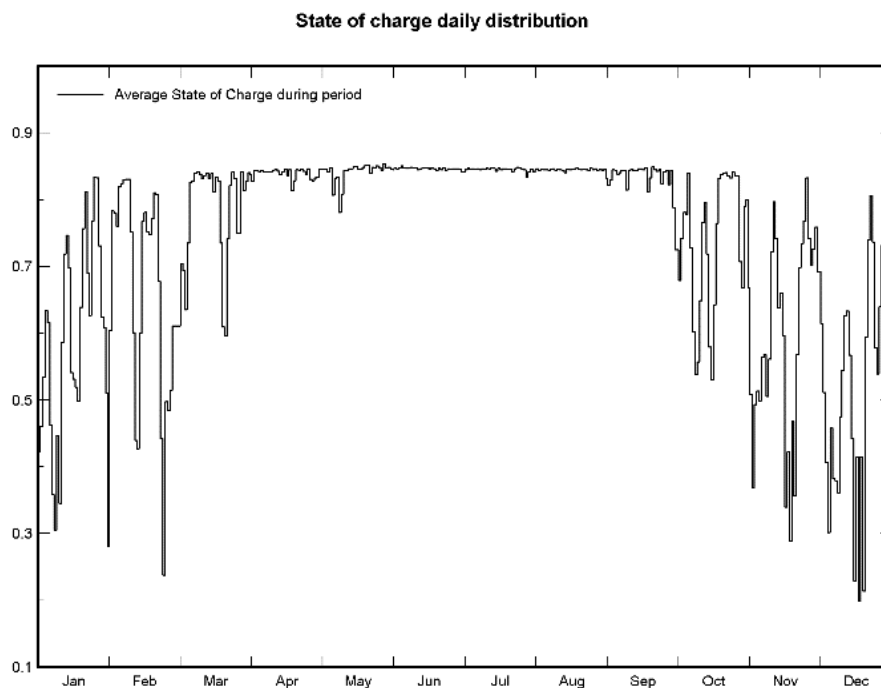
Το σύστημα, εν τέλει, θα υποστηρίζεται κατά 95% από την μπαταρία του, έχοντας ανάγκη την απευθείας χρήση και κάποιας άλλης πηγής τροφοδοσίας. Άλλωστε, κατά την σχεδίαση, είχαμε υπολογίσει ένα 5% να υπάρχει η πιθανότητα απώλειας φορτίου, μόνο που εδώ, αυτή η πιθανότητα εκφράζεται στο ποσοστό που μπορεί να μας εξυπηρετήσει άλλη πηγή ενέργειας, πλην της ηλιακής.

Υπό αυτές τις συνθήκες, το ποσοστό της ετήσιας απαιτούμενη ενέργειας των 1011 kWh, το οποίο και θα καλυφθεί από την ηλιακή ενέργεια, δηλαδή 860 kWh, σύμφωνα με την έκθεση του Διαχειριστή ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ) για το Ενεργειακό Μείγμα Προμηθευτών<sup>97</sup> για το 2021, θα επιφέρει μείωση εκπομπών κατά 350 kg CO<sub>2</sub> αν ο Πάροχος αυτής της ενέργειας ήταν η ΔΕΗ, της οποίας το ενεργειακό μείγμα έχει εκπομπές CO<sub>2</sub> 407,35gr/kWh. Αντιλαμβανόμαστε ότι το περιβαλλοντικό όφελος μόνο από ένα τέτοιο όχημα είναι αξιοπρόσεκτα σημαντικό, πόσο μάλλον από έναν στόλο τέτοιων οχημάτων.

<sup>97</sup> [ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ 2021 \(2\).pdf \(dapeep.gr\)](#)

#### 6.4.1 Εναλλακτικά σενάρια

Ένα ενδιαφέρον γεγονός, ήταν η διενέργεια ενός σεναρίου, σύμφωνα με το οποίο τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν ήταν οριζόντια, αλλά μπορεί με έναν σερβομηχανισμό linear actuator<sup>98</sup> να μετακινούνται σε κλίση.



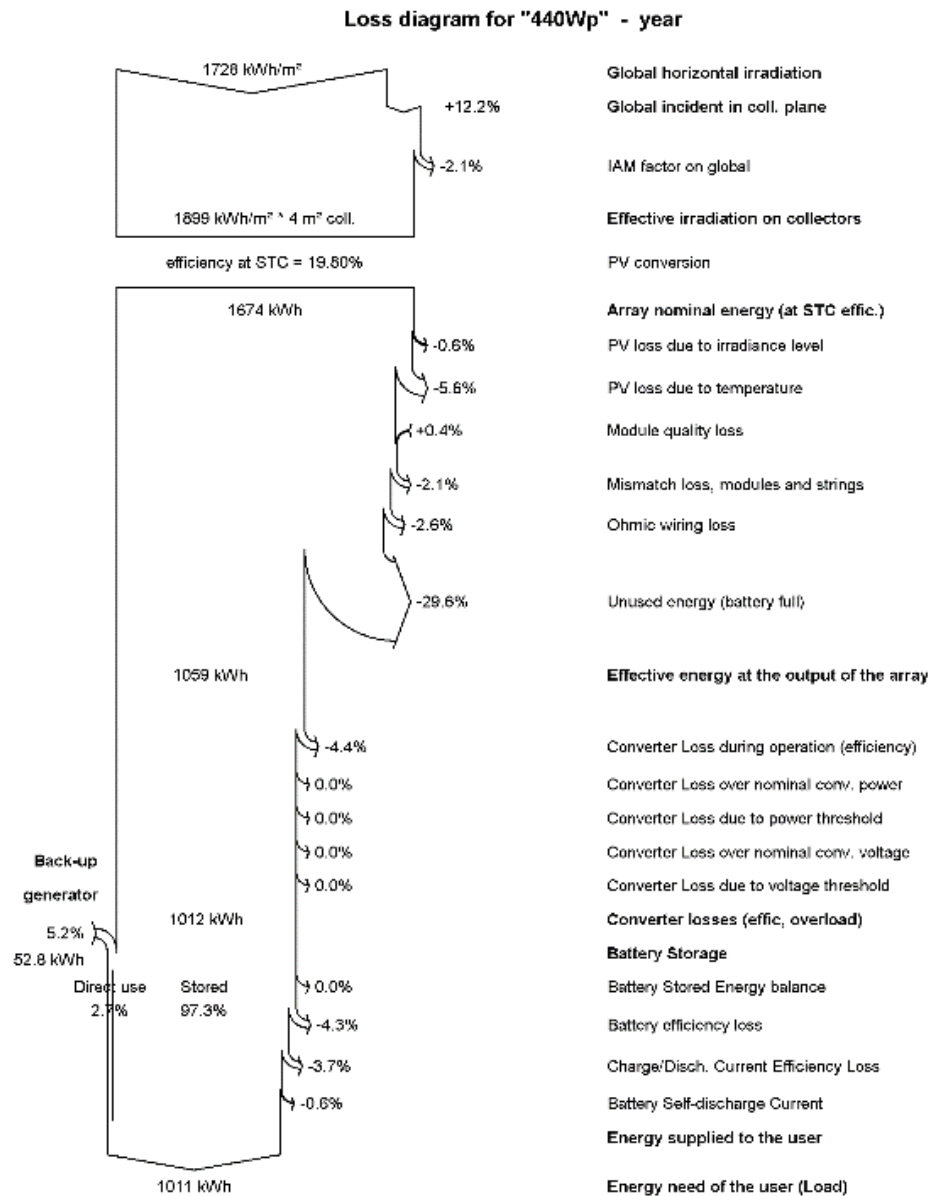
Εικόνα 6-12 Στάθμη φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, με κλίση πάνελ 30°

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, αλλάζοντας τη γωνία κλίσης, με κάποιον ηλεκτρομηχανικό μηχανισμό αλλαγής κλίσης των πάνελ, και επιλέγοντας ως γωνία τις 30°, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια όπως είναι αναμενόμενο αυξάνεται, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι το μείγμα της συνολικής υβριδικής ενέργειας που φτάνει στην κατανάλωση, αλλάζει, προς όφελος της ηλιακής ενέργειας, απαιτώντας μόνο 10% εξωτερική τροφοδοσία, μηνιαίως, κατά το χειμώνα, με εξαίρεση το Δεκέμβρη με 24%.

Συνολικά δε, η σχεδίαση είναι υβριδική κατά μόλις 5%, με το 95% της συνολικής ετήσιας απαιτούμενης ενέργειας να προέρχεται, αμιγώς, από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Βέβαια αυτό το σενάριο αυξάνει την πολυπλοκότητα της σχεδίασης, αλλά το θετικό αποτέλεσμα αξίζει.

<sup>98</sup> <https://www.timotion.com/en/products/linear-actuators>

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

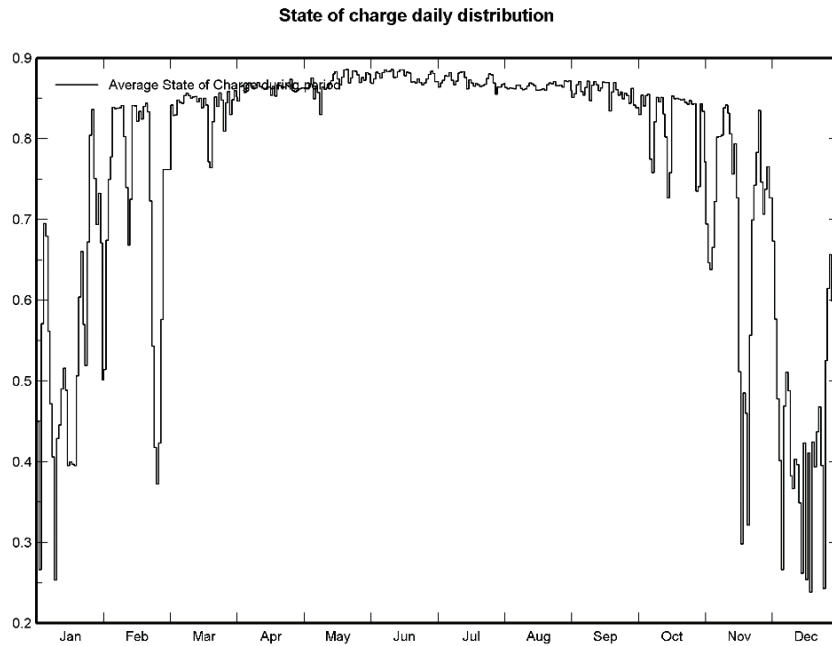


**Εικόνα 6-13 Η ετήσια ροή ενέργειας και απωλειών, για κλίση πάνελ 30°**

Έχοντας κατά νου ότι αρχικά η κλίση των πάνελ δεν ήταν η ιδανική, σε αυτό το σενάριο της εξομοίωσης, έχοντας όλα τα καίρια υποσυστήματα ως έχει και αλλάζοντας μόνο τη γωνία κλίσης των πάνελ στις 30°, φαίνεται η θετική επίδραση της αλλαγής κλίσης στο να υπάρχει καλύτερη συγκομιδή ηλιακής ακτινοβολίας, επιβεβαιώνοντας την θεωρία, με αποτέλεσμα να επιτευχθούν περισσότερες ημέρες κατά τις οποίες έχουμε ικανοποιητική φόρτιση των μπαταριών μόνο με ενέργεια ηλιακής προέλευσης.

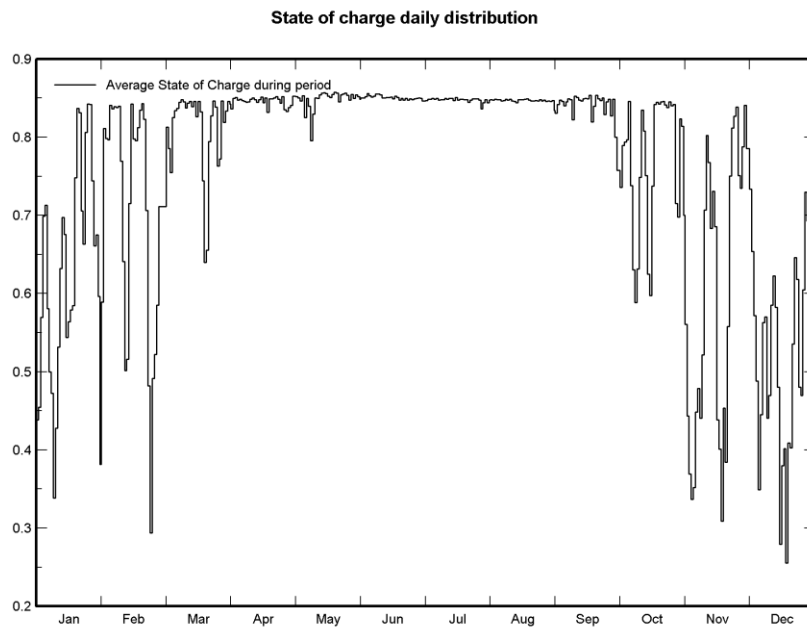
Στην εξομοίωση Variant 5 όπου επιλέχθηκαν δύο πάνελ των 815Wp bifacial, Luxor ECO Line HJT Bifacial M132/700, ώστε να εκμεταλλευόμαστε ακόμα και την έμμεση ηλιακή ακτινοβολία, οι επιδόσεις ήταν πολύ ενθαρρυντικές, καθώς σε ετήσια βάση, μόνο 3,4% θα ήταν το ποσοστό της απαίτησης εξωτερικής φόρτισης.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Εικόνα 6-14 Στάθμη φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, με δύο bifacial πάνελ

Στο σενάριο εξομοίωσης Variant 9, επιλέχθηκε μια πτυσσόμενη κατασκευή με 4 πάνελ των 255Wp, ZYTECH Solar ZT 255S, έτσι ώστε να εκμεταλλευόμαστε τόσο την μεγάλη επιφάνεια των πάνελ σε ανάπτυξη, όσο και την σύμπτυξή τους στην υπερκατασκευή κατά την κίνηση. Οι επιδόσεις ήταν επίσης ενθαρρυντικές, καθώς σε ετήσια βάση, μόνο 3,6% των περιπτώσεων θα χρειαζόταν η εξωτερική παροχή ενέργειας.



Εικόνα 6-15 Στάθμη φόρτισης μπαταριών, κατά τη διάρκεια του έτους, με τετράδα πτυσσόμενων πάνελ

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Συνοψίζοντας, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 1, μετά την εκτέλεση μιας δεκάδας εξομοιώσεων, χρησιμοποιώντας τον ίδιο αποθηκευτικό χώρο, αλλάζοντας όμως κάθε φορά το συνδυασμό πάνελ και κλίσης, διαπιστώθηκε ότι σε κάθε συνδυασμό, υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Συγκριτικός πίνακας εξεταζόμενων διατάξεων πάνελ						
Variant No	Περιγραφή	Αριθμός πάνελ	Κλίση (°)	Συνολική Ισχύς (W)	Ποσοστό Hybrid (%)	Βαθμός απόδοσης (%)
0	Δίδυμα πάνελ 440Wp	2	0	880	16,3	55,7
1	Δίδυμα πάνελ 440Wp	2	30	880	5,2	56,2
2	Δίδυμα πάνελ 585Wp	2	0	1170	9,1	45,5
3	Δίδυμα πάνελ 585Wp	2	30	1170	2,3	43,6
4	Bifacial 815Wp	1	0	815	20	57,5
5	Bifacial 815Wp	1	30	815	8,3	58,7
6	Bifacial 815Wp	2	0	1630	3,4	34,7
7	Bifacial 815Wp	2	30	1630	1,3	31,6
8	Πτυσσόμενα 255Wp	4	0	1020	8,4	44,7
9	Πτυσσόμενα 255Wp	4	30	1020	3,6	49,3

Πίνακας 1

Όσο αυξάνεται η ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αυξάνονται και οι πιθανότητες να εξυπηρετείται η κατανάλωση αμιγώς από ηλιακή ενέργεια. Ταυτόχρονα, όμως, μειώνεται και ο βαθμός απόδοσης της κατασκευής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η παραγόμενη ενέργεια είναι μεν υπεραρκετή ώστε να γεμίσει τις μπαταρίες αρκετά γρήγορα, αφού αυτές όμως γεμίσουν, η υπόλοιπη ενέργεια θα «χαθεί» ανεκμετάλλευτη. Καθώς, όμως, το σύστημά μας δεν είναι στατικό, αλλά η τοποθεσία όπου θα βρεθεί δεν είναι δεδομένη, το χρονικό παράθυρο κατά το οποίο η φόρτιση μπορεί να είναι εφικτή, θα πρέπει να εκμεταλλευθεί εις το έπακρο. Στην περίπτωση μας ο βαθμός απόδοσης δεν είναι αντιπροσωπευτικός της ποιότητας, ούτε μπορούμε με κάποια βελτιστοποίηση του συστήματος να τον αυξήσουμε. Οι επιχειρησιακές συνθήκες λειτουργίας είναι τέτοιες, που το βέλτιστο θα είναι η γρήγορη φόρτιση, με την ελάχιστη έκθεση στον ήλιο. Παράλληλα, μεγαλύτερη ισχύς της γεννήτριας, μας εξασφαλίζει επαρκή φόρτιση κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιοφάνεια είναι περιορισμένης διάρκειας.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Η κλίση είναι απαραίτητη για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, στην ίδια διάταξη γεννήτριας, η πέραν της οριζόντιας κλίση έχει θετικά αποτελέσματα στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ. Δεν πρέπει να ξεχνάμε, όμως, την ιδιαιτερότητα της σχεδίασης, με τους περιορισμούς της, που μας οδηγούν σε ανορθόδοξο προσανατολισμό.

Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί που θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε. Έχοντας ως αναφορά την χωρητικότητα των μπαταριών, την σύμμορφη κατασκευή και τις ιδιαιτερότητες της χρήσης της σχεδίασης, η τοποθέτηση ενός bifacial πάνελ, με μηχανισμό αλλαγής της κλίσης του, δείχνει η ιδανικότερη, καθώς καλύπτει το φάσμα της επαρκούς φόρτισης, της χρήσης του περιορισμένου χώρου και της σύμμορφης κατασκευής. Αγνοώντας τα της διακριτικής σχεδίασης, η χρήση αναδιπλωμένων πάνελ, όμως, θα είχε το πλεονέκτημα της επαυξημένης ισχύος, που αντικατοπτρίζεται σε ταχείς χρόνους διαθεσιμότητας, λόγω της γρηγορότερης φόρτισης από τον ήλιο.



Εικόνα 6-16 Αναδιπλώμενα πάνελ [Solar Light Trailer \(oksolar.com\)](http://Solar Light Trailer (oksolar.com))

Τέλος, ο συνδυασμός ενός μεγάλου αποθηκευτικού χώρου μπαταριών, πέραν του αναγκαίου, μαζί με ισχυρότερη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, θα μπορούσε να συνδυάσει την ήδη υπάρχουσα επιχειρησιακή ικανότητα και λειτουργία, με αυτή της ενεργειακής οντότητας.



Εικόνα 6-17 Μπαταρία Λιθίου υψηλής χωρητικότητας τυποποιημένη για rack 19" [osmbattery.com](http://osmbattery.com)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Χρησιμοποιώντας μπαταρίες λιθίου υψηλής χωρητικότητας, μαζί με αντίστοιχους μηχανισμούς ελέγχου και φόρτισης, το όχημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, πέραν της κανονικής του λειτουργίας, ως ένα ενεργειακό hub, παρέχοντας ενέργεια ποιότητας σε εγκαταστάσεις στρατωνισμού, με το τακτικό πλεονέκτημα της λειτουργίας με χαμηλό θερμικό και ακουστικό ίχνος.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθημερινά, γίνεται αντιληπτό το πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο για την οικονομική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος. Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας, την τελευταία δεκαετία, σε συνεργασία με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, προσπαθεί στην σωστή κατεύθυνση, σχεδιάζοντας και υλοποιώντας δράσεις που σκοπεύουν αφενός στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αφετέρου στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της υιοθέτησης ευρείας χρήσης των ΑΠΕ.

Ειδικότερα, λόγω του ιδιαίτερου ρόλου των ενόπλων δυνάμεων στη χώρα, η εγκατάσταση και η αξιοποίηση των ΑΠΕ για την παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας είναι θέμα ζωτικής σημασίας. Χωρίς ευάλωτες γραμμές παροχής καυσίμων, όντας δωρεάν και ανεξάντλητη πηγή καύσιμου, έχοντας μεγαλύτερη αποκέντρωση και δυνατότητα ταχείας ανάπτυξης, η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενισχύει την ασφάλεια του δικτύου παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οποιαδήποτε σοβαρή συζήτηση για την ανθεκτικότητα του δικτύου και την εθνική ενεργειακή ασφάλεια, θα πρέπει να λάβει υπόψη τα τεράστια οφέλη ενός πιο αποκεντρωμένου δικτύου, που δεν εξαρτάται από τις παγκόσμιες αγορές καυσίμων, καθώς και τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων τεχνολογιών που επιτρέπουν σε απομονωμένα μικροδίκτυα να υποστηρίζουν κρίσιμες εγκαταστάσεις.

Με το κόστος να μειώνεται μέρα με τη μέρα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαδραματίζουν σημαντικό και αυξανόμενο ρόλο στην προώθηση της ασφάλειας του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας, όπως και στην υποστήριξη του έργου των Ενόπλων Δυνάμεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, το ΥΠΕΘΑ οφείλει να συνεργαστεί με όλους τους αρμόδιους φορείς, προκειμένου να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα που θα περιλαμβάνει την υλοποίηση εγκατάστασης και ανάπτυξης φωτοβολταϊκών πάρκων, ανακύκλωσης και αντικατάστασης όλων των πεπαλαιωμένων συστημάτων ενέργειας.

Οι ΕΔ του μέλλοντος θα είναι ενεργειακά αυτόνομα, με περιβαλλοντικό αποτύπωμα μετρήσιμο, ελέγξιμο, διαχειρίσιμο και δια μέσου της νέας τεχνολογίας διαρκώς μειούμενο, ικανές να ανταποκρίνονται, τόσο σε εξωτερικές απειλές, όσο και στις απρόβλεπτες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε επιχειρησιακό αλλά και σε κοινωνικό επίπεδο.

Η προτεινόμενη λύση για την αξιοποίηση ενός αμυντικού συστήματος, έτσι ώστε να πρωτοστατήσει στην εδραίωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ακόμα και σε περιβάλλον στρατιωτικών επιχειρήσεων, μόνο θετικά αποτελέσματα μπορεί να αποδώσει. Η εφαρμογή σε επιχειρησιακό περιβάλλον, ξεφεύγει από την ήδη πεπατημένη, δηλαδή την υπό όρους τροφοδότηση με ισχύ απομακρυσμένων εγκαταστάσεων, τόσο στην πρώτη γραμμή, όσο και

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

μετόπισθεν. Κάνοντας χρήση τεχνολογικά προηγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, εισερχόμαστε σε νέες, πρωτόγνωρες εποχές ενεργειακής διαθεσιμότητας.

Η απλότητα της σχεδίασης, εγγυάται την συμβατότητα με το ήδη υπηρετούν υλικό. Η εσκεμμένη υπερδιαστασιολόγηση του εγχειρήματος, εγγυάται την απρόσκοπτη λειτουργία του, όλες τις εποχές του χρόνου, σε κάθε καιρό, δεδομένων των φυσικών και των τεχνικών περιορισμών, που έχουν τεθεί.

Η οικονομική διάσταση του εγχειρήματος, σε απλά νούμερα, δείχνει ότι η επιλεγμένη διαστασιολόγηση, η επιλογή των απαρτίων, καθώς και η οικογένεια των υλικών είναι ακριβότερη των ανταγωνιστών. Λαμβάνοντας, όμως τη φιλοσοφία κατασκευής, την πλήρη συνδεσιμότητα των συσκευών και την φιλικότητα στην εγκατάσταση, όπως και την άριστη τεχνική υποστήριξη του οίκου Victron Energy, ο συνδυασμός κόστους και ποιότητας είναι μακράν ο καλύτερος.

Η σχεδίαση, μακροπρόθεσμα, είναι οικονομικότερη από την ισχύουσα, εμφανώς εκσυγχρονισμένη και υλοποιείται έχοντας λάβει κατά νου τις ανάγκες όλων των εμπλεκομένων χρηστών της εφαρμογής, χειριστών, τεχνικών και επιχειρησιακού φορέα. Η ευκολία της μετασκευής και τροποποίησης της υπάρχουσας πλατφόρμας, η ευκολία ελέγχου και συντήρησης, όπως και η ευκολία μελλοντικής της αναβάθμισης, ξεπερνούν τις προσδοκίες, καθώς όλες οι εργασίες μπορούν να γίνουν εκμεταλλευόμενοι τις υπάρχουσες τεχνικές εγκαταστάσεις και το προσωπικό που ήδη υπηρετεί, σε περιβάλλον Τεχνικής Βάσης, ή Συνεργείου Περιοχής.

Η χρησιμοποίηση υλικών εμπορίου, προσδίδει αίσθημα τεχνικής ασφάλειας, καθώς θα είναι εγγυημένη η μελλοντική τεχνική υποστήριξη του συστήματος, ακόμα και αν η τωρινή τεχνολογία αλλάξει, κάτι που δεν είναι σίγουρο με την αμιγώς στρατιωτική τεχνολογία. Το κόστος μετασκευής, δεν είναι απαγορευτικό, η εκτιμώμενη διάρκεια λειτουργίας των κύριων απαρτίων, μαζί με τις εγγυήσεις που τις συνοδεύουν, μακροπρόθεσμα, θα κάνουν οικονομικότερη τη χρήση, σε σχέση με την υπάρχουσα σχεδίαση. Εξ' άλλου, το συνολικό κόστος μετασκευής, το οποίο αφορά μόνο τα υλικά, μόνο ως περιβαλλοντική επένδυση θα πρέπει να αντιμετωπίζεται.

Τα επιχειρησιακά του πλεονεκτήματα σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά του, συνυπολογιζόμενα με όσα προ ειπώθηκαν στην εισαγωγή, μόνο οφέλη θα προσφέρει στον Χρήστη, στο περιβάλλον, στην οικονομία, στην κοινωνία και στην Πατρίδα, ως σύνολο. Μέσω αυτής της μετασκευής, το ΥΠΕΘΑ μπορεί να αποδείξει ότι οι ΕΔ είναι έτοιμες για «πράσινη επανάσταση», μπορούν να την επιτύχουν ιδίοις δυνάμεις, έχουν την τεχνογνωσία να υλοποιήσουν το Όραμα και να ακολουθήσουν τους Σύμμαχους και την ΕΕ προς την

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

προσπάθεια απανθράκωσης στον αμυντικό τομέα, συμβάλλοντας ενεργά, ακόμα και στο επιχειρησιακό επίπεδο.

Η προαναφερόμενη μελέτη, ήταν ένα στοίχημα του συγγραφέα, κατά την διάρκεια της Ακαδημαϊκής του πορείας. Έχοντας ενασχοληθεί ενεργά σε τεχνικό επίπεδο, με το συγκεκριμένο Σύστημα, τόσο με το τμήμα διαχείρισης και αποθήκευσης ηλεκτρικής ισχύος, όσο και με το κυρίως τμήμα πρόσκτησης πληροφοριών, ο συγγραφέας έχει γίνει αποδέκτης των αιτημάτων των Χρηστών του, από όλα τα επίπεδα ιεραρχίας και γνωρίζει από πρώτο χέρι τις δυνατότητες, αλλά και τις αδυναμίες του Συστήματος.

Στα πλαίσια εκπόνησης της Διπλωματικής του διατριβής, στον τομέα των ΑΠΕ, ήταν μια λαμπρή ευκαιρία για την εφαρμογή στην πράξη της γνώσης που αποκτήθηκε, σε συνδυασμό με την εμπειρία που ήδη υπήρχε. Το αίτημα του συγγραφέα για τον εκσυγχρονισμό του Συστήματος στην πράξη, με «πράσινες» αναφορές, έτυχε την θερμή υποστήριξη των ιεραρχικά ανωτέρων του. Οι επιχειρησιακές, όμως, ανάγκες, η ιδιαιτερότητα της υπηρεσίας που το όχημα εκτελεί, οι διαθεσιμότητες του Συστήματος, σε συνδυασμό με τις γεωπολιτικές εξελίξεις, δεν κατέστησαν δυνατή την - επί του παρόντος - έγκριση του αιτήματος περί πρακτικής εφαρμογής, περιορίζοντάς του την ενασχόληση με το σύστημα τροφοδοσίας ισχύος, σε θεωρητικό, προς το παρόν, επίπεδο.

Επειδή οι επιχειρησιακές ανάγκες έχουν πάντα την προτεραιότητα, οι περιβαλλοντικές προκλήσεις παραμένουν κατά νου και η κουλτούρα των ΕΔ περί προστασίας του περιβάλλοντος είναι σταθερή και αδιαμφισβήτητη, δεν αποκλείεται στο εγγύς μέλλον, η εφαρμογή στην πράξη της τροποποίησης – εκσυγχρονισμού του συστήματος διαχείρισης και αποθήκευσης ενέργειας, του αυτοκινούμενου συστήματος πληροφοριών και την μετατροπή της από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές Πηγές

1. Απόστολος Πολυζάκης (2019), Ενέργεια, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη, Power Heat Cool, Πτολεμαΐδα
2. Anoop Singh, Stig Irving Olsen, Deepak Pant (2013), Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources, Springer, Verlag London.
3. Alberto Gemelli, Adriano Mancini, Claudia Diamantini, Sauro Longhi (2013)-GIS to Support Cost-effective Decisions on Renewable Sources, Springer, London
4. Πέτρος Καραϊσάς (2014), ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ
5. Μνημόνιο Συνεργασίας μεταξύ ΥΠΕΚΑ και ΥΠΕΘΑ της 28ης Σεπτεμβρίου 2010
6. Φορτσάκης Θ., Φαραντούρης Ν. (2016), Δίκαιο της Ενέργειας, Νομική Βιβλιοθήκη, Αθήνα
7. LIFE11/ENV/GR/938/MECM (Military Energy and Carbon Management)
8. [Ανάπτυξη του Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας σε Στρατόπεδα του Στρατού Ξηράς | Army.gr](#)
9. [ΔΙΔΕΑΠ | Διεύθυνση Διαχείρισης Ευρωπαϊκών και Αναπτυξιακών Προγραμμάτων \(mil.gr\)](#)
10. [LIFE 3.0 - LIFE Project Public Page \(europa.eu\)](#)
11. [Η σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εθνική ασφάλεια | Μπόκας | Pro Justitia: Ηλεκτρονική Επετηρίδα Νομικής Σχολής ΑΠΘ \(auth.gr\)](#)
12. [Applied Sciences | Possibilities of Powering Military Equipment Based on Renewable Energy Sources \(mdpi.com\)](#)
13. [Hybridization & Energy Storage Systems – INTRACOM DEFENSE](#)
14. [Tactical Hybrid Generators – INTRACOM DEFENSE](#)
15. [NATO - News: NATO "Smart Energy" exercise gets underway in Hungary, 08-Jun.-2015](#)
16. [New lithium battery design could mean lighter, safer batteries for Soldiers - United States Army](#)
17. [Army scientists on verge of nearly unbreakable battery - United States Army](#)
18. [Military Batteries For Defense Equipment & Vehicles \(saftbatteries.com\)](#)
19. [Why you should choose a LiFePO4 battery for your Mil Grade UPS System - Luso Electronics](#)
20. [MIL-PRF-32565 BATTERY RECHARGEABLE SEALED 6T \(everyspec.com\)](#)
21. [Epsilon Def VEHICULAR RECHARGEABLE LITHIUM BATTERIES Ver2021](#)
22. [Military Lithium Battery - Lithium-ion Technologies \(lithiumiontechnologies.com\)](#)
23. [Datasheet-128-256-Volt-lithium-iron-phosphate-batteries-Smart-EN.pdf \(smart-cover.gr\)](#)
24. [06.01.0108 SMF 430W DATASHEET \(smart-cover.gr\)](#)
25. [ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ & ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ - GreenArmedForces - Πράσινες Ένοπλες Δυνάμεις \(mil.gr\)](#)
26. [C\\_2022493EL.01001901.xml \(europa.eu\)](#)
27. [ΚΑΠΕ - 1 \(cres.gr\)](#)
28. [ACORE Issue-Brief -The-Role-of-Renewable-Energy-in-National-Security.pdf](#)
29. [Renewables - Fuels & Technologies - IEA](#)
30. [Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας - Επίσημη Ιστοσελίδα \(mil.gr\)](#)
31. [Κεντρική σελίδα | Army.gr](#)
32. [HELAPCO - Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών](#)
33. [Timeline of solar cells - Wikipedia](#)
34. [History of Solar Energy: Timeline & Invention of Solar Panels | EnergySage](#)
35. [History of Solar PV | The Renewable Energy Hub](#)
36. [Top 5 Largest Solar Power Plants in the World \(2022\) \(ornatesolar-com\)](#)
37. [Strategy charts path to fuel-efficient forward operating base - The United States Army](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

38. [Air Force expeditionary energy demo forges ahead](#)
39. [20200724\\_NU\\_Factsheet\\_caplog.pdf \(nato.int\)](#)
40. [NATO - News: SENT explores energy efficiency for the military in cold climates,](#)
41. [Renewable electricity – Renewables 2022 – Analysis - IEA](#)
42. [Archiwa Fotowoltaika - GLOBEnergia](#)
43. [MOBISMART Off-Grid Mobile Power & Storage](#)
44. [Convertisseur de tension DC/DC Orion 24V-12V 70A Victron \(ase-energy.com\)](#)
45. [Υβριδικός αντιστροφέας 3kVA 24V-230V MPPT 60A Εφέκτα \(ase-energy.com\)](#)
46. [Dual MPPT Defined, Understanding Solar MPPT \(solarpowerworldonline.com\)](#)
47. [Datasheet-EasySolar-1600VA-EN.pdf \(victronenergy.gr\)](#)
48. [AGM technology - Europower](#)
49. [BMS - Παρελκόμενα Μπαταριών \(computron.gr\)](#)
50. [Μπαταρία, Λιθίου LiFePO4 για Φωτοβολταϊκά 24V 230Ah 4800Watt \(computron.gr\)](#)
51. [The Most Powerful and Reliable Lithium Batteries | Battle Born Batteries |](#)
52. [Robust, Mobile, Portable Military Power Solutions | Diesel Offset | SimpliPhi Power](#)
53. [Home | ZeroBase \(zerobaseenergy.com\)6943](#)
54. [Busting the myths of COTS devices in military applications - Military Embedded Systems](#)
55. [Possibilities of Powering Military Equipment Based on Renewable Energy Sources – DOAJ](#)
56. [Renewable Energy as Military Strategy | NDEL \(yale.edu\)](#)
57. [us\\_ad\\_EnergySecurity052010.pdf \(offiziere.ch\)](#)
58. [Carbon Pollution-Free Electricity \(dla.mil\)](#)
59. [E.O. 14057 Implementing Instructions \(sustainability.gov\)](#)
60. [DLAEnergyFactBook2021\\_2.pdf](#)
61. [Ε.Ε. Πράσινη Βίβλος](#)
62. [ey-recai60-top40-ranking-v2.pdf](#)
63. [ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ 2021 \(2\).pdf \(dapeep.gr\)](#)
64. [MP-Energy Φωτοβολταϊκά Συστήματα](#)
65. [PVsyst – Logiciel Photovoltaïque](#)
66. [Army Technology | Land Defence News & Views \(army-technology.com\)](#)
67. [Casualty Factors for Fuel and Water Resupply Convoys \(researchgate.net\)](#)
68. [Amperorio.gr](#)
69. [CLEAN ENERGY REVIEWS | Solar panels, inverters and battery systems](#)

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## Παράρτημα Α : Αποτελέσματα εξομοίωσης



Version 7.2.3

# PVsyst - Simulation report

## Stand alone system

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα

System power: 880 Wp

Agí a Triáda Markopoulou - Greece

| Θώδης Γεώργιος 50106943

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**PVsyst V7.2.3**

VC1, Simulation date:  
17/01/23 11:40  
with v7.2.3

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

### Project summary

<b>Geographical Site</b> Agi a Triáda Markopoulou Greece	<b>Situation</b> Latitude 37.92 °N Longitude 23.95 °E Altitude 51 m Time zone UTC+2	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Agi a Triáda Markopoulou Meteonorm 8.0 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic		

### System summary

<b>Stand alone system</b>  <b>PV Field Orientation</b> horizontal plane	<b>Αυτόνομο υβριδικό σύστημα</b>  <b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 2.8 kWh/Day	<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 2 units Pnom total 880 Wp	<b>Battery pack</b> Technology Lithium-ion, LFP Nb. of units 2 units Voltage 26 V Capacity 360 Ah
--	---	---	---

### Results summary

Available Energy	1286 kWh/year	Specific production	1461 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	55.74 %
Used Energy	1012 kWh/year			Solar Fraction SF	83.81 %

### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Special graphs	8



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

**PVsyst V7.2.3**

VC1, Simulation date:  
17/01/23 11:40  
with v7.2.3

**General parameters**

<b>Stand alone system</b>	<b>Αυτόνομο υβριδικό σύστημα</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation horizontal plane	No 3D scene defined	Transposition Perez Diffuse Perez, Meteorom Circumsolar separate
<b>User's needs</b>		
Daily household consumers Constant over the year Average 2.8 kWh/Day		

**PV Array Characteristics**

<b>PV module</b>	<b>Battery</b>
Manufacturer Generic	Manufacturer Victron Energy
Model Mono 440 Wp Twin 144 half-cells (Original PVsyst database)	Model LFP-CB 25.6V / 180Ah
Unit Nom. Power 440 Wp	Technology Lithium-ion, LFP
Number of PV modules 2 units	Nb. of units 2 in parallel
Nominal (STC) 880 Wp	Discharging min. SOC 10.0 %
Modules 2 Strings x 1 In series	Stored energy 8.1 kWh
<b>At operating cond. (50°C)</b>	<b>Battery Pack Characteristics</b>
Pmpp 799 Wp	Voltage 26 V
U mpp 37 V	Nominal Capacity 360 Ah (C10)
I mpp 21 A	Temperature Average between fixed 20 °C and External
<b>Controller</b>	<b>Battery Management control</b>
Universal controller	Threshold commands as SOC calculation
Technology MPPT converter	Charging SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff. -5.0 mV/°C/Elem.	Discharging SOC = 0.10 / 0.35
<b>Converter</b>	Back-Up Genset Command SOC = 0.15/0.45
Maxi and EURO efficiencies 97.0 / 95.0 %	
<b>Back-up genset</b>	
Manufacturer Back-up generator	
Model 1.5 kW	
Nominal power 1.5 kW	
Effective power 1.0 kW	
<b>Total PV power</b>	
Nominal (STC) 1 kWp	
Total 2 modules	
Module area 4.4 m <sup>2</sup>	
Cell area 4.0 m <sup>2</sup>	

**Array losses**

<b>Thermal Loss factor</b>	<b>DC wiring losses</b>	<b>Serie Diode Loss</b>
Module temperature according to irradiance	Global array res. 23 mΩ	Voltage drop 0.7 V
Uc (const) 29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction 1.1 % at STC	Loss Fraction 1.7 % at STC
Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		
<b>Module Quality Loss</b>	<b>Module mismatch losses</b>	<b>Strings Mismatch loss</b>
Loss Fraction -0.4 %	Loss Fraction 2.0 % at MPP	Loss Fraction 0.1 %

17/01/23

PVsyst Licensed to

Page 3/8

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**PVsyst V7.2.3**

VC1, Simulation date:  
17/01/23 11:40  
with v7.2.3

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

**Array losses**

**IAM loss factor**

Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



**PVsyst V7.2.3**

VC1, Simulation date:  
17/01/23 11:40  
with v7.2.3

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

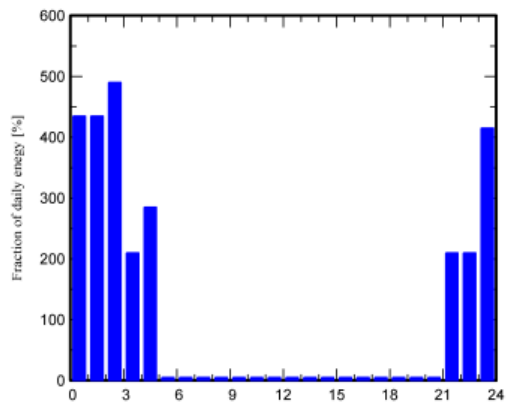
**Detailed User's needs**

Daily household consumers, Constant over the year, average = 2.8 kWh/day

**Annual values**

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lamps (LED or fluo)	1	410W/lamp	6.0	2460
TV / PC / Mobile	1	150W/app	1.0	150
Domestic appliances	1	40W/app	1.0	40
Stand-by consumers			24.0	120
<b>Total daily energy</b>				<b>2770Wh/day</b>

**Hourly distribution**



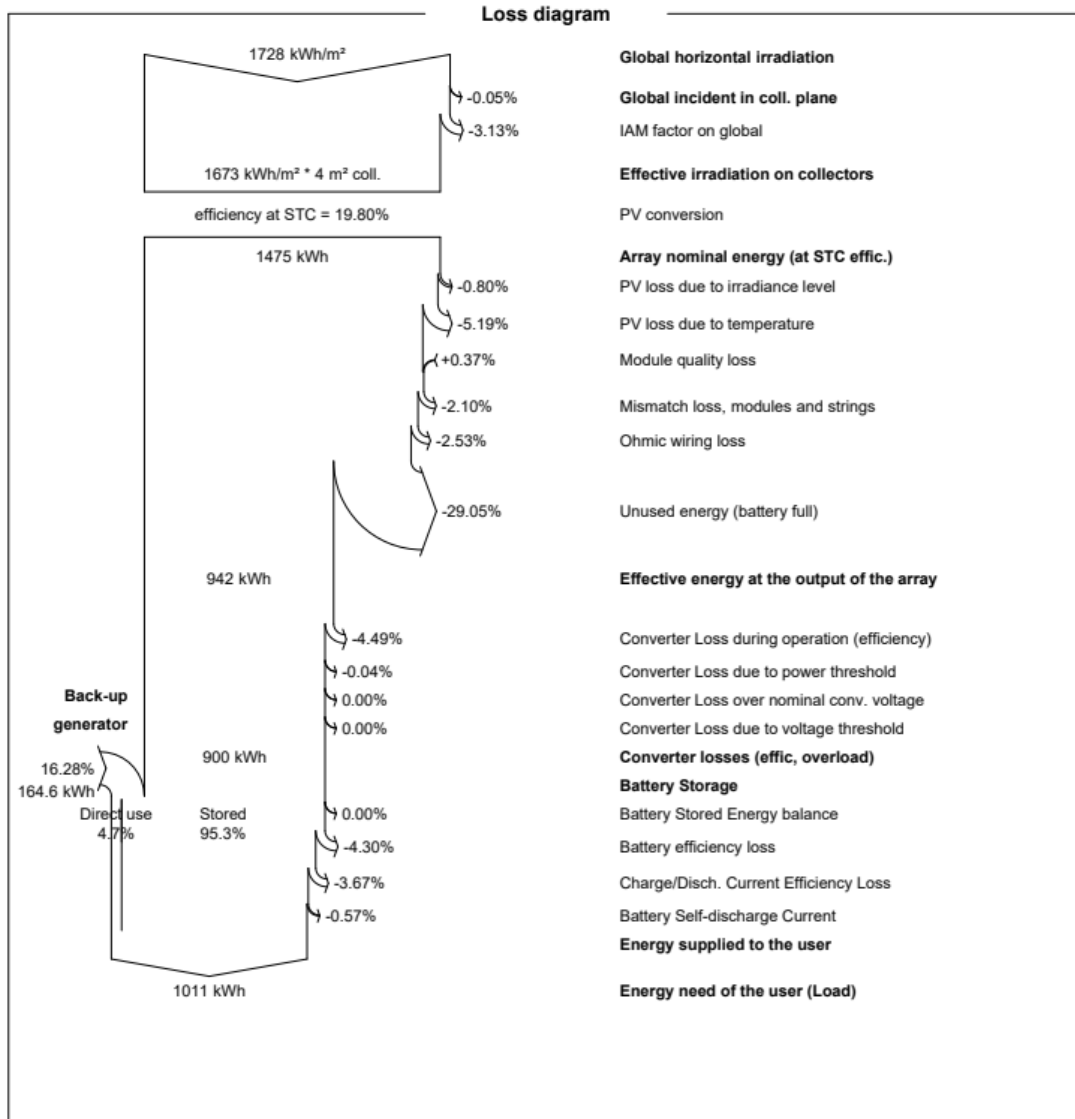
Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



**PVsyst V7.2.3**  
 VC1, Simulation date:  
 17/01/23 11:40  
 with v7.2.3

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp

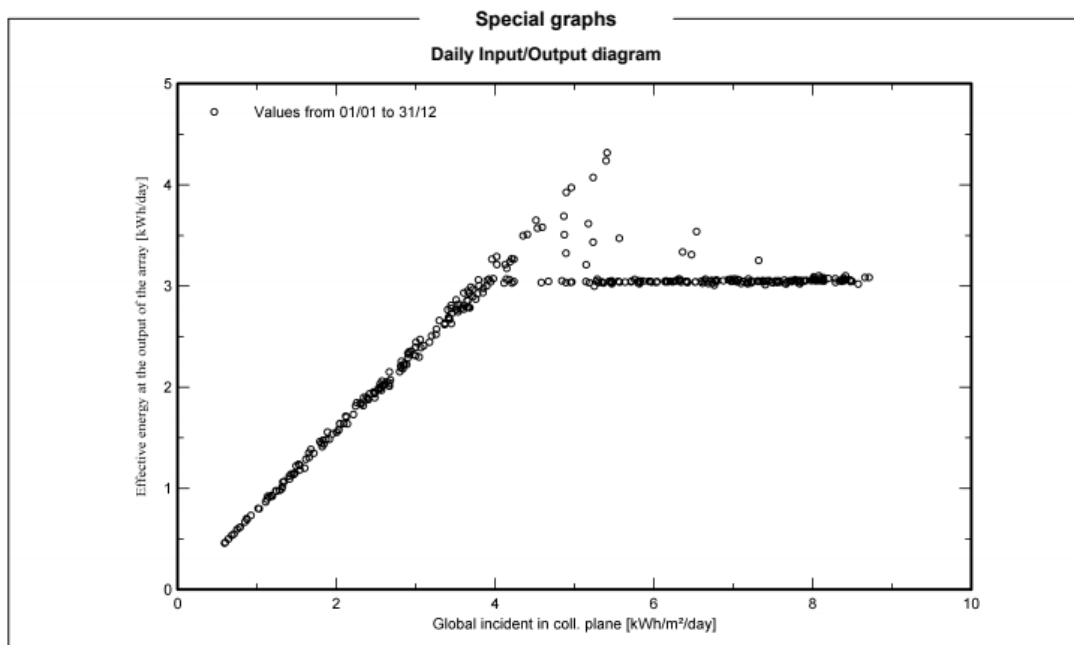




**PVsyst V7.2.3**  
VC1, Simulation date:  
17/01/23 11:40  
with v7.2.3

Project: ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Variant: 440Wp



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## Παράρτημα Β : Δελτία τεχνικών χαρακτηριστικών



**MultiPlus**  
500 / 800 / 1200 / 1600 VA



**MultiPlus 2000 VA**  
(bottom cover removed)

### **Multifunctional, with intelligent power management**

The MultiPlus is a powerful true sine wave inverter, a sophisticated battery charger that features adaptive charge technology, and a high-speed AC transfer switch in a single compact enclosure. Next to these primary functions, the MultiPlus has several advanced features, as outlined below.

### **Parallel operation and three phase capability**

Up to six Multis can operate in parallel to achieve higher power output. In addition to parallel connection, three units can be configured for three-phase output.

### **PowerControl - Dealing with limited generator, shore side or grid power**

With the Multi Control Panel a maximum generator or shore current can be set. The MultiPlus will then take account of other AC loads and use whatever is extra for charging, thus preventing the generator or shore supply from being overloaded.

### **PowerAssist - Boosting the capacity of shore or generator power**

This feature takes the principle of PowerControl to a further dimension. It allows the MultiPlus to supplement the capacity of the alternative source. Where peak power is so often required only for a limited period, the MultiPlus will make sure that insufficient shore or generator power is immediately compensated for by power from the battery. When the load reduces, the spare power is used to recharge the battery.

### **Four stage adaptive charger and dual bank battery charging**

The main output provides a powerful charge to the battery system by means of advanced 'adaptive charge' software. The software fine-tunes the three-stage automatic process to suit the condition of the battery, and adds a fourth stage for long periods of float charging. The adaptive charge process is described in more detail on the Phoenix Charger datasheet and on our website, under Technical Information. In addition to this, the MultiPlus will charge a second battery using an independent trickle charge output intended for a main engine or generator starter battery.

### **High start-up power**

Needed to start high inrush loads such as power converters for LED lamps, halogen lamps or electric tools.

### **Search Mode**

When Search Mode is 'on', the power consumption of the inverter in no-load operation is decreased by approx. 70%. In this mode the Multi, when operating in inverter mode, is switched off in case of no load or very low load, and switches on every two seconds for a short period. If the output current exceeds a set level, the inverter will continue to operate. If not, the inverter will shut down again.

### **Programmable relay**

By default, the programmable relay is set as an alarm relay, i.e. the relay will de-energise in the event of an alarm or a pre-alarm (inverter almost too hot, ripple on the input almost too high, battery voltage almost too low).

### **Remote on / off / charger on**

Three pole connector.

### **On-site system configuring, monitoring and control**

After installation, the MultiPlus is ready to go.

Some settings can be changed with DIP switches.

500/800/1200VA models: remote switch / battery charge voltage / inverter frequency / search mode.

1600/2000VA models: battery charge voltage / search mode.

For more settings use VE-Config or the VE.Bus Smart dongle.

### **Remote configuring and monitoring**

Install a Cerbo GX or other GX product to connect to the internet.

Operational data can be stored and displayed on our VRM (Victron Remote Management) website, free of charge.

When connected to the internet, systems can be accessed remotely, and settings can be changed.



### **GX Touch and Cerbo GX**

Provides intuitive system control and monitoring.

Besides system monitoring and control the Cerbo GX enables access to our free remote monitoring website: the VRM Online Portal.



### **VRM Portal**

Our free remote monitoring website (VRM) will display all your system data in a comprehensive graphical format. System settings can be changed remotely via the portal. Alarms can be received by e-mail.

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

12 Volt 24 Volt 48 Volt	MultiPlus 12/500/20 MultiPlus 24/500/10 MultiPlus 48/500/5	MultiPlus 12/800/35 MultiPlus 24/800/16 MultiPlus 48/800/9	MultiPlus 12/1200/50 MultiPlus 24/1200/25 MultiPlus 48/1200/13	MultiPlus 12/1600/70 MultiPlus 24/1600/40 MultiPlus 48/1600/20	MultiPlus 12/2000/80 MultiPlus 24/2000/50 MultiPlus 48/2000/25
PowerControl / PowerAssist	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Three Phase and parallel operation	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Transfer switch	16 A	16 A	16 A	16 A	35 A
<b>INVERTER</b>					
Input voltage range	9,5 – 17 V		19 – 33 V	38–66 V	
Output	Output voltage: 230VAC ± 2%		Frequency: 50Hz ± 0,1% (1)		
Cont. output power at 25°C (3)	500 VA	800 VA	1200 VA	1600 VA	2000 VA
Cont. output power at 25°C	430 W	700 W	1000 W	1300 W	1600 W
Cont. output power at 40°C	400 W	650 W	900 W	1100 W	1400 W
Cont. output power at 65°C	300 W	400 W	600 W	800 W	1000 W
Peak power	900 W	1600 W	2400 W	2800 W	3500 W
Maximum efficiency	90 / 91 / 92%	92 / 93 / 94%	93 / 94 / 95%	93 / 94 / 95%	93 / 94 / 95%
Zero-load power	6 / 6 / 7 W	7 / 7 / 8 W	10 / 9 / 10 W	10 / 9 / 10 W	10 / 9 / 10 W
Zero-load power in search mode	2 / 2 / 3 W	2 / 2 / 3 W	3 / 3 / 3 W	3 / 3 / 3 W	3 / 3 / 3 W
<b>CHARGER</b>					
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC		Input frequency: 45 – 65 Hz		
Charge voltage 'absorption'			14,4 / 28,8 / 57,6 V		
Charge voltage 'float'			13,8 / 27,6 / 55,2 V		
Storage mode			13,2 / 26,4 / 52,8 V		
Charge current house battery (4)	20 / 10 / 6 A	35 / 16 / 9 A	50 / 25 / 13 A	70 / 40 / 20 A	80 / 50 / 25 A
Charge current starter battery	1A (12 V and 24 V models only)				
Battery temperature sensor	Yes				
<b>GENERAL</b>					
Programmable relay (5)	Yes				
Protection (2)	a – g				
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration (RL45-splitter A5503006510 needed for 500 / 800 / 1200 VA models)				
Remote on-off	On/off/charger only		On/off		
DIP switches	Yes (6)	Yes (6)	Yes (6)	Yes (7)	Yes (7)
Internal DC fuse	125 / 60 / 30 A	150 / 80 / 40 A	200 / 100 / 50 A	200 / 125 / 60 A	no
Common Characteristics	Operating temp. range: -40 to +65°C (fan assisted cooling)		Humidity (non-condensing): max 95%		
<b>ENCLOSURE</b>					
Common Characteristics	Material & Colour: Steel/ABS (blue RAL 5012)		Protection category: IP 21		Steel (RAL 5012), IP22
Battery-connection	16 / 10 / 10 mm <sup>2</sup>	25 / 16 / 10 mm <sup>2</sup>	35 / 25 / 10 mm <sup>2</sup>	50 / 35 / 16 mm <sup>2</sup>	M8 bolts
230V AC-connection	G-STTB connector				
Weight	4,4 kg	6,4 kg	8,2 kg	10,2 kg	15,5 kg
Dimensions (h x w x d)	311 x 182 x 100 mm	360 x 240 x 100 mm	406 x 250 x 100 mm	470 x 265 x 120 mm	506 x 236 x 147 mm
<b>STANDARDS</b>					
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN 62109-1				
Emission Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Automotive Directive	ECE R10-5				
1) Can be adjusted to 60Hz and to 240V 2) Protection: a. Output short circuit b. Overload c. Battery voltage too high d. Battery voltage too low e. Temperature too high f. 230VAC on inverter output g. Input voltage ripple too high 3) Non-linear load, crest factor 3:1 4) Up to 25°C ambient 5) Programmable relay which can be set for: general alarm, DC under voltage or generator start/stop signal function AC rating: 230V/4A DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC 6) Remote / battery charge voltage / inverter frequency / search mode 7) Battery charge voltage / search mode					



**Digital Multi Control Panel**  
A convenient and low cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.



**VE.Bus Smart Dongle**  
Measures battery voltage and temperature and allows monitoring and control of Multis and Quattros with a smartphone or other Bluetooth enabled device.



**VRM app**  
Monitor and manage your Victron Energy system from your smart phone and tablet. Available for both iOS and Android



**MIC-USB (VE.Bus to USB Interface)**  
Connects to a USB port (see 'A guide to VEConfigure')



**BMV-712 Smart Battery Monitor**  
Use a smartphone or other Bluetooth enabled device to:  
1. customize settings,  
2. monitor all important data on single screen,  
3. view historical data,  
4. update the software when new features become available.



## 12,8 & 25,6 Volt Lithium-Iron-Phosphate Batteries Smart With Bluetooth

www.victronenergy.com

### Why lithium-iron-phosphate?

Lithium-iron-phosphate (LiFePO<sub>4</sub> or LFP) is the safest of the mainstream li-ion battery types. The nominal voltage of a LFP cell is 3,2V (lead-acid: 2V/cell). A 12,8V LFP battery therefore consists of 4 cells connected in series; and a 25,6V battery consists of 8 cells connected in series.

#### Rugged

A lead-acid battery will fail prematurely due to sulfation:

- If it operates in deficit mode during long periods of time (i.e. if the battery is rarely, or never at all, fully charged).
- If it is left partially charged or worse, fully discharged (yacht or mobile home during wintertime).

A LFP battery does not need to be fully charged. Service life even slightly improves in case of partial charge instead of a full charge. This is a major advantage of LFP compared to lead-acid.

Other advantages are the wide operating temperature range, excellent cycling performance, low internal resistance and high efficiency (see below).

LFP is therefore the chemistry of choice for demanding applications.

#### Efficient

In several applications (especially off-grid solar and/or wind), energy efficiency can be of crucial importance. The round-trip energy efficiency (discharge from 100% to 0% and back to 100% charged) of the average lead-acid battery is 80%.

The round-trip energy efficiency of a LFP battery is 92%.

The charge process of lead-acid batteries becomes particularly inefficient when the 80% state of charge has been reached, resulting in efficiencies of 50% or even less in solar systems where several days of reserve energy is required (battery operating in 70% to 100% charged state).

In contrast, a LFP battery will still achieve 90% efficiency under shallow discharge conditions.

#### Size and weight

Saves up to 70% in space  
Saves up to 70% in weight

#### Expensive?

LFP batteries are expensive when compared to lead-acid. But in demanding applications, the high initial cost will be more than compensated by longer service life, superior reliability and excellent efficiency.

#### Bluetooth

With Bluetooth cell voltages, temperature and alarm status can be monitored.

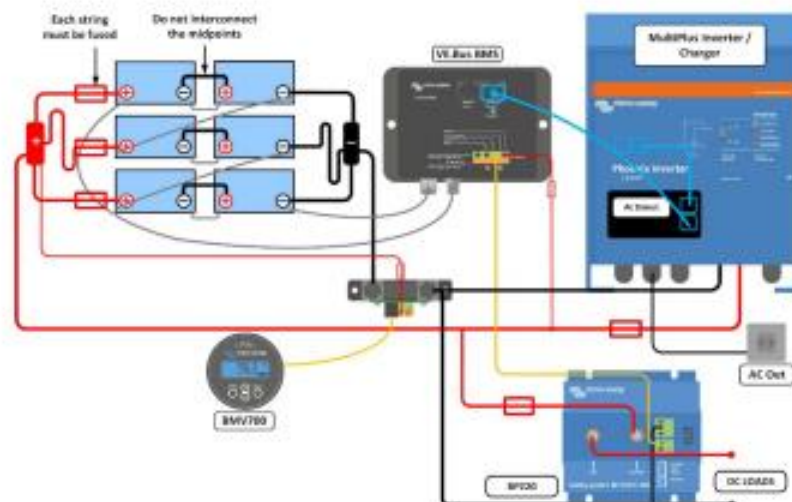
Very useful to localize a (potential) problem, such as cell imbalance.



12,8V 300Ah LiFePO<sub>4</sub> Battery



Li-Ion app



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

Our LFP batteries have integrated cell balancing and cell monitoring. Up to 5 batteries can be paralleled and up to four 12V batteries or two 24V batteries can be series connected, so that a 48V battery bank of up to 1500Ah can be assembled. The cell balancing/monitoring cables can be daisy-chained and must be connected to a Battery Management System (BMS).

**Battery Management System (BMS)**

The BMS will:

1. Generate a pre-alarm whenever the voltage of a battery cell decreases to less than 3,1V (adjustable 2,85 - 3,15 V).
2. Disconnect or shut down the load whenever the voltage of a battery cell decreases to less than 2,8V (adjustable 2,6 V - 2,8 V).
3. Stop the charging process whenever the voltage of a battery cell increases to more than 3,75 V or when the temperature becomes too high.

See the BMS datasheets for more features

Battery specification										
VOLTAGE AND CAPACITY	LFP-Smart 12,8/50	LFP-Smart 12,8/90	LFP-Smart 12,8/100	LFP-Smart 12,8/160	LFP-Smart 12,8/200	LFP-Smart 12,8/300	LFP-Smart 12,8/330	LFP-Smart 25,6/100	LFP-Smart 25,6/200	LFP-Smart 25,6/200-a
Nominal voltage	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	25,6V	25,6V	25,6V
Nominal capacity @ 25°C*	50Ah	60Ah	100Ah	160Ah	200Ah	300Ah	330Ah	100Ah	200Ah	200Ah
Nominal capacity @ 0°C*	40Ah	48Ah	80Ah	130Ah	160Ah	240Ah	260Ah	80Ah	160Ah	160Ah
Nominal capacity @ -20°C*	25Ah	30Ah	50Ah	80Ah	100Ah	150Ah	160Ah	50Ah	100Ah	100Ah
Nominal energy @ 25°C*	640Wh	768Wh	1280Wh	2048Wh	2560Wh	3840Wh	4220Wh	2560Wh	5120Wh	5120Wh
*Nominal capacity @ 25°C										
CYCLE LIFE (capacity = 80% of nominal)										
80% DoD	2500 cycles									
70% DoD	3000 cycles									
50% DoD	5000 cycles									
DISCHARGE										
Maximum continuous discharge current	100A	120A	200A	320A	400A	600A	400A	200A	400A	400A
Recommended continuous discharge current	±50A	±60A	±100A	±160A	±200A	±300A	±300A	±100A	±200A	±200A
End of discharge voltage	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	22,4V	22,4V	22,4V
Internal resistance	2mΩ	2mΩ	0,8mΩ	0,9mΩ	0,8mΩ	0,8mΩ	0,8mΩ	1,6mΩ	1,5mΩ	1,5mΩ
OPERATING CONDITIONS										
Operating temperature	Discharge: -20°C to +50°C Charge: +5°C to +50°C									
Storage temperature	-45°C to +70°C									
Humidity (non-condensing)	Max. 95%									
Protection class	IP 22									
CHARGE										
Charge voltage	Between 14V/28V and 14,4V/28,8V (14,2V/28,4V recommended)									
Float voltage	13,5V/27V									
Maximum charge current	100A	120A	200A	320A	400A	600A	400A	200A	400A	400A
Recommended charge current	±30A	±30A	±50A	±80A	±100A	±150A	±150A	±50A	±100A	±100A
OTHER										
Max storage time @ 25°C*	1 year									
BMS connection	Male + female cable with M8 circular connector, length 50cm									
Power connection (threaded inserts)	M8	M8	M8	M8	M8	M10	M10	M8	M8	M8
Dimensions (hoxwd) mm	199 x 188 x 147	239 x 286 x 132	197 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	347 x 425 x 204	265 x 359 x 206	197 x 658 x 163	317 x 621 x 268	237 x 650 x 163
Weight	7kg	12kg	14kg	18kg	20kg	51kg	30kg	28kg	56kg	39kg
*When fully charged										

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



## Orion-Tr DC-DC converters, low power

Non-isolated

www.victronenergy.com

### High efficiency

Using synchronous rectification, full load efficiency exceeds 95%.

### IP43 protection

When installed with the screw terminals oriented downwards.

### Screw terminals

No special tools needed for installation.



**Orion-Tr 24/12-5 (60W)**



**Orion-Tr 24/12-10 (120W)**

Non isolated converters	Orion-Tr 24/12-5	Orion-Tr 24/12-10	Orion-Tr 24/12-15	Orion-Tr 24/12-20
Input voltage range	18-35V	18-35V	18-35V	18-35V
Output voltage	12.7V	12.5V	12.5V	12.5V
Efficiency	95%	97%	97%	97%
Continuous output current	5A	10A	15A	20A
Max. Output current	7A	12A	20A	25A
Galvanic isolation	no	no	no	no
Off load current	< 20mA	< 45mA	< 35mA	< 35mA
Operating temperature range (derate 3% per °C above 40°C)	-20 to +55°C			
DC connection	Screw terminals			
Maximum cable cross-section	3,3 mm <sup>2</sup> AWG12	6 mm <sup>2</sup> AWG10	6 mm <sup>2</sup> AWG10	6 mm <sup>2</sup> AWG10
Weight kg (lbs)	0,09 (0.20)	0,2 (0.44)	0,25 (0.55)	0,25 (0.55)
Dimensions h x w x d in mm (h x w x d in inches)	53x51x27 (2.1x2x1.1)	73x94x37 (2.9x3.7x1.5)	73x94x45 (2.9x3.7x1.8)	73x94x45 (2.9x3.7x1.8)
Standards: Safety Emission Immunity Automotive Directive	EN 60950 EN 61000-6-3, EN 55014-1 EN 61000-6-2, EN 61000-6-1, EN 55014-2 ECE R10-4			



## SmartSolar Charge Controllers MPPT 100/30 & 100/50

www.victronenergy.com



SmartSolar Charge Controller  
MPPT 100/50



Bluetooth sending  
Smart Battery Sense



Bluetooth sending  
BMV-712 Smart Battery Monitor



### Bluetooth Smart built-in

The wireless solution to set-up, monitor, update and synchronise SmartSolar Charge Controllers.

### VE.Direct

For a wired data connection to a Color Control GX, other GX products, PC or other device.

### Ultrafast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a cloudy sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30 % compared to PWM charge controllers and by up to 10 % compared to slower MPPT controllers.

### Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP. The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

### Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 96 %. The full output current up to 46 °C (104 °F).

### Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

### Robust electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high. PV short circuit and PV reverse polarity protection. PV reverse current protection.

### Internal temperature sensor

Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

### Optional external battery voltage and temperature sensing via Bluetooth


A Smart Battery Sense or a BMV-712 Smart Battery Monitor can be used to communicate battery voltage and temperature to one or more SmartSolar Charge Controllers.

### Fully discharged battery recovery function

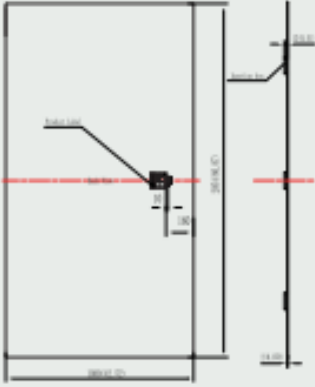
Will initiate charging even if the battery has been discharged to zero volts. Will reconnect to a fully discharged Li-ion battery with integrated disconnect function.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Battery voltage	12/24 V Auto Select	
Rated charge current	30 A	50 A
Nominal PV power, 12 V (1a2)	440 W	700 W
Nominal PV power, 24 V (1a2)	880 W	1400 W
Maximum PV open circuit voltage	100 V	100 V
Max. PV short circuit current, 2)	25 A	40 A
Maximum efficiency	96 %	96 %
Self-consumption	12 V: 30 mA / 24 V: 20 mA	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14.4 V / 28.8 V (adjustable)	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13.8 V / 27.6 V (adjustable)	
Charge algorithm	multi-stage adaptive	
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C	
Protection	PV reverse polarity Output short circuit Over temperature	
Operating temperature	-30 to +60 °C (full rated output up to 46 °C)	
Humidity	95 %, non-condensing	
Data communication port	VE.Direct	
<b>ENCLOSURE</b>		
Colour	Blue (RAL 5012)	
Power terminals	16 mm <sup>2</sup> / KRG6	
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)	
Weight	1.3 kg	
Dimensions (h x w x d)	130 x 186 x 70 mm	
<b>STANDARDS</b>		
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2	
<b>STORED TRENDS</b>		
Data stored	Battery voltage, current and temperature, as well as load output current, PV voltage and PV current.	
Number of days trends data is stored	46	
1) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 2) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V. 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.		

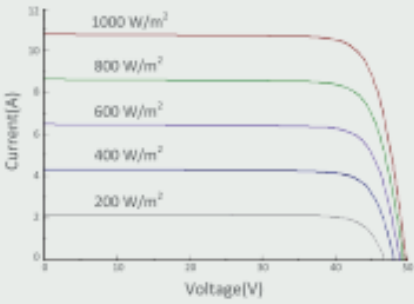
Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.



### DIMENSIONS




### I-V CURVE (430)



### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Module Operating Temperature(NOMT)	<b>41±2 °C</b>
Temperature Coefficient of $P_{max}$	<b>-0.38 %/°C</b>
Temperature Coefficient of $V_{oc}$	<b>-0.28 %/°C</b>
Temperature Coefficient of $I_{sc}$	<b>0.020 %/°C</b>



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STC	SMF425F-12X12UW	SMF430F-12X12UW
Maximum Power ( $P_{max}$ )	425	430
Maximum Power Voltage ( $V_{mp}$ )	41.8	42.0
Maximum Power Current ( $I_{mp}$ )	10.17	10.24
Open-circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	49.6	49.8
Short-circuit Current ( $I_{sc}$ )	10.67	10.74
Module Efficiency (%)	19.2	19.4
Operating Temperature	-40 °C to 85 °C	
Maximum System Voltage	1000 V DC (IEC)	
Maximum Series Fuse Rating	20 A	
Application Class	Class A	
Power Tolerance	0/+5 W	

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5, Tolerances of  $P_{max}$ ,  $V_{oc}$  and  $I_{sc}$  are within ±5%

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

NMOT	SMF425F-12X12UW	SMF430F-12X12UW
Maximum Power ( $P_{max}$ )	321.4	325.1
Maximum Power Voltage ( $V_{mp}$ )	38.6	38.8
Maximum Power Current ( $I_{mp}$ )	8.33	8.38
Open-circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	46.6	46.8
Short-circuit Current ( $I_{sc}$ )	8.64	8.69

NMOT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 25°C AM1.5, Wind speed 1m/s.

### PACKAGING CONFIGURATION

	20' GP	40' HC
Module per pallet	66+40	66
Pieces per container	530	1452

Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

**ZT Series Monocrystalline**  
*Solar Module*

**250S/255S**



### Efficiency

High Module Conversion Efficiencies utilizing three buss bars per cell

### Warranty

Peace of Mind Guaranteed with a twenty-five Year Linear Power Warranty and Product Quality Ensured for ten years

### Certifications

IEC 61215:2005, IEC 61730:2004, UL 1703-3rd Ed: 2014, ULC/ORD C1703-01:2014, ISO 9001:2008, PSK 024:2008

### Tolerance

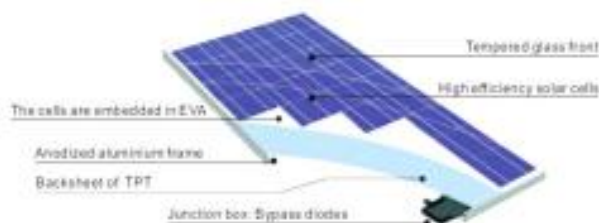
Strict quality control guarantees higher average power output according to a tolerance -3% to +3%

### Optimized Strength

Minimum standard for wind 2700Pa to a Mechanical load capacity up to 5400Pa meet customer's needs for durability on high mountains, sea shores, & paths between buildings



Module Construction



### EMPOWERING You To Change The Future

Zytech was founded in Zaragoza (Spain) in 2005. Since then the group has progressively increased its infrastructure and production capacity to become a global power with offices and headquarters in Spain, Germany, France, Italy, BENELUX, Mexico, United States of America, Korea, Malaysia and China.

Zytech takes pride in their R&D department which specializes in product enhancement, state-of-the-art machinery and rigorous quality control that guarantees an European quality product at the best price.

[www.zytechsolar.com](http://www.zytechsolar.com)



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

## ZT Series Monocrystalline

Solar Module

### 250S/255S



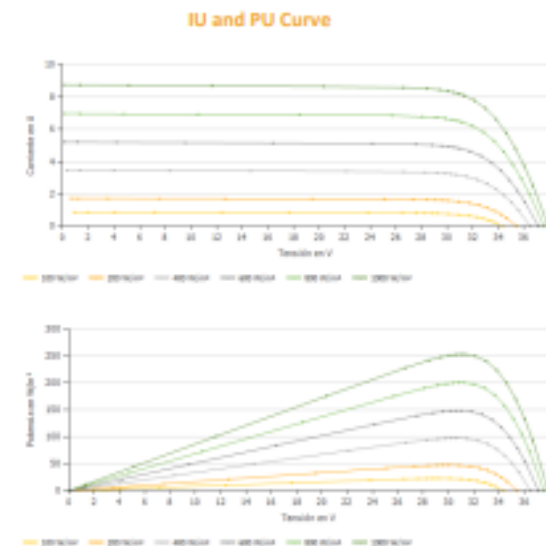
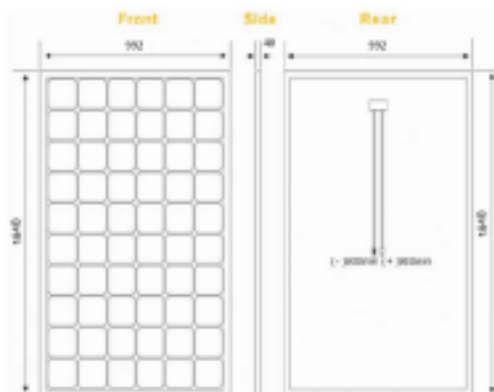
Cell Data	
Technology	Monocrystalline Silicon
Number Per Module	60
Dimension	156 x 156 mm
Orientation	6 x 10

Thermal Data	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of Isc	+0.037% / °C
Temperature Coefficient of Power Pmax	-0.48% / °C

Electrical Data (STC)		ZT 250S	ZT 255S
Maximum power (W)	Pmax	250	255
Power Output Tolerance (%)		-3% to +3%	
Maximum Power Voltage (V)	Vmpp	30.96	31.10
Maximum Power Current (A)	Impp	8.07	8.20
Open Circuit Voltage (V)	Voc	37.92	38.10
Short Circuit Current (A)	Isc	8.62	8.76
Module Efficiency (%)		17.96%	18.32%

\* At Standard Conditions (STC) Irradiance 1000 watt/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 at a cell temperature of 25°C

System Integrated Parameters	
Minimum System Voltage DC/AC	1000 VDC (UL1000V)
Maximum Reverse Current	Do not apply external voltages larger than Voc to the module
Operating Temperature	-40→+85°C
Max Series Fuse Rating	15A



Physical Characteristics	
Module Dimension (LxWxH)	1640x992x35/40 mm Code: PV30035 - ZT250S
Weight	18 kg
J-Box	IP65 or IP67 rated, 3/6 diodes
Connector	MC4 or MC4 Compatible
Glass	3.2mm (0.13 in.), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Cable	4 mm <sup>2</sup> PV cable, 1000mm/1200mm
Frame	Silver Anodized Aluminum Alloy

Packing Configuration	
Modules Per Pallet	26
Pallet Per 40'HQ Container	22
Packing Box Dimension (LxWxH)	2000x1150x1040 mm
Packing Orientation	Side

\*Zytech Solar reserves the right to change specifications without notice\*

### ZYTECH SOLAR S.L.

P. Industrial Centrova- C/R. Janeiro, 12  
50198 La Muela (Zaragoza) SPAIN  
Tel: +34 976 141819 / Fax: +34 976+141818  
info@zytech.es  
www.zytechsolar.es



Οι ΑΠΕ στην υπηρεσία της Άμυνας: Μελέτη μετατροπής της τροφοδοσίας ισχύος αμυντικού συστήματος από συμβατική σε υβριδική, με κύρια πηγή ενέργειας τον ήλιο.

**LUXOR**  
solar module manufacturer since 2007



- POWERFUL HETEROJUNCTION CELLS
- DOUBLE GLASS: HIGHER MECHANICAL STABILITY AND FIRE SAFETY
- BIFACIAL: DOUBLE-SIDED POWER GENERATION FOR MORE YIELD
- REDUCTION OF BALANCE-OF-SYSTEM-COSTS THROUGH HIGHER PERFORMANCE PER MODULE
- ESPECIALLY ECONOMIC FOR COMMERCIAL SYSTEMS



## ECO LINE HJT GLASS-GLASS BIFACIAL M132 / 680 - 700 W

MONOCRYSTALLINE MODULE FAMILY, WHITE MESH



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



Selection of components



Back glass



Performance surplus of 0.1p to 6.19 Wp



Higher heat dispensing



Pb free  
Ld Free



German warranty

Luxor Solar GmbH | Kornbergstraße 29 | 70176 Stuttgart | Germany | T+49.711.88 888 - 999 | info@luxor-solar.com | www.luxor-solar

# ECO LINE HJT GLASS-GLASS BIFACIAL

## M132 / 680 - 700 W, WHITE MESH

Module type LX - XXX M/210-132+ GG BIF | XXX - Rated power Pmpp

### Electrical data at STC

	680.00	685.00	690.00	695.00	700.00
Rated power Pmpp [Wp]	686.49	691.49	696.49	701.49	706.49
Pmpp range to					
Rated current Impp [A]	16.07	16.13	16.18	16.23	16.29
Rated voltage Vmpp [V]	42.52	42.49	42.66	42.83	43.00
Short-circuit current Isc [A]	17.10	17.16	17.21	17.27	17.33
Open-circuit voltage Uoc [V]	49.79	49.99	50.19	50.39	50.59
Efficiency at STC up to	22.10%	22.26%	22.42%	22.58%	22.74%
Efficiency at 200 W/m <sup>2</sup>	21.67%	21.84%	22.00%	22.15%	22.32%

### Electrical data at NOCT

Power at Pmpp [Wp]	517.89	521.70	525.50	529.31	533.12
Rated current Impp [A]	12.96	13.01	13.05	13.09	13.14
Rated voltage Vmpp [V]	39.96	40.11	40.28	40.44	40.58
Short-circuit current Isc [A]	13.79	13.84	13.88	13.93	13.97
Open-circuit voltage Uoc [V]	45.96	46.16	46.36	46.56	46.76

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000 W/m<sup>2</sup> | module temperature 25°C | Air Mass = 1.5  
 NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800 W/m<sup>2</sup> | wind speed 1m/sec | ambient temperature 20°C | cell operating temperature 45 +/- 2°C | Air Mass = 1.5

### Bifacial Gain\* (e.g. 390 Wp)

	5%	10%	15%	20%	25%
Backside power gain [Wp]					
Rated power Pmpp [Wp]	724.50	759.00	793.50	828.00	862.50
Rated current Impp [A]	16.98	17.79	18.60	19.40	20.21
Rated voltage Vmpp [V]	42.66	42.66	42.66	42.67	42.67
Short-circuit current Isc [A]	14.44	15.12	15.81	16.49	17.18
Open-circuit voltage Uoc [V]	50.19	50.19	50.19	50.20	50.20

\*depending on the reflection of the underlying surface

### Limiting values

Max. system voltage   max. return current	1500 V   30 A
Safety class   Fire safety class	II   A (according to IEC 61730)
Operating Temperature	-40 up to 85°C
Max. tested pressure load-/tensile <sup>2</sup>	5400 Pa / 2400 Pa

### Temperature coefficient

Temperature coefficient [U]   [I]   [P]	-0.26% /°C   0.04% /°C   -0.24% /°C
---	-------------------------------------

### Specifications

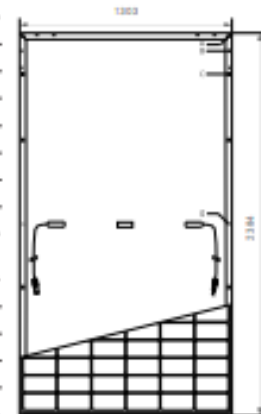
Number of cells (matrix)	132 (6x22)   210 mm x 105 mm
Module dimensions (L x W x H) <sup>3</sup>   Weight	2384 mm x 1303 mm x 35 mm   38.7 kg
Bifaciality factor <sup>4</sup>	Up to 83 %
Front-side glass	2 mm tempered, highly transparent, anti-reflection solar glass
Back-side	2 mm tempered, highly transparent, white mesh print
Frame	stable, anodised aluminium frame
Embedding material	EVA/POE
Junction Box	At least IP67
Cable	Symmetrical cable lengths > 1.3 m and 1.3 m, 4 mm <sup>2</sup> solar cable
Connectors   Diodes	MC4 or equivalent with IP67   3 Schottky Diodes
Hail test (max. hailstorm)	Ø 45 mm   impact velocity 23 m/s Δ 83 km/h

The specifications and average values can vary slightly. Relevant is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change with out notice. Measure ment tolerance depending on equipment: rated power +/- 2%, other values +/- 10%. All information given in this data sheet corresponds to DIN EN 50383. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here. Further information in the installation manual.

- The specific warranty conditions are given under [www.luxor.solar/downloads.html](http://www.luxor.solar/downloads.html)
- Horizontal mounted, for details please check mounting in struction
- Tolerance L/W = +/- 3 mm, H +/- 3mm, the dimensions given in the order confirmation will be decisive
- Location and dimension of holes on request
- Bifaciality factor 80% +/- 2%

Luxor, your specialised company

### Back - / Frontview<sup>1</sup>

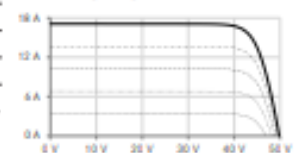


### Drilled holes<sup>4</sup>

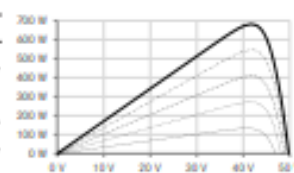
- A: 4 x drainage
- B: 16 x ventilation
- C: 8 x mounting
- D: 2x earthing

### Electrical characteristics

UI-diagram e.g. LX-680M/210-132+



UP-diagram e.g. LX-680M/210-132+



- ..... 200 W/m<sup>2</sup>
- 400 W/m<sup>2</sup>
- 600 W/m<sup>2</sup>
- 800 W/m<sup>2</sup>
- 1000 W/m<sup>2</sup>



Guidelines:  
 93/68/EEC  
 2014/35/EU (LVD)  
 2014/30/EU (EMC)

The validity of the certificates/listings for a specific country has to be examined under: [www.luxor.solar/downloads.html](http://www.luxor.solar/downloads.html)

Eco Line 0(L)\_HJT\_BF\_M132\_40102/680-700W\_09/2022