



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Αξιολόγηση της Επίδρασης του Διαθέσιμου Δυναμικού ΑΠΕ στην  
Τεχνοοικονομική Συμπεριφορά Υβριδικών Σταθμών ΑΠΕ -  
Αποθήκευσης Ενέργειας για Εφαρμογές Αυτοπαραγωγής στην  
Ελληνική Επικράτεια**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**Πρίφτη Έρις-Θεόδωρος**

Επιβλέπων:

Δρ. Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α

Αθήνα, Μάρτιος 2024





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Αξιολόγηση της Επίδρασης του Διαθέσιμου Δυναμικού ΑΠΕ στην  
Τεχνοοικονομική Συμπεριφορά Υβριδικών Σταθμών ΑΠΕ - Αποθήκευσης  
Ενέργειας για Εφαρμογές Αυτοπαραγωγής στην Ελληνική Επικράτεια**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**Πρίφτη Έρις-Θεόδωρος**

**Επιβλέπων:** Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής

Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ Κοσμάς Καββαδίας

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ Παπαποστόλου Χριστιάνα

Επίκουρη Καθηγήτρια

Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

**Copyright © - Πρίφτη Έρις-Θεόδωρος, 2024**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**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 στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο Δηλών  
(Υπογραφή)



**Πρίφτη Έρις-Θεόδωρος**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την τεχνοοικονομική συμπεριφορά υβριδικών σταθμών ΑΠΕ με χρήση συσσωρευτών σε εφαρμογές αυτοπαραγωγής οικιακής κλίμακας και πιο συγκεκριμένα σε εφαρμογές συνδυασμένων στρατηγικών ιδιοκατανάλωσης και εμπορίας ενέργειας. Κύρια έμφαση δίνεται στην διερεύνηση της επίδρασης του τοπικού αιολικού και ηλιακού δυναμικού, μελετώντας τρεις διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας (Αθήνα, Ηράκλειο και Θεσσαλονίκη), καθώς και της μεταβολής της οριακής τιμής του συστήματος στη χονδρεμπορική αγορά ενέργειας, κατά την τετραετή περίοδο από το 2019 έως το 2022. Όπως προαναφέρθηκε, πρωταρχικός στόχος των υπό εξέταση συστημάτων είναι όχι μόνο η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οικιακών φορτίων, αλλά και η ενεργός συμμετοχή τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το υπό μελέτη πρόβλημα διαμορφώνεται ως πρόβλημα επίλυσης ενεργειακού ισοζυγίου αποσκοπώντας στην αξιολόγηση τάσεων ως προς την τεχνοοικονομική συμπεριφορά παρόμοιων συστημάτων μέσω της διενέργειας επίσης παραμετρικής ανάλυσης για την εξέταση πλήθους σεναρίων βάσει της μεταβολής βασικών ενεργειακών συνιστωσών.

## Λέξεις Κλειδιά

Υβριδικό Σύστημα, Παραγωγή και Αποθήκευση Ενέργειας, Εμπορία Ενέργειας, ΑΠΕ, Συσσωρευτές, Αυτοπαραγωγή

## **Abstract**

This thesis examines the techno-economic behaviour of hybrid RES plants using batteries in residential-scale self-production applications and more specifically in applications of combined strategies of self-consumption and energy trading. The main focus is on investigating the impact of local wind and solar potential, studying three different regions of Greece (Athens, Heraklion and Thessaloniki), as well as the change in the marginal system price in the wholesale energy market, during the four-year period from 2019 to 2022. As mentioned above, the primary objective of the systems under consideration is not only to meet the energy needs of household loads, but also to actively participate in the electricity market. The problem under study is formulated as an energy balance solution problem aiming to evaluate trends in the techno-economic behaviour of similar systems by also performing parametric analysis to examine a number of scenarios based on the change in key energy components.

## **Keywords**

Hybrid System, Energy Production and Storage, Energy Trading, Renewable Energy Sources, Accumulators, Auto Production

## ***Ευχαριστίες***

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον καθηγητή μου, κ. Δημήτριο Ζαφειράκη, του οποίου η καθοδήγηση και υποστήριξη ήταν ανεκτίμητες καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επιπλέον, είμαι βαθύτατα ευγνώμων στην οικογένειά μου για την υποστήριξη, κατανόηση και υπομονή τους κατά τη διάρκεια των απαιτητικών φάσεων αυτής της ακαδημαϊκής προσπάθειας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου, των οποίων η ενθάρρυνση και η βοήθεια, έκαναν αυτή την εργασία πιο ευχάριστη. Αυτή η διατριβή δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συλλογική υποστήριξη του καθηγητή μου, της οικογένειάς μου και των φίλων μου, και γι' αυτό είμαι πραγματικά ευγνώμων.

# Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων .....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	9
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	15
Κεφάλαιο 3. Εθνικό Ενεργειακό Μείγμα .....	18
Κεφάλαιο 4. Εφαρμογές Κατάντη του Μετρητή .....	21
Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία.....	24
5.1 Δεδομένα Εισόδου .....	25
5.2 Αρχές Προσομοίωσης.....	26
Κεφάλαιο 6. Μελέτη Περίπτωσης .....	28
6.1 Τιμές Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	29
6.2 Τελικός Καταναλωτής .....	30
6.3 Ανεμολογικά δεδομένα και Χαρακτηριστικά A/Γ .....	30
6.4 Ηλιακά δεδομένα και χαρακτηριστικά Φ/B .....	34
6.5 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών .....	37
Κεφάλαιο 7. Αποτελέσματα Εφαρμογής .....	40
7.1 Εισαγωγικά .....	41
7.2 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Αθήνα.....	41
7.3 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Αθήνα .....	45
7.4 Penalty Εγγυημένης για Αθήνα .....	49
7.5 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Ηράκλειο.....	52
7.6 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Ηράκλειο .....	56
7.7 Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο .....	59
7.8 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Θεσσαλονίκη .....	62
7.9 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Θεσσαλονίκη.....	65
7.10 Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη .....	68
7.11 Σύγκριση Περιοχών - LCOE .....	71
7.12 Σύγκριση Περιοχών - Συνολικό Σ.Κ. ....	74
7.13 Σύγκριση Περιοχών - Penalty Εγγυημένης .....	76



Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα .....	78
Βιβλιογραφία.....	81

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση ενός συστήματος BTM. (enel,2023).....	22
Εικόνα 2: Λειτουργία και Παράμετροι Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας.....	25
Εικόνα 3: Βασικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.....	38

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μέσες και μέγιστες ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τα 4 έτη μελέτης. ....	29
Πίνακας 2: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Αθήνα.....	33
Πίνακας 3: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Ηράκλειο.....	33
Πίνακας 4: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Θεσσαλονίκη. ....	33
Πίνακας 5: Πίνακας λειτουργίας Φ/Β ανα τάξη διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας.....	34

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής για τα έτη 2019 έως 2022. (ΔΑΠΕΕΠ) .....	20
Διάγραμμα 2: Ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τα 4 έτη μελέτης.....	29
Διάγραμμα 3: Καμπύλη λειτουργίας Α/Γ. ....	31
Διάγραμμα 4: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Αθήνα. ....	31
Διάγραμμα 5: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Ηράκλειο. ....	32
Διάγραμμα 6: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Θεσσαλονίκη.....	32
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα λειτουργίας Φ/Β ανά τάξη διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας.....	35
Διάγραμμα 8: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Αθήνα.....	35
Διάγραμμα 9: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Ηράκλειο.....	36
Διάγραμμα 10: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Θεσσαλονίκη.....	36
Διάγραμμα 11: Σύγκριση συνολικού LCOE για Αθήνα.....	41
Διάγραμμα 12: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2019.....	42
Διάγραμμα 13: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2020.....	42
Διάγραμμα 14: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2021.....	43

Διάγραμμα 15: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2022.....	43
Διάγραμμα 16: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Αθήνα.....	45
Διάγραμμα 17: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2019. ....	46
Διάγραμμα 18: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2020. ....	46
Διάγραμμα 19: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2021. ....	47
Διάγραμμα 20: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2022. ....	47
Διάγραμμα 21: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Αθήνα. ....	49
Διάγραμμα 22: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2019. ....	49
Διάγραμμα 23: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2020. ....	50
Διάγραμμα 24: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2021. ....	50
Διάγραμμα 25: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2022. ....	51
Διάγραμμα 26: Σύγκριση συνολικού LCOE για Ηράκλειο. ....	52
Διάγραμμα 27: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2019. ....	53
Διάγραμμα 28: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2020. ....	53
Διάγραμμα 29: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2021. ....	54
Διάγραμμα 30: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2022. ....	54
Διάγραμμα 31: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Ηράκλειο.....	56
Διάγραμμα 32: Σ.Κ για Ηράκλειο 2019.....	56
Διάγραμμα 33: Σ.Κ για Ηράκλειο 2020.....	57
Διάγραμμα 34: Σ.Κ για Ηράκλειο 2021.....	57
Διάγραμμα 35: Σ.Κ για Ηράκλειο 2022.....	58
Διάγραμμα 36: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο. ....	59
Διάγραμμα 37: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2019. ....	59
Διάγραμμα 38: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2020. ....	60
Διάγραμμα 39: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2021. ....	60
Διάγραμμα 40: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2022. ....	61
Διάγραμμα 41: Σύγκριση συνολικού LCOE για Θεσσαλονίκη.....	62
Διάγραμμα 42: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2019.....	62
Διάγραμμα 43: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2020.....	63
Διάγραμμα 44: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2021.....	63
Διάγραμμα 45: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2022.....	64
Διάγραμμα 46: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Θεσσαλονίκη.....	65
Διάγραμμα 47: Σ.Κ για Θεσσαλονίκη 2019.....	65
Διάγραμμα 48: Σ.Κ για Θεσσαλονίκη 2020.....	66
Διάγραμμα 49: Σ.Κ για Θεσσαλονίκη 2021.....	66
Διάγραμμα 50: Σ.Κ για Θεσσαλονίκη 2022.....	67
Διάγραμμα 51: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη. .	68
Διάγραμμα 52: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2019. ....	68
Διάγραμμα 53: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2020. ....	69
Διάγραμμα 54: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2021. ....	69

Διάγραμμα 55: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2022. ....	70
Διάγραμμα 56: Σύγκριση LCOE για 24ώρη πώληση. ....	71
Διάγραμμα 57: Σύγκριση LCOE για 12ώρη πώληση. ....	72
Διάγραμμα 58: Σύγκριση LCOE για 8ώρη πώληση. ....	72
Διάγραμμα 59: Σύγκριση Σ.Κ για 24ώρη πώληση. ....	74
Διάγραμμα 60: Σύγκριση Σ.Κ για 12ώρη πώληση. ....	74
Διάγραμμα 61: Σύγκριση Σ.Κ για 8ώρη πώληση. ....	75
Διάγραμμα 62: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 24ώρη πώληση. ....	76
Διάγραμμα 63: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 12ώρη πώληση. ....	76
Διάγραμμα 64: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 8ώρη πώληση. ....	77

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Σε μια εποχή που χαρακτηρίζεται από την αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και την επείγουσα ανάγκη μετάβασης προς βιώσιμες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) είναι καίριας σημασίας. Μεταξύ αυτών, τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που ενσωματώνουν πολλαπλές πηγές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη διέξοδο για την αντιμετώπιση της διαλείπουσας παραγωγής και της μεταβλητότητας που είναι εγγενείς στις μεμονωμένες ανανεώσιμες πηγές. Η συμβολή των εξελίξεων στην τεχνολογία και η αυξανόμενη αναγνώριση της οικονομικής βιωσιμότητας τέτοιων συστημάτων έχει οδηγήσει στην ευρεία υιοθέτησή τους, με βαθύ αντίκτυπο στο ενεργειακό τοπίο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της επίδρασης του διαθέσιμου δυναμικού ΑΠΕ στην τεχνοοικονομική συμπεριφορά υβριδικών σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας οικιακής κλίμακας, για εφαρμογές αυτοπαραγωγής στην ελληνική επικράτεια. Ο στόχος είναι διττός: η αξιοποίηση του τοπικού δυναμικού ΑΠΕ, και η στρατηγική ανάπτυξη συστημάτων διεσπαρμένων αποθήκευσης ενέργειας για την επίτευξη βέλτιστης διαχείρισης της ενέργειας (παραγωγή, κατανάλωση και εμπορία). Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τους ευρύτερους στόχους της επίτευξης ενεργειακής ανεξαρτησίας καθώς και προώθησης της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η χρονική εμβέλεια της παρούσας έρευνας καλύπτει τέσσερα κρίσιμα έτη: 2019, 2020, 2021 και 2022. Η διάρκεια αυτή επιτρέπει επαρκή ανάλυση της συμπεριφοράς και της προσαρμοστικότητας του υβριδικού συστήματος σε ένα ικανό χρονικό διάστημα που ενσωματώνει μεταβολές των κλιματικών συνθηκών και μεταβολές ως προς τη μακροχρόνια διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο χονδρεμπορικής αγοράς. Επιπλέον, η μελέτη δίνει έμφαση σε τρεις διαφορετικές περιοχές (Αθήνα, Ηράκλειο και Θεσσαλονίκη) αντιπροσωπευτικές της κεντρικής, νότιας και βόρειας Ελλάδας αντίστοιχα. Εστιάζοντας στις διαφορές του δυναμικού ΑΠΕ μεταξύ αυτών των περιοχών, η έρευνα εν τέλει στοχεύει στον καθορισμό βέλτιστων υβριδικών σχημάτων υπό την αξιοποίηση διαφορετικού δυναμικού ΑΠΕ, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών εντός της ελληνικής επικράτειας.

Η βασική αρχή λειτουργίας περιστρέφεται γύρω από την ικανότητα του υβριδικού συστήματος όχι μόνο να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας κατοικίας αλλά και να συμμετέχει ενεργά στην εμπορία ενέργειας με το δίκτυο. Η συμβιωτική σχέση μεταξύ της αυτάρκειας και της αλληλεπίδρασης με το δίκτυο εισάγει μια δυναμική οικονομική διάσταση στη μελέτη. Με τον τρόπο αυτό, η παρούσα διπλωματική επιδιώκει να παράξει συμπεράσματα αναφορικά με το βέλτιστο ισοζύγιο μεταξύ ιδιοκατανάλωσης και αλληλεπίδρασης με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας υπό διαφορετικές συνθήκες και σενάρια λειτουργίας. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος είναι επίσης να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη οικονομική αξιολόγηση στη βάση μακροχρόνιων δεικτών όπως το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας, περικλείοντας ταυτόχρονα το οικονομικό αποτέλεσμα της εμπορίας ενέργειας.

Στα επόμενα κεφάλαια, θα εμβαθύνουμε στις βασικές, σχεδιαστικές και λειτουργικές αρχές ενός τυπικού υβριδικού συστήματος, αναλύοντας επίσης τα βασικά οικονομικά μεγέθη καθώς και τους δείκτες, ενεργειακούς και οικονομικούς, που αξιοποιούνται για την αξιολόγηση των υπό εξέταση συστημάτων.

Καθώς περιηγούμαστε στα εμπειρικά δεδομένα και αξιοποιούμε καθιερωμένες θεωρίες και πρακτικές στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της οικονομικής αξιολόγησης, η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συνεισφέρει πολύτιμες γνώσεις στον αναπτυσσόμενο τομέα των βιώσιμων ενεργειακών λύσεων. Τα ευρήματα και οι συστάσεις που απορρέουν από την παρούσα μελέτη έχουν ως στόχο να καθοδηγήσουν τις μελλοντικές επενδύσεις σε υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ανοίγοντας το δρόμο για ένα πιο ανθεκτικό, οικονομικά βιώσιμο ενεργειακό μέλλον στην ελληνική επικράτεια.

## Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Λόγω της συνεχώς αυξανόμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της ανησυχίας για περιβαλλοντικά ζητήματα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και παρουσιάζουν πλεονεκτήματα όπως περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προσβασιμότητα, χαμηλό κόστος υπό συνθήκες, και αφθονία. Τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν προταθεί για να ξεπεραστεί η μεταβλητότητα και η αβεβαιότητα που εισάγει μία και μόνο ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως αναφέρεται και από τους (Lian, Zhang, Ma, Yang and Chaima, 2019). Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια είναι σε πολλές των περιπτώσεων συμπληρωματικές μεταξύ τους και ως εκ τούτου, ο εν λόγω συνδυασμός θεωρείται κατάλληλος για την ανάπτυξη ενός υβριδικού συστήματος. Αυτά τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχουν πιο αξιόπιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και μπορούν να σχεδιαστούν για την εκπλήρωση των επιθυμητών ιδιοτήτων με πιο μειωμένο κόστος όπως έδειξαν οι (Khan, Pal and Saeed, 2018) στην έρευνα τους.

Παρά τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και τη βιωσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παραμένουν δύο σημαντικά ζητήματα κατά την ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτον, είναι γνωστό ότι η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές καιρικές και κλιματικές συνθήκες. Δεύτερον, καθώς αυξάνεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι πιο δύσκολο για τα υφιστάμενα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας να φιλοξενήσουν την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όπως αποδεικνύεται από τους (Yang, Bremner, Menictas, Kay, 2018). Στην Καλιφόρνια, για παράδειγμα, η υπερβολική παραγωγή φωτοβολταϊκών οδήγησε σε εξαιρετικά χαμηλή μεσημεριανή καθαρή ζήτηση. Ωστόσο, παρατηρήθηκε υψηλή καθαρή ζήτηση το πρωί και το βράδυ, όταν τα φωτοβολταϊκά δεν είναι σε θέση να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια. Όταν σε αυτό το προφίλ καθαρής ζήτησης προστίθεται επιπρόσθετη φωτοβολταϊκή ενέργεια, η μείωση της μεσημεριανής καθαρής ζήτησης θα ενταθεί και θα οδηγήσει στη γνωστή "καμπύλη της πάπιας" (The Electricity Journal, 2016). Μια λύση για το πρόβλημα αυτό διατυπώνουν και πάλι οι (Yang, Bremner, Menictas, Kay, 2022) σε άλλη τους έρευνα, αναφέροντας τη χρήση αποθηκευτικής μονάδας, δηλαδή συσσωρευτών, οι οποίοι θα διαστασιολογηθούν έτσι ώστε να εξισορροπήσουν την παραγωγή παρόμοιων υβριδικών συστημάτων.

Ως προς την οικονομική αξιολόγηση τώρα, τα συγκεκριμένα συστήματα εμφανίζουν πολλά οικονομικά οφέλη όπως αποδεικνύεται και από την διπλωματική εργασία της (Στεφανίδη, 2023). Η οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας, όπως η Ελλάδα η οποία διαθέτει αξιόλογο δυναμικό για αρκετές ΑΠΕ και μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη χρήση τους (Tampakis, Arabatzis, Tsantopoulos, Rerras, 2017), συνδέεται στενά με τη διαθεσιμότητα, την παραγωγή, τη διανομή και τη χρήση της ενέργειας. Έτσι η αξιολόγηση μίας τέτοιας επένδυσης ως προς τα οικονομικά οφέλη της όπως πραγματοποίησαν οι (Chatzigeorgiou, Barzegkar-Ntovom et al, 2020), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το Levelized Cost of Use για να εξάγουν συμπεράσματα, είναι μια βασική προϋπόθεση για την επιτυχία ενός τέτοιου συστήματος. Το γεγονός αυτό έλαβαν υπόψη τους και οι (Συμιακάκης και Κανέλλος, 2023) και πραγματοποίησαν μια έρευνα η οποία ενσωματώνει τη δυνατότητα των υβριδικών συστημάτων για εμπορία ενέργειας με το δίκτυο. Ένα τέτοιο σχήμα μπορεί να προσφέρει νέες οικονομικές δυνατότητες.

Παρόλα αυτά πρέπει να εξεταστεί, όπως αναφέρουν και οι (Αλεξόπουλος, Αναστασιάδης κ.α, 2021), η ευελιξία του δικτύου για την υποστήριξη της διείσδυσης των ΑΠΕ καθώς και πρέπει να δοκιμαστεί η ικανότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να λειτουργεί αξιόπιστα.



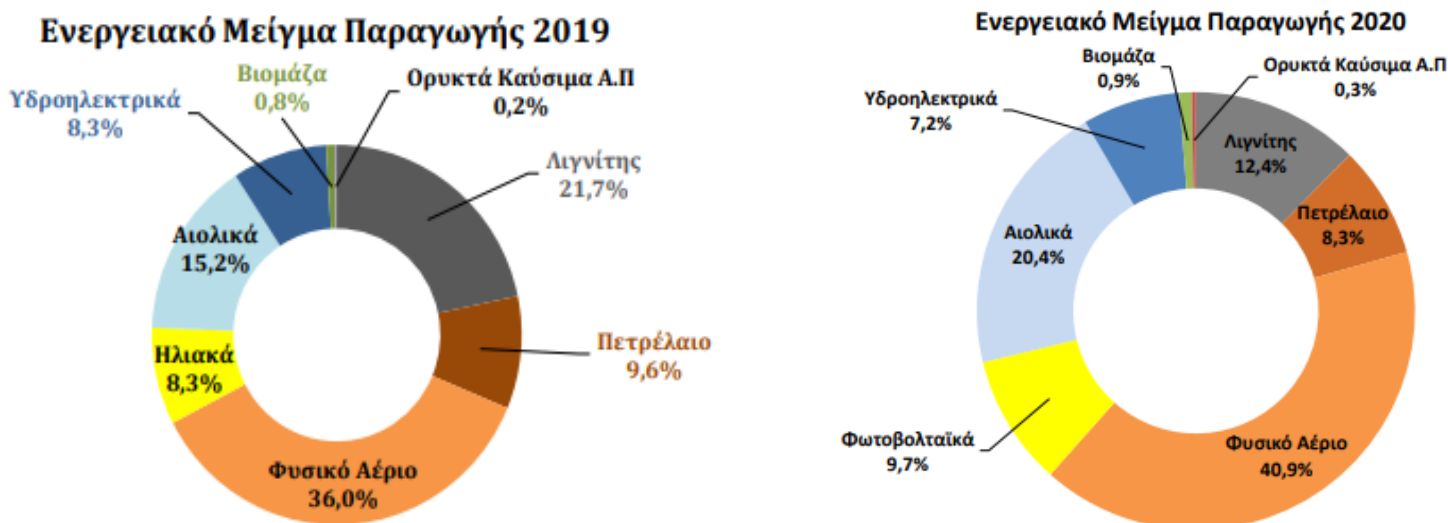
Τέλος όπως αποδείχθηκε και από την έρευνα των (G.Nasser, Rocha, I.Bolis and P.Rotella Junior, 2021) ο συγκεκριμένος τομέας είναι υπό ανάπτυξη, με την υβριδική παραγωγή ΑΠΕ, την αποθήκευση ενέργειας αλλά και τη σύνδεση αυτών στο δίκτυο, να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή ανάπτυξη τα επόμενα έτη.

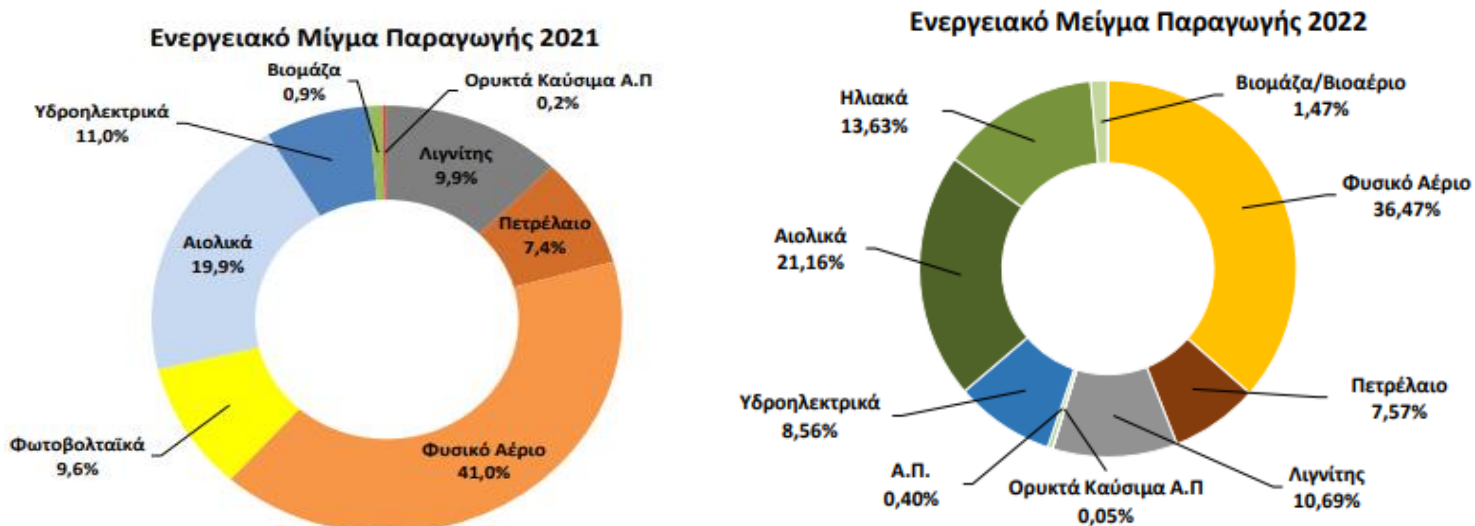
## Κεφάλαιο 3. Εθνικό Ενεργειακό Μείγμα

Μέχρι το 2050 η χώρα μας, όπως και οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, θα πρέπει να έχει σταματήσει να εκλύει αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ή, έστω, να δεσμεύει από την ατμόσφαιρα ισοδύναμη ποσότητα όσων εκλύει. Θα πρέπει να γίνει "κλιματικά ουδέτερη" (European Commission 2019). Το 2050, όμως, θα θέλουμε να έχουμε μια ακμάζουσα και αναπτυσσόμενη οικονομία, οικονομικό ηλεκτρισμό, θέρμανση και ψύξη στα σπίτια, να κινούμαστε με αυτοκίνητα και μέσα μαζικής μεταφοράς, να παράγουμε βιομηχανικά προϊόντα και να απολαμβάνουμε, γενικά, τους καρπούς του ανθρώπινου πολιτισμού. Για αυτό θα πρέπει να παράγουμε και να καταναλώνουμε ενέργεια. Στην εποχή μας, τρεις δεκαετίες πριν από το 2050, ο τομέας της ενέργειας προκαλεί το 40% των εκπομπών. Από τους 96,1 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> που εκλύονταν το 2018, οι 38,3 εκατ. προέρχονταν από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1990 η χώρα μας εξέπεμψε 105,8 μεγατόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Το 2005, τη χειρότερη χρονιά, εξέπεμψε 139,1. Το 2050 θα πρέπει να φτάσει στο μηδέν. (Νίκος Βέττας, Svetoslav Danchev, Γιώργος Μανιάτης, Νίκος Παρατσιώκας και Κώστας Βαλάσκας, 2021).

Μεταξύ 2019 και 2022, ο ελληνικός τομέας ηλεκτρικής ενέργειας γνώρισε αξιοσημείωτες αλλαγές, με γνώμονα τη διπλή δέσμευση για περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ενεργειακή ανεξαρτησία. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, σημειώθηκε σημαντική αύξηση της υιοθέτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), ιδίως αιολικής και ηλιακής, καθώς η ελληνική Πολιτεία επιδίωξε φιλόδοξους στόχους που περιγράφονται στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΥΠΕΝ, 2023). Η χώρα γνώρισε μια έξαρση στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, αξιοποιώντας την άφθονη ηλιακή ακτινοβολία και το αιολικό δυναμικό σε διάφορες περιοχές. Αυτή η εκτεταμένη ανάπτυξη των ΑΠΕ συνέβαλε σε σημαντική αύξηση του μεριδίου της καθαρής ενέργειας στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό βήμα προς τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της Ελλάδας και την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι αλλαγές στο ενεργειακό μείγμα ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας φαίνονται και παρακάτω, στα σχετικά σχήματα τα οποία δίνονται από τον Διαχειριστή ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ 2019,2020,2021,2022).





Διάγραμμα 1: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής για τα έτη 2019 έως 2022. (ΔΑΠΕΕΠ)

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα, όσο περνάνε τα έτη τόσο μεγαλύτερο κομμάτι καταλαμβάνουν οι ΑΠΕ και τόσο λιγότερη συμμετοχή διαθέτει ο λιγνίτης και το πετρέλαιο.

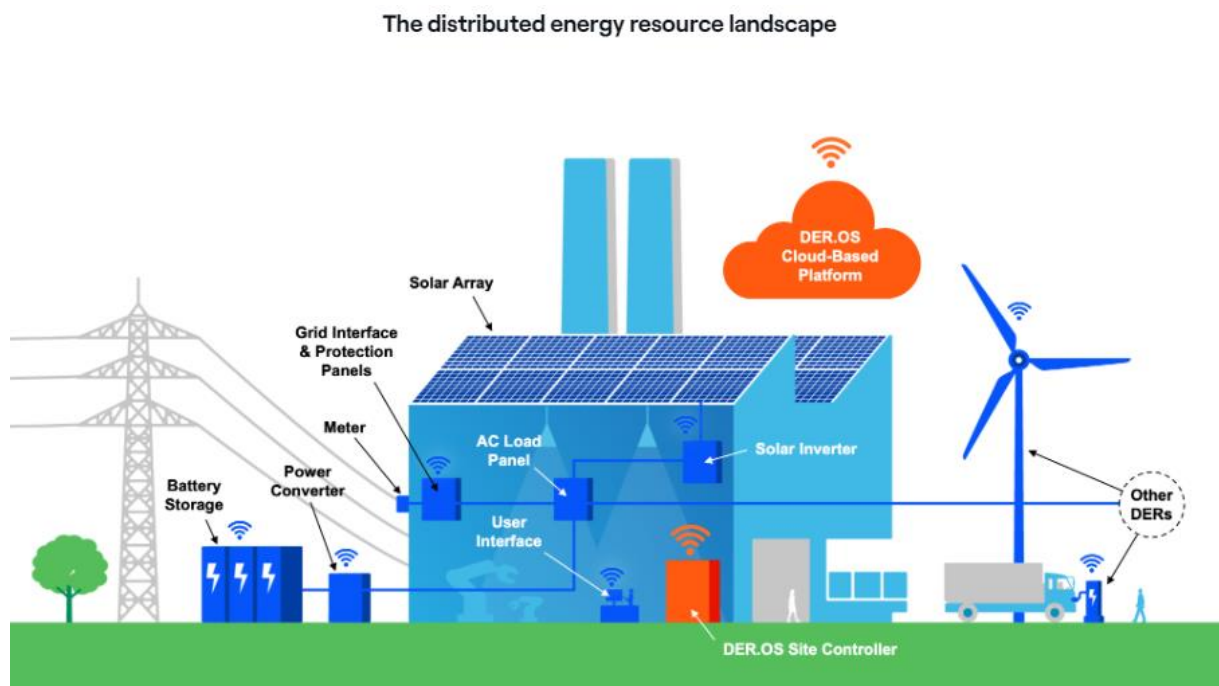
Στο πλαίσιο αυτών των εξελίξεων, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας απέκτησαν εξέχουσα θέση, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στην άμβλυση του διαλείποντος χαρακτήρα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Eurostat, 2021). Οι μπαταρίες και άλλες λύσεις αποθήκευσης έγιναν αναπόσπαστα στοιχεία, βοηθώντας στην αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από αιολικές και ηλιακές πηγές. Η εξέλιξη αυτή επέτρεψε τη βελτίωση της ευελιξίας του δικτύου, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των κυμαινόμενων εκροών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ευρύτερη υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι εξελίξεις αυτές άνοιξαν το δρόμο για καινοτόμες πρωτοβουλίες αυτοπαραγωγής και εμπορίας ενέργειας, καθώς οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις επιδίωξαν να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά ενέργειας. Η περίοδος από το 2019 έως το 2022, επομένως, σηματοδότησε έναν μετασχηματισμό στον ελληνικό τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος χαρακτηρίζεται από εδραίωση των ΑΠΕ, ενισχυμένη ανθεκτικότητα του δικτύου και αυξανόμενη έμφαση σε αποκεντρωμένες, βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές.

Ταυτόχρονα, έχουν καταβληθεί προσπάθειες για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση των διαλείπουσών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενισχύοντας τη συνολική σταθερότητα του δικτύου. Ο εκσυγχρονισμός αυτός ήταν καθοριστικής σημασίας για την υποδοχή του αυξανόμενου μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα, επιτρέποντας την αποτελεσματική μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων και οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας έχουν διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στην εξισορρόπηση της διαλείπουσας φύσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη και συνεχή παροχή ενέργειας. Η μετάβαση του ελληνικού τομέα ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου αντιπροσωπεύει μια δυναμική εξέλιξη προς μια πιο βιώσιμη και ανθεκτική ενεργειακή υποδομή, θέτοντας τις βάσεις για ένα μέλλον που θα χαρακτηρίζεται από καθαρότερη παραγωγή ενέργειας, μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Consilium.europa, 2023).

## Κεφάλαιο 4. Εφαρμογές Κατάντη του Μετρητή

Η πρακτική "Behind the Meter" (BTM) αντιπροσωπεύει μία σημαντική αλλαγή στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντας έμφαση στην αποκεντρωμένη, τοπικού χαρακτήρα παραγωγή ενέργειας. Στην προσέγγιση αυτή, οι ενεργειακοί πόροι, συχνά ανανεώσιμοι, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται στο σημείο κατανάλωσης, όπως οι κατοικίες ή οι εμπορικές ιδιοκτησίες. Η μέθοδος BTM επιτρέπει στους καταναλωτές ενέργειας να παράγουν την ηλεκτρική τους ενέργεια, μειώνοντας την εξάρτηση από τους παραδοσιακούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η τοπική παραγωγή ενέργειας όχι μόνο ενισχύει την ενεργειακή ανθεκτικότητα, αλλά προσφέρει επίσης τη δυνατότητα μείωσης κόστους, καθώς οι καταναλωτές μπορούν να αντισταθμίσουν άμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν. Οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, χρησιμοποιούνται συχνά στα συστήματα BTM για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής παραγωγής και την ανάκτησή της κατά τη διάρκεια της αιχμής ζήτησης ή όταν η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές είναι χαμηλή. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο προωθεί τη βιωσιμότητα μειώνοντας σημαντικά το κόστος λειτουργίας όπως έχουν δείξει επιστημονικές έρευνες (Jin, Huang and Shao, 2022), αλλά συμβάλλει επίσης σε μια πιο ευέλικτη και προσαρμοστική ενεργειακή υποδομή, ευθυγραμμιζόμενη με τις εξελισσόμενες ανάγκες των σύγχρονων καταναλωτών ενέργειας.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου BTM είναι η ικανότητά της να ενδυναμώνει τους καταναλωτές με μεγαλύτερο έλεγχο της χρήσης της ενέργειάς τους. Με την ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν, να βελτιστοποιούν και ακόμη και να αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια για μεταγενέστερη χρήση, πετυχαίνοντας έτσι και την ελαχιστοποίηση του κόστους αλλά και διατηρώντας σε καλύτερα επίπεδα την υγεία της μπαταρίας (Ηλιάνα Στεφανίδη, 2023).



Εικόνα 1: Απεικόνιση ενός συστήματος BTM. (enel,2023).

Βέβαια, εφόσον η μέθοδος αυτή, όπως έδειξαν σε έρευνα τους οι (Usman, ElShatshat and El-Hag, 2023), βρίσκει μεγάλη εφαρμογή, αυξάνονται και οι φωτοβολταϊκές μονάδες που εγκαθίστανται σε οικιακούς χώρους. Έτσι είναι σημαντικό να αναπτυχθεί ένα μη παρεμβατικό

πλαίσιο για την αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο της παραγωγής φωτοβολταϊκών ΒΤΜ από τα δεδομένα των έξυπνων μετρητών των τελικών χρηστών. Αυτό το πλαίσιο όχι μόνο ενισχύει την παρατηρησιμότητα των οικιακών εγκαταστάσεων, αλλά επιτρέπει επίσης στην ηλεκτρική εταιρεία κοινής ωφέλειας να εφαρμόσει διάφορες στρατηγικές λειτουργίας του δικτύου διανομής, όπως προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση, πρόβλεψη φορτίου και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας, μεταξύ άλλων.

## Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία



## 5.1 Δεδομένα Εισόδου

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη διπλωματική εργασία, περιγράφεται από το ακόλουθο Σχήμα 1.



Εικόνα 2: Λειτουργία και Παράμετροι Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, τα δεδομένα εισόδου αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα μέρη της προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, συνεπώς θα εξηγήσουμε ακριβώς την διαδικασία που ακολουθήσαμε για να λάβουμε τις τιμές που χρησιμοποιήσαμε.

- Αρχικά καθορίζουμε τα όρια της εγκατάστασης και το βήμα που θα ακολουθήσουμε ώστε να προχωρήσουμε στην προσομοίωση. Πιο συγκεκριμένα στην εγκατάσταση έχουμε ανεμογεννήτρια (Α/Γ) με ισχύ  $N_w = 0\text{kW}$  έως  $10\text{kW}$  με βήμα  $1\text{kW}$ , σε συνεργασία με φωτοβολταϊκά (Φ/Β) με ισχύ  $N_{pν} = 0\text{kW}$  έως  $10\text{kW}$  με βήμα  $1\text{kW}$ . Την παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες αυτές πηγές, την αξιοποιούμε στην κάλυψη των φορτίων της οικίας και στην εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο. Η περίσσεια ενέργειας που διαθέτουμε αποθηκεύεται σε συσσωρευτές, οι οποίοι ολοκληρώνουν την εγκατάσταση μας, με χωρητικότητα αποθήκευσης  $ESS = 0\text{kWh}$  έως  $30\text{kWh}$  και με βήμα  $3\text{kWh}$ . Οι συσσωρευτές μας δίνουν την δυνατότητα να καλύπτουμε τις ανάγκες μας, είτε αυτές είναι πώληση εγγυημένης ενέργειας στο δίκτυο, είτε κάλυψη οικιακών φορτίων, τις ώρες όπου δεν έχουμε την απαιτούμενη παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ.
- Στην συνέχεια λαμβάνουμε την ετήσια κατανάλωση ενός μέσου καταναλωτή το έτος 2019 μέσω της Ευρωπαϊκής πλατφόρμας **ENTSOE** και την μετατρέπουμε σε ανηγμένη ωριαία κατανάλωση ώστε να τρέξουμε την προσομοίωση μας. Τις καταναλώσεις καθόλη την διάρκεια της προσομοίωσης, η οποία διαρκεί για τα έτη 2019 έως 2022, τις διατηρούμε σταθερές έτσι ώστε να έχουμε μια πιο αντικειμενική οπτική της αλληλεπίδρασης της εγκατάστασης με το δίκτυο και τις τιμές που μεταβάλλονται συνεχώς.
- Μέσω της ίδιας πλατφόρμας (**ENTSOE**) λαμβάνουμε για κάθε ένα από τα 4 έτη, τα οποία μελετάμε, τις ακριβείς ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε (Euro/MWh). Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα, μέσω της προσομοίωσης που θα πραγματοποιήσουμε, να λάβουμε όλα τα οικονομικά αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν και έτσι να αξιολογήσουμε την υβριδική μας εγκατάσταση.

- Έπειτα, μέσω της πλατφόρμας Renewables.ninja λαμβάνουμε τις τιμές συντελεστή φορτίου αιολικής και φωτοβολταϊκής ισχύος για κάθε μια από τις περιοχές τις οποίες θα μελετήσουμε, που είναι η Αθήνα, το Ηράκλειο και η Θεσσαλονίκη. Οι τιμές που λαμβάνουμε διαφοροποιούνται για κάθε ξεχωριστό έτος.
- Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την λειτουργία της υβριδικής μας εγκατάστασης είναι το ποσοστό εγγυημένης που θα δίνουμε στο δίκτυο. Το ποσοστό εγγυημένης αποτελεί την ενέργεια που εμείς οφείλουμε να παρέχουμε στο δίκτυο ανάλογα με το πρόγραμμα που ακολουθούμε. Στην συγκεκριμένη μελέτη τα σενάρια μας είναι 3: 24ώρη πώληση εγγυημένης, 12ώρη πώληση εγγυημένης η οποία ξεκινάει στις 8:00 και τελειώνει στις 19:00 και τέλος 8ώρη πώληση εγγυημένης η οποία ξεκινάει στις 9:00 και τελειώνει στις 16:00. Τα ποσοστά εγγυημένης που θα εξετάσουμε στην συνέχεια της αξιολόγησης της εγκατάστασης θα είναι τα εξής, υπό την παραδοχή ίσης κατανομής ανά ώρα του προγράμματος πώλησης, με τη συνεισφορά του συστήματος αποθήκευσης: 100%, όπου υποσχόμαστε να δώσουμε όλο το ποσό της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο, 75%, 50%, 25% και τέλος 0%, όπου δεν οφείλουμε να δώσουμε καθόλου ενέργεια στο δίκτυο, καταναλώνοντας όλη την ενέργεια για τα φορτία της οικίας. Βέβαια υπάρχει και η περίπτωση που το ποσοστό εγγυημένης δεν καλύπτεται. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται κύρωση (penalty) που ανέρχεται στο 150% της ωριαίας τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας την στιγμή που αποτύχαμε να παράσχουμε το υποσχόμενο ποσοστό της εγγυημένης.
- Τέλος στα σταθερά δεδομένα μας υπάρχει και η επιβάρυνση του παρόχου, η οποία ανέρχεται στο 50% και η οποία καθορίζει το ποσό που εφαρμόζεται στα έξοδα της οικίας μας.

## 5.2 Αρχές Προσομοίωσης

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης της εγκατάστασης μας λαμβάνουμε και εντάσσουμε τα παραπάνω δεδομένα εισόδου σε περιβάλλον excel – visual basic. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση θα έχουμε ως αποτελέσματα τα ακόλουθα μεγέθη:

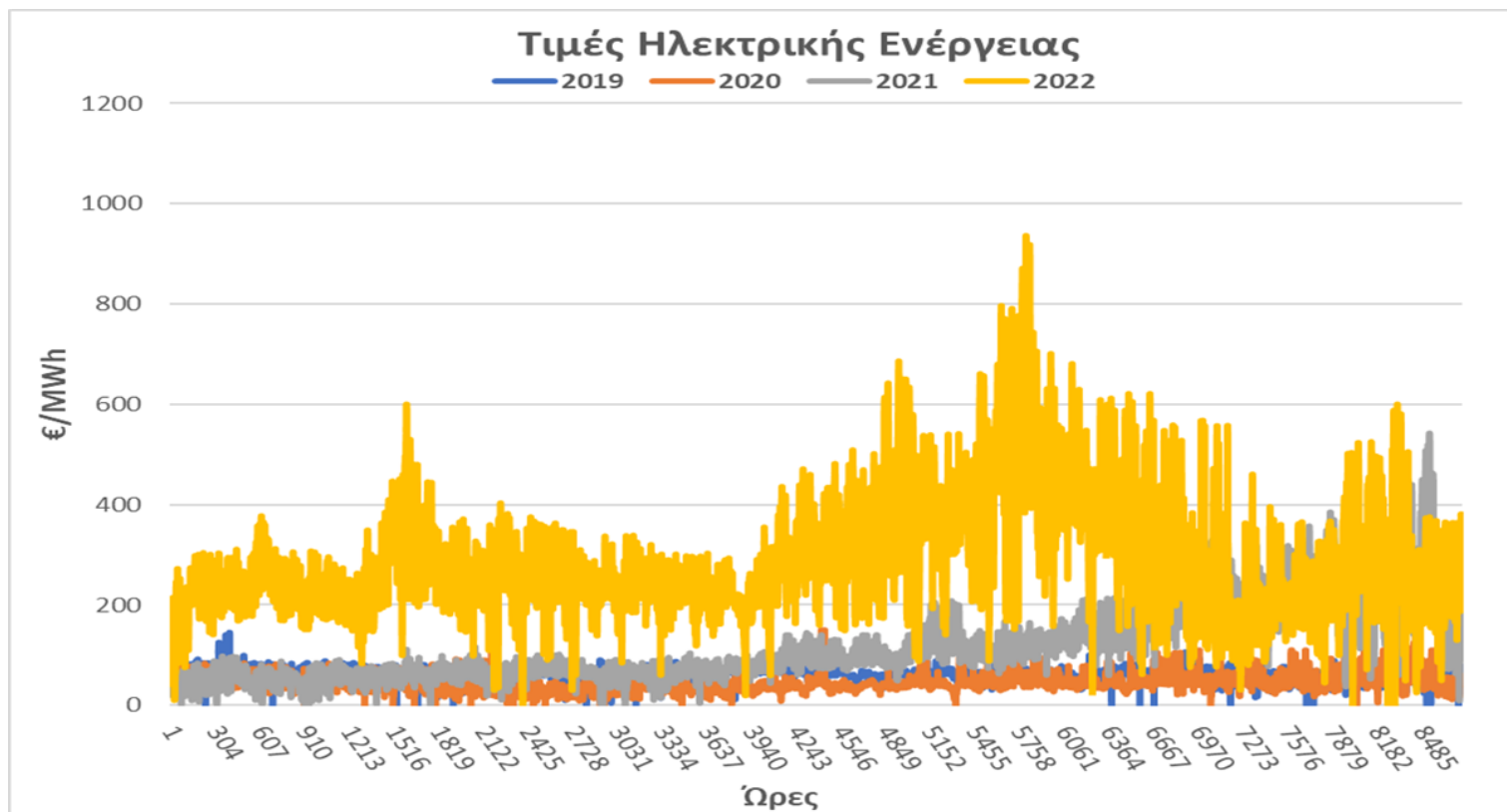
- Αρχικά με βάση τα δεδομένα μας παίρνουμε αποτέλεσμα για τις **ώρες απόρριψης**. Οι ώρες απόρριψης σε κάθε συνδυασμό ισχύος ΑΠΕ και χωρητικότητας των συσσωρευτών δίνονται ως οι ώρες κατά τις οποίες εμφανίζεται έλλειμμα ενέργειας - απόρριψη φορτίου, δηλαδή η παραγόμενη ενέργεια και η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στους συσσωρευτές, εάν αυτή υπάρχει, δεν αρκούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις μας σε ηλεκτρική ενέργεια, όπου αυτές είναι η εγγυημένη προς το δίκτυο και το φορτίο της ιδιοκατανάλωσης.
- Στην συνέχεια τα αποτελέσματα που μας δίνονται από την προσομοίωση, σε κάθε συνδυασμό ισχύος ΑΠΕ και χωρητικότητας των συσσωρευτών, είναι οι συντελεστές κάλυψης, οι οποίοι είναι 3 στο σύνολο. Ο συντελεστής κάλυψης της εγγυημένης προς το δίκτυο, ο συντελεστής κάλυψης της οικίας και ο συνολικός συντελεστής κάλυψης ο οποίος αποτελεί συνδυασμό των δύο.
  1. Ο συντελεστής κάλυψης της εγγυημένης δίνεται ως ένα κλάσμα όπου στον αριθμητή του βρίσκονται οι επιθυμητές εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας ως προς το δίκτυο, αφαιρούμενες από το έλλειμμα της εγγυημένης και στον παρονομαστή και πάλι οι επιθυμητές εξαγωγές.
  2. Παρόμοια λογική ακολουθεί και ο συντελεστής κάλυψης της οικίας στον οποίο αφαιρούνται από την ετήσια κατανάλωση της οικίας τα ελλείμματα της οικίας και το αποτέλεσμα αυτό διαιρείται με την ετήσια κατανάλωση.

3. Τέλος ο συνολικός συντελεστής κάλυψης προκύπτει παρόμοια λαμβάνοντας απλά και τους δύο συντελεστές και ως έλλειμμα τα συνολικά ελλείμματα.
- Ένα ακόμα μέγεθος που μας δίνεται αποτελεί το πλεόνασμα το οποίο δηλώνει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου και απορρίφθηκε ως περισσευούμενη. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι έχουν καλυφθεί και η ανάγκες της ιδιοκατανάλωσης και η εγγυημένη προς το δίκτυο, αλλά και οι συσσωρευτές έχουν φτάσει την ανώτατη στάθμη αποθηκευμένης ενέργειας. Έτσι λοιπόν η ενέργεια αυτή μένει ανεκμετάλλευτη.
  - Έπειτα, λαμβάνουμε υπόψη τα έσοδα τα οποία είναι ένα σημαντικό μέγεθος της υβριδικής εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας, καθώς έχουμε διαλέξει να αλληλοεπιδρούμε με το δίκτυο, εφαρμόζοντας στρατηγικές εμπορίας. Τα έσοδα μας δίνονται ως το ποσό πώλησης προς το δίκτυο μείον τα ελλείμματα της εγγυημένης και όλο αυτό πολλαπλασιάζεται με την ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας που απαντάται τη δεδομένη ώρα.
  - Στα έξοδα τώρα, αρχικά έχουμε τα έξοδα της οικίας τα οποία τα διαχωρίζουμε στα έξοδα οικίας 1 και έξοδα οικίας 2. Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται καθώς στην οικία 1 λαμβάνουμε υπόψη το φορτίο της οικίας και το πολλαπλασιάζουμε με την ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας προσθέτοντας και το 50% της επιβάρυνσης του παρόχου, ενώ στα έξοδα της οικίας 2, ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση τα ελλείμματα ενέργειας της οικίας (απαιτήσεις εισαγωγών ενέργειας από το δίκτυο) αντί του συνολικού φορτίου.
  - Βέβαια σαν έξοδο συνυπολογίζεται και το penalty της εγγυημένης στις περιπτώσεις τις οποίες αδυνατούμε να αποδώσουμε την ενέργεια την οποία έχουμε εγγυηθεί. Το penalty αυτό δίνεται ως το έλλειμμα της εγγυημένης ενέργειας, πολλαπλασιαζόμενο με την εκάστοτε ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας και προσαυξανόμενο κατά 150%.
  - Τα συνολικά έξοδα, που λαμβάνονται επίσης υπόψη, είναι το άθροισμα των εξόδων της οικίας 2, δηλαδή των ελλειμμάτων, και του penalty της εγγυημένης.
  - Στη συνέχεια έχουμε κάποια σταθερά κόστη όπως είναι το αρχικό κόστος επένδυσης και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης. Τα δύο αυτά κόστη διαφοροποιούνται ανάλογα με τις τιμές εγκατεστημένης ισχύος των ΑΠΕ αλλά και με την χωρητικότητα των συσσωρευτών. Το αρχικό κόστος καθορίζεται από τις εξής τιμές: Για την Α/Γ έχουμε 1500€/kW, για τα Φ/Β έχουμε 750€/kW και για τις μπαταρίες έχουμε 700€/kWh. Έτσι ανάλογα τις τιμές ισχύος και αποθηκευτικής ικανότητας προκύπτει το ποσό του αρχικού μας κόστους, το οποίο προσαυξάνουμε κατά 10% για να συνυπολογίσουμε επιπρόσθετα, περιφερειακά συστήματα και κόστη εγκατάστασης (balance of system). Για τη συντήρηση θεωρούμε ένα 3% επί του συνολικού αρχικού κόστους που υπολογίσαμε σε ετήσια βάση.
  - Τέλος μας δίνεται το αποτέλεσμα του σταθμισμένου κόστους παραγωγής ενέργειας (LCOE) το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα οικονομικά μεγέθη που θα αξιολογήσουμε. Το LCOE (€/MWh) αποτελεί μακροχρόνιο δείκτη αξιολόγησης της επένδυσης (εν προκειμένω 20ετία) επιτρέποντας ευθεία σύγκριση με εναλλακτικές μορφές ηλεκτρικής τροφοδοσίας.

## Κεφάλαιο 6. Μελέτη Περίπτωσης

## 6.1 Τιμές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αρχικά για την ακριβή αξιολόγηση της εγκατάστασης μας, θα χρειαστεί να καταγράψουμε όλες τις ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τα 4 έτη τα οποία συμπεριλαμβάνονται στην προσομοίωση μας. Οι συγκεκριμένες τιμές αποτυπώνονται διαγραμματικά στο παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 2: Ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τα 4 έτη μελέτης.

Σε συνέχεια του συγκεκριμένου διαγράμματος, το οποίο δίνει κάθε ώρα την αναλυτική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο χονδρεμπορικής αγοράς, θα καταγράψουμε για κάθε έτος την μέση ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας και την μέγιστη ωριαία τιμή αυτής.

	2019	2020	2021	2022
<b>Μέση ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh)</b>	63,82	45,09	116,44	279,92
<b>Μέγιστη ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh)</b>	145	150,05	542,5	936,33

Πίνακας 1: Μέσες και μέγιστες ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τα 4 έτη μελέτης.

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, αλλά και στον παραπάνω πίνακα, οι τιμές της ενέργειας από έτος σε έτος διαφοροποιούνται δραματικά. Αυτό το γεγονός οφείλεται στο ότι γεγονότα της επικαιρότητας επηρεάζουν την διακύμανση των τιμών. Όπως παρατηρείται, το έτος 2020 η μέση ωριαία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται σε σχέση με αυτή του 2019. Αυτό οφείλεται στο ότι εκείνη τη χρονιά εκδηλώθηκε η πανδημία COVID-19 με αποτέλεσμα τη μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης καθώς και της κατανάλωσης καυσίμων όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ως επακόλουθο, επηρεάστηκαν και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας επίσης υπόψη πως το φυσικό αέριο διατηρεί σημαντικό μερίδιο συμμετοχής στο

τομέα ηλεκτροπαραγωγής της χώρας μας. Τα δύο επόμενα έτη, όπως είναι φυσιολογικό, παρουσιάζεται αύξηση στις τιμές, με αποκορύφωμα την χρονιά του 2022 όπου και παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στις τιμές του φυσικού αερίου, καθώς ξέσπασε ο πόλεμος μεταξύ Ουκρανίας και Ρωσίας, με αποτέλεσμα να αυξηθούν σημαντικά και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην εγχώρια αγορά.

Ωστόσο, ένας ακόμη πυλώνας του προβλήματος, σημειώνεται ότι απορρέει από τη γενικότερη δυσλειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, που αδυνατεί να περιορίσει τις τιμές, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο στρέβλωση στην αγορά, καθώς με τον τρόπο που εφαρμόζεται το «Target Model» (EnExGroup, 2020) στην Ελλάδα, το έλλειμμα της ενεργειακής παραγωγής καλύπτεται με την υψηλότερη προσφορά, εφόσον δεν έχει καθοριστεί ούτε ελάχιστη ποσότητα, αλλά ούτε υψηλότερη τιμή προσφοράς (Ηλιάνα Στεφανίδη, 2023).

Το άθροισμα των προαναφερθέντων παραγόντων, σε συνδυασμό με τις ταυτόχρονες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη συνακόλουθη σταδιακή κατάργηση των μη βιώσιμων πρακτικών στην ηλεκτροπαραγωγή από ορυκτά καύσιμα, ιδίως στις λιγνιτικές μονάδες, υπογραμμίζει την οικονομική ευαισθησία της Ευρώπης και συνεπώς και της Ελληνικής Επικράτειας. Η ευπάθεια αυτή προκύπτει από την επιτακτική στροφή προς την ανεξάρτηση από τον άνθρακα και τη σχολαστική τήρηση των στόχων μείωσης των εκπομπών.

## **6.2 Τελικός Καταναλωτής**

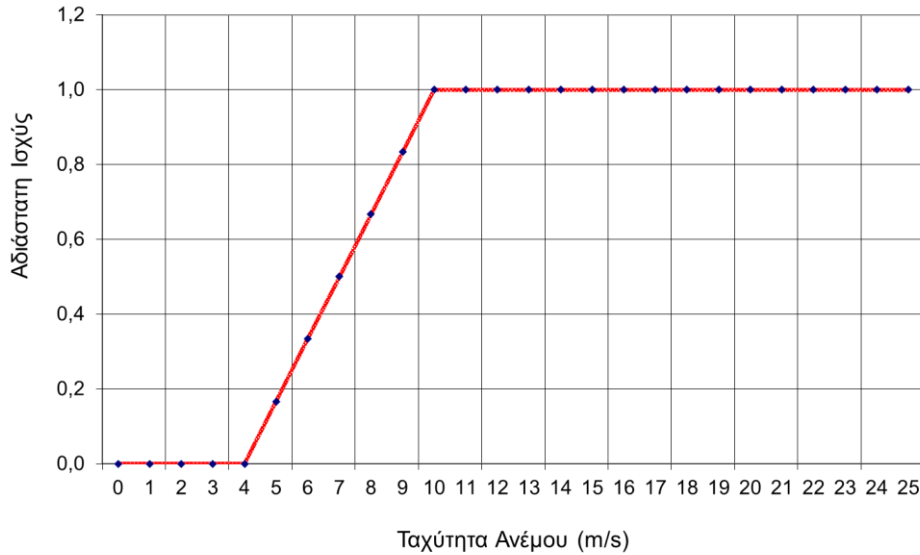
Οι καταναλώσεις μας λαμβάνονται ως ανηγμένες τιμές, καθώς θεωρούμε τις συνολικές τιμές του φορτίου του δικτύου και τις ανάγουμε με βάση την μέγιστη τιμή που παρουσιάζει το δίκτυο, μελετώντας ουσιαστικά ένα μέσο καταναλωτή. Αξιοποιώντας το ετήσιο ανηγμένο προφίλ, εν συνεχεία θεωρούμε ετήσια κατανάλωση της τάξης των 5MWh, μια τιμή η οποία αντιπροσωπεύει απόλυτα την μέση κατανάλωση μιας οικίας στη χώρα μας. Τέλος η μέση ωριαία κατανάλωση ανέρχεται στα 580Watt. Οι συγκεκριμένες καταναλώσεις, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν σταθερό γνώμονα της προσομοίωσής μας καθώς διατηρούμε το ίδιο προφίλ κατά την διάρκεια όλων των ετών της μελέτης αλλά και για όλες τις περιοχές τις οποίες εξετάζουμε. Αυτό προσδίδει στην μελέτη μας μια καλύτερη προοπτική σύγκρισης μεταξύ ετών και πόλεων και για αυτό προτιμάτε να μην μεταβάλλονται οι καταναλώσεις.

## **6.3 Ανεμολογικά δεδομένα και Χαρακτηριστικά Α/Γ**

Η ενσωμάτωση ανεμογεννητριών στο υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που σχεδιάστηκε για την εμπορία ενέργειας στην Ελληνική Επικράτεια αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου για τη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες, με την ικανότητά τους να μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική, συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η τοποθέτηση αυτών των ανεμογεννητριών σε στρατηγικές θέσεις αξιοποιεί τις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες σε περιοχές όπως η Αθήνα, το Ηράκλειο και η Θεσσαλονίκη, συνεισφέροντας στην παραγωγή ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του έτους. Η αιολική ενέργεια, η οποία χαρακτηρίζεται από τη διαλείπουσα φύση της, συμπληρώνει την ηλιακή ενέργεια στο υβριδικό σύστημα, δημιουργώντας ένα πιο ισορροπημένο και αξιόπιστο ενεργειακό προφίλ. Επιπλέον, η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ταχύτητας ανέμου όχι μόνο καλύπτει τις τοπικές ενεργειακές ανάγκες αλλά δίνει επίσης τη δυνατότητα για εμπορία ενέργειας, ενισχύοντας την οικονομική βιωσιμότητα ολόκληρου του συστήματος.

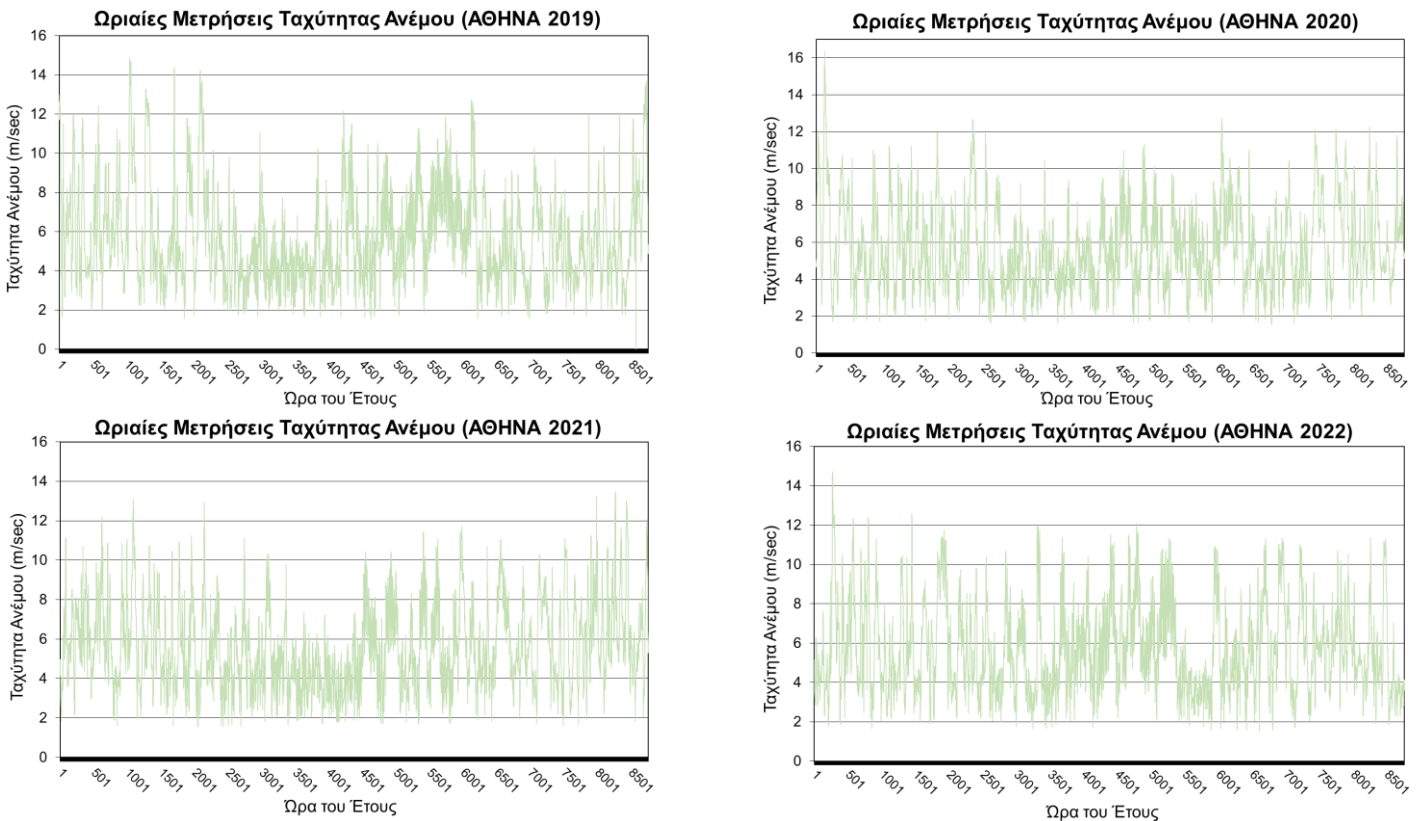
Στην συγκεκριμένη μελέτη τα ανεμολογικά δεδομένα χωρίζονται για κάθε πόλη σε 4 διαφορετικά διαγράμματα, που το καθένα από αυτά αποτυπώνει την εκάστοτε χρονιά. Οι μετρήσεις των ωριαίων τιμών των ταχυτήτων ανέμου προέκυψαν από το Renewables.ninja στο οποίο χρησιμοποιήσαμε δεδομένα 1kW ισχύ ανεμογεννήτριας και ύψος πλήμνης 10m. Η Α/Γ που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει το παρακάτω διάγραμμα λειτουργίας.

Τυπική Καμπύλη Αδιάστασης Ισχύος Α/Γ

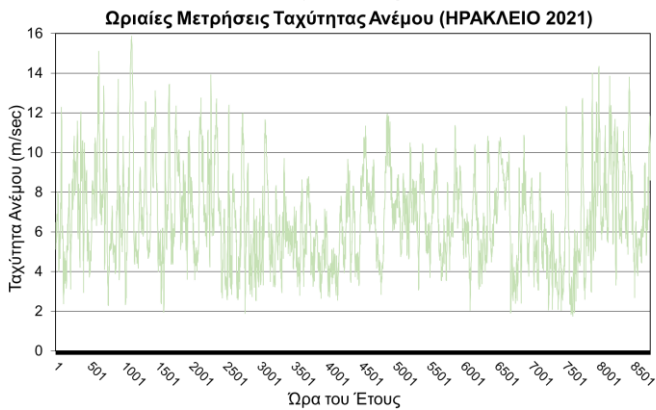
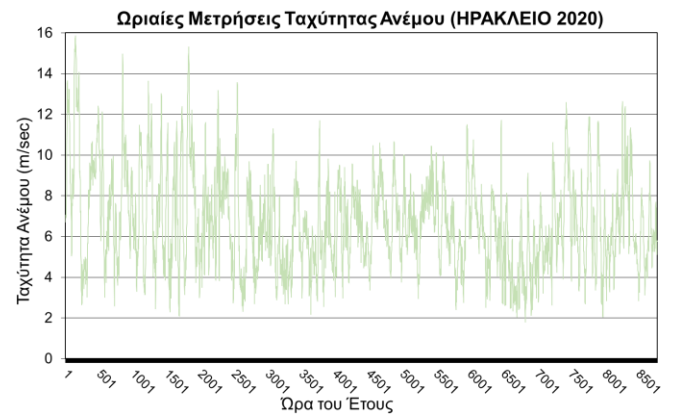


Διάγραμμα 3: Καμπύλη λειτουργίας Α/Γ.

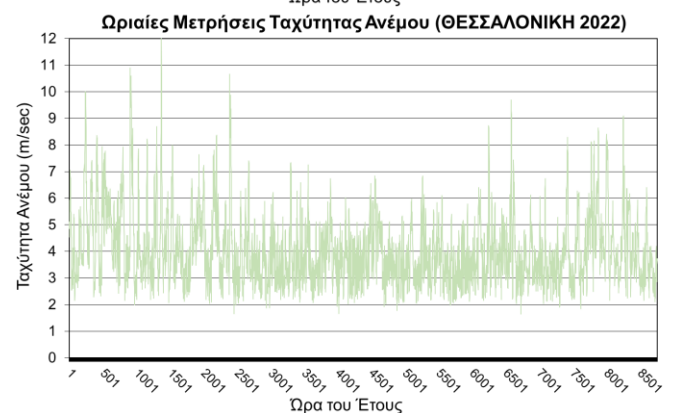
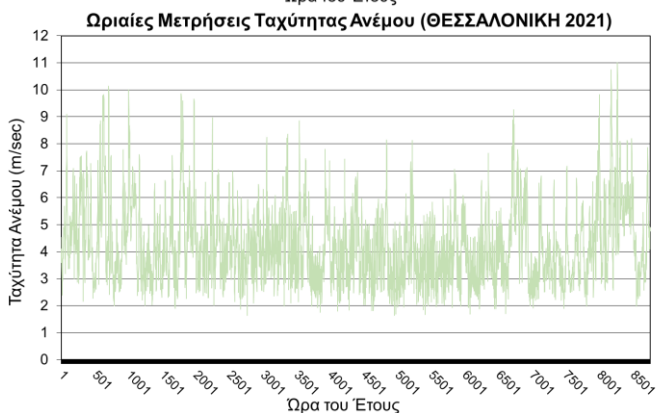
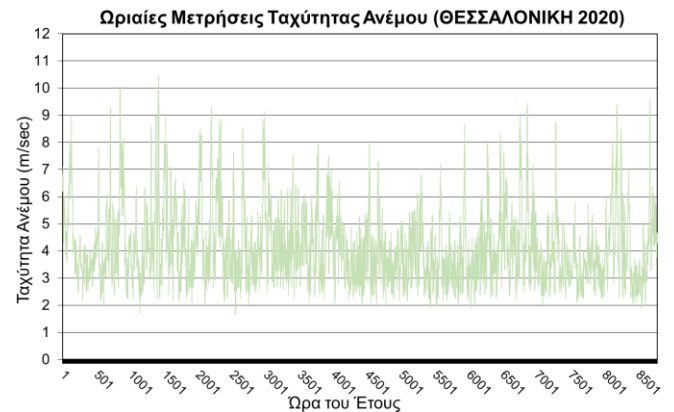
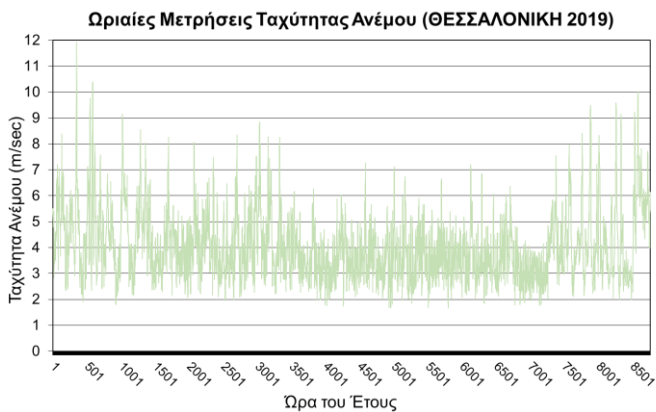
Σε συνέχεια αυτών, παρακάτω αποτυπώνονται διαγραμματικά οι ωριαίες μετρήσεις των ταχυτήτων ανέμου για κάθε πόλη και κάθε έτος.



Διάγραμμα 4: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Αθήνα.



Διάγραμμα 5: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Ηράκλειο.



Διάγραμμα 6: Ωριαίες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου για Θεσσαλονίκη.



Όπως παρατηρούμε οι ωριαίες τιμές ταχυτήτων του ανέμου και για τις τρεις πόλεις που μελετάμε δεν είναι πολύ υψηλές, γεγονός το οποίο επηρεάζει την παραγωγή ενέργειας του υβριδικού μας συστήματος. Πιο συγκεκριμένα οι μέσες και οι μέγιστες τιμές των ταχυτήτων φαίνονται παρακάτω:

### ΑΘΗΝΑ

Μέσες Τιμές		Μέγιστες Τιμές	
2019	5,7	2019	14,9
2020	5,73	2020	16,34
2021	5,6	2021	13,5
2022	5,7	2022	14,7

Πίνακας 2: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Αθήνα.

### ΗΡΑΚΛΕΙΟ

Μέσες Τιμές		Μέγιστες Τιμές	
2019	6,5	2019	17,3
2020	6,7	2020	15,9
2021	6,6	2021	15,5
2022	6,5	2022	15,3

Πίνακας 3: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Ηράκλειο.

### ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Μέσες Τιμές		Μέγιστες Τιμές	
2019	4	2019	11,9
2020	4,1	2020	10,4
2021	4,2	2021	11
2022	4	2022	12,1

Πίνακας 4: Μέσες & μέγιστες τιμές ταχυτήτων ανέμου για Θεσσαλονίκη.

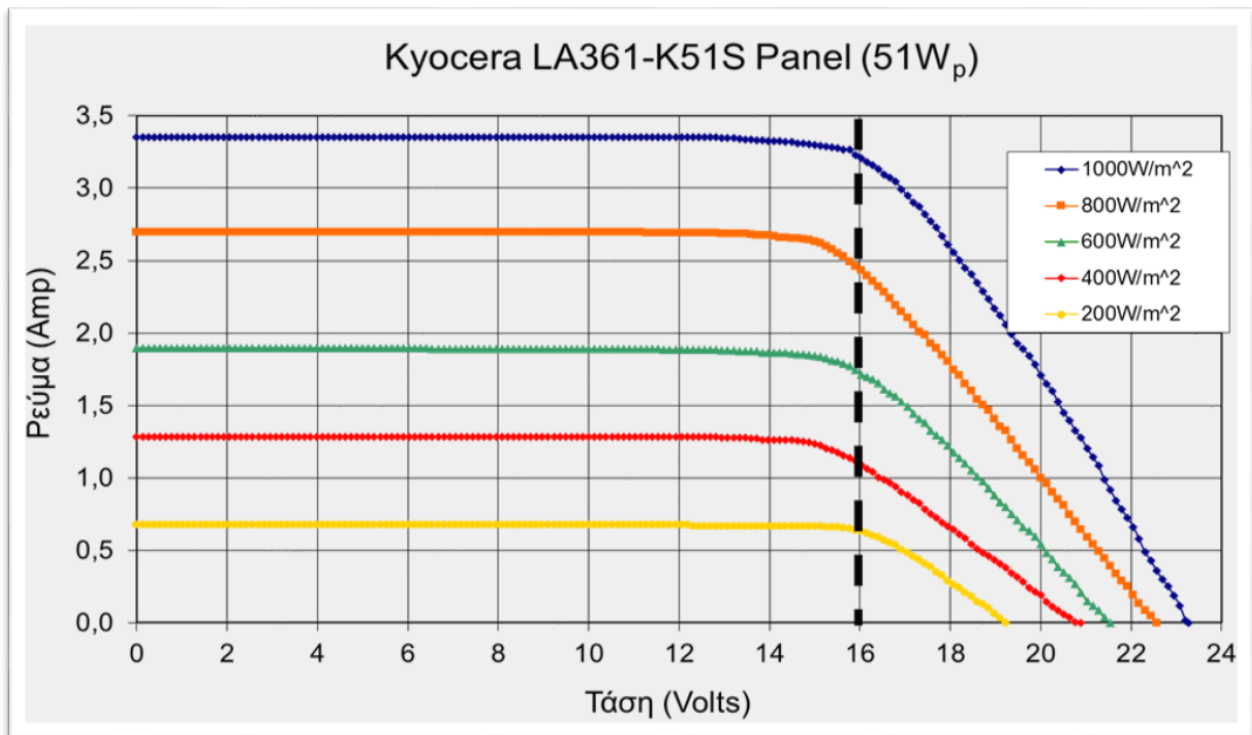
## 6.4 Ηλιακά δεδομένα και χαρακτηριστικά Φ/Β

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών πάνελ στο υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που σχεδιάστηκε για την εμπορία ενέργειας στην Ελληνική Επικράτεια αποτελεί επίσης βασική συνιστώσα. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, κοινώς γνωστά ως ηλιακά πάνελ, αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζοντας πολλά πλεονεκτήματα. Πρώτον, τα φωτοβολταϊκά πάνελ προσφέρουν μια καθαρή και άφθονη πηγή ενέργειας, αξιοποιώντας την ανεξάντλητη δύναμη του ήλιου. Η επεκτασιμότητά τους και ο αρθρωτός χαρακτήρας τους τα καθιστούν προσαρμόσιμα σε διαφορετικές τοποθεσίες, επιτρέποντας προσαρμοσμένους σχεδιασμούς συστημάτων με βάση το τοπικό ηλιακό δυναμικό. Επιπλέον, η εγγενής συμπληρωματικότητα των ηλιακών και αιολικών πηγών στο υβριδικό σύστημα εξασφαλίζει ένα πιο συνεπές προφίλ παραγωγής ενέργειας, μετριάζοντας τη διαλείπουσα τάση που συνδέεται με τις μεμονωμένες ανανεώσιμες πηγές. Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση ενισχύει την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά πάνελ ένα κρίσιμο και ευέλικτο στοιχείο στην επιδίωξη μιας ανθεκτικής, αυτόνομης και οικονομικά ανταγωνιστικής ενεργειακής επένδυσης στην ελληνική επικράτεια.

Στην συγκεκριμένη μελέτη τα ηλιακά δεδομένα χωρίζονται για κάθε πόλη σε τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα, που το καθένα από αυτά αποτυπώνει την εκάστοτε χρονιά. Οι μετρήσεις των ωριαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και οι αντίστοιχες εκτιμήσεις του ωριαίου συντελεστή φορτίου προέκυψαν από το Renewables.ninja για νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 30°.

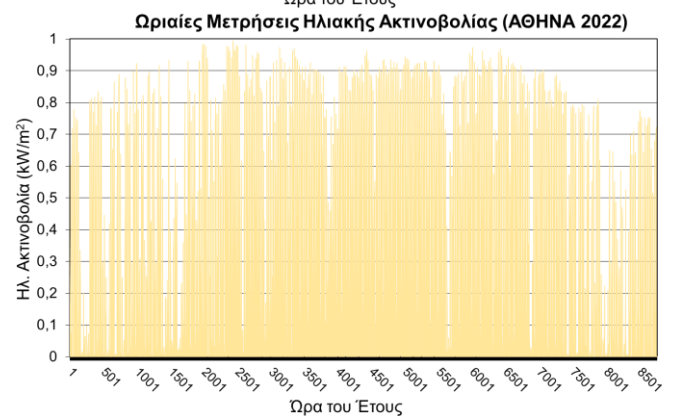
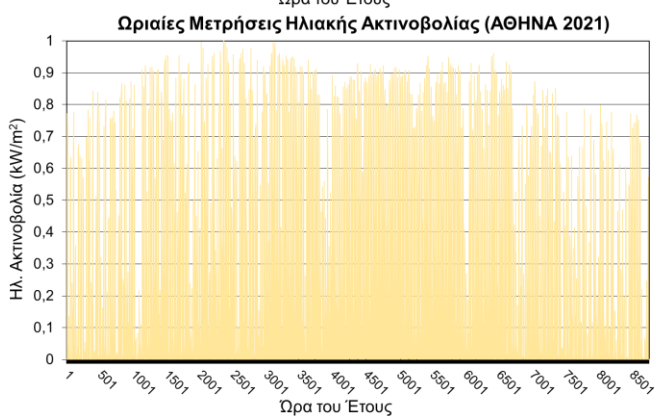
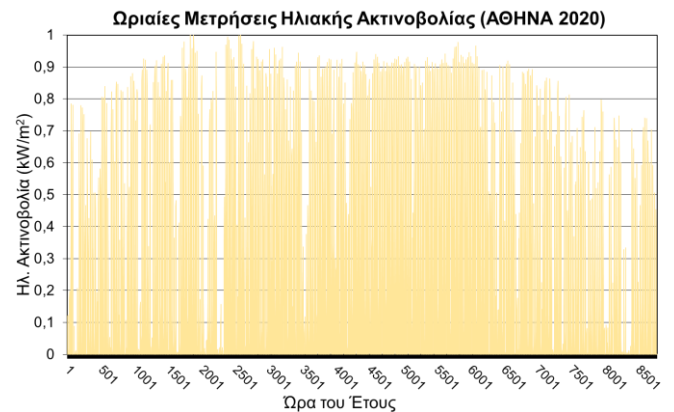
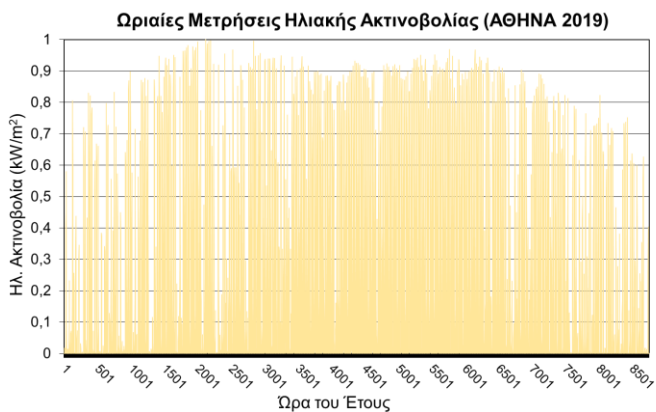
<b>G</b>	<b>I</b>	<b>V</b>	<b>Nex</b>	<b>Nex/Npv</b>
0	0	16	0	0%
200	0,65	16	10,4	20%
400	1,1	16	17,6	35%
600	1,8	16	28,8	56%
800	2,5	16	40	78%
1000	3,19	16	51	100%

Πίνακας 5: Πίνακας λειτουργίας Φ/Β ανα τάξη διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας

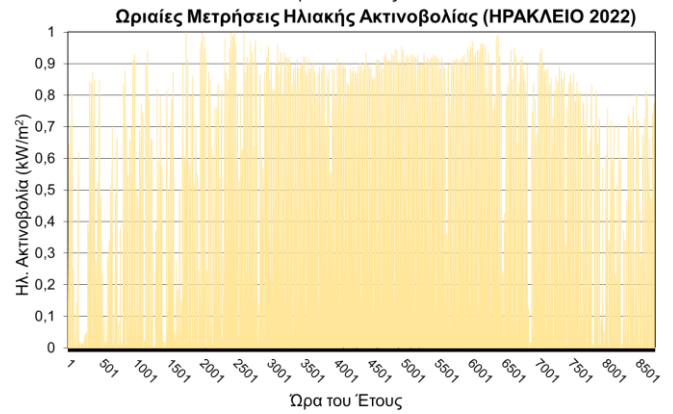
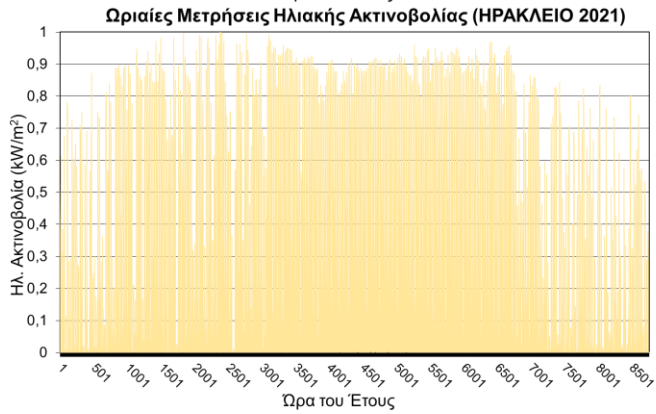
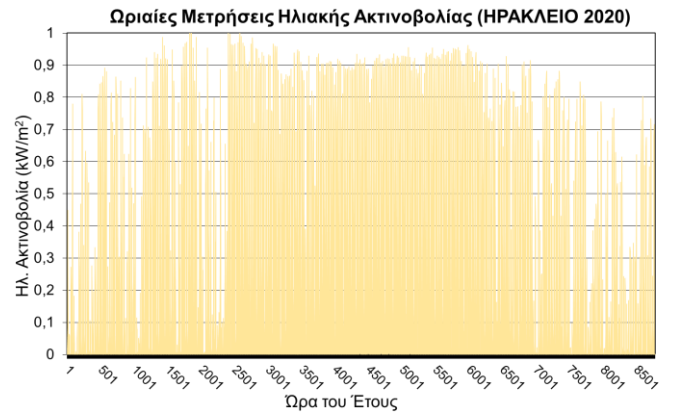
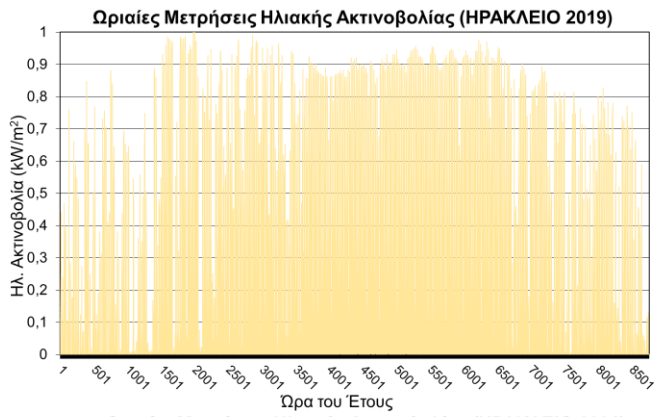


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα λειτουργίας Φ/Β ανά τάξη διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας.

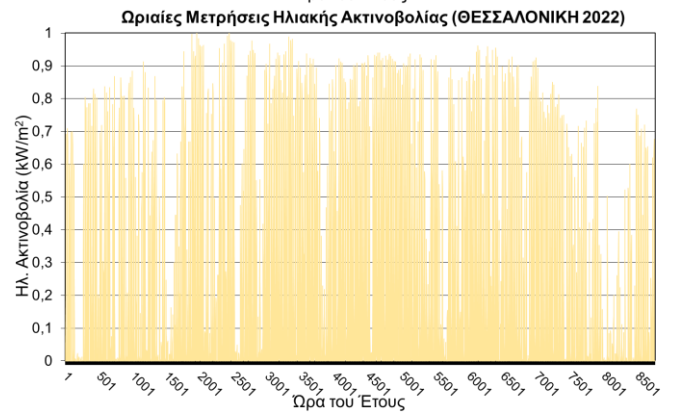
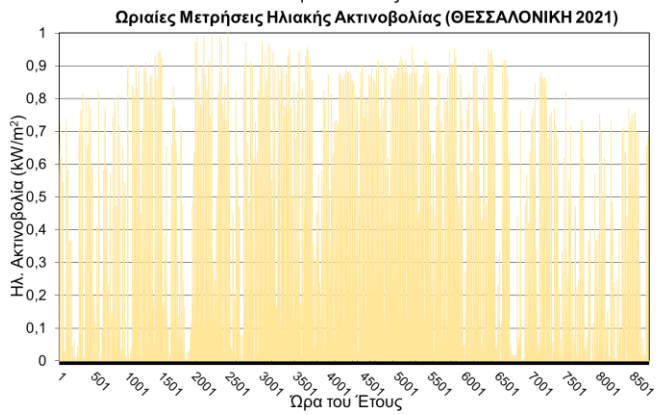
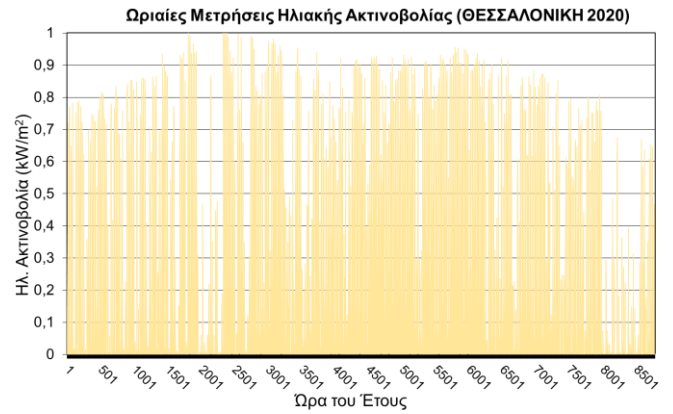
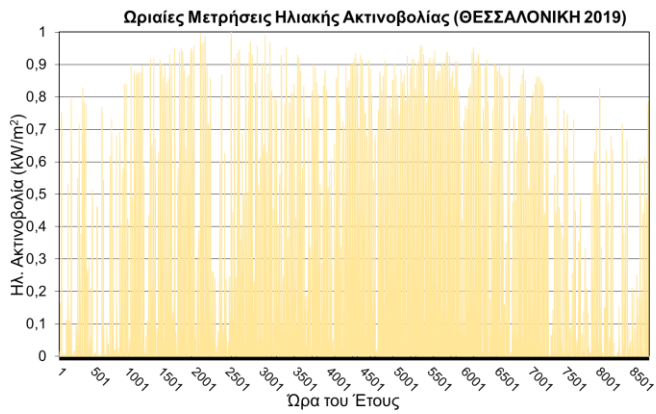
Σε συνέχεια αυτών, παρακάτω αποτυπώνονται διαγραμματικά οι ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε περιοχή και έτος.



Διάγραμμα 8: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Αθήνα.



Διάγραμμα 9: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Ηράκλειο.



Διάγραμμα 10: Ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας για Θεσσαλονίκη.

## 6.5 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών

Σε υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που αποσκοπούν και στην εμπορία ενέργειας, η ενσωμάτωση λύσεων αποθήκευσης ενέργειας, ιδίως μπαταριών, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της συνολικής λειτουργικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος. Οι μπαταρίες χρησιμεύουν ως κρίσιμο στοιχείο για την εξισορρόπηση της διαλείψεως και της μεταβλητότητας που είναι εγγενείς στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια.

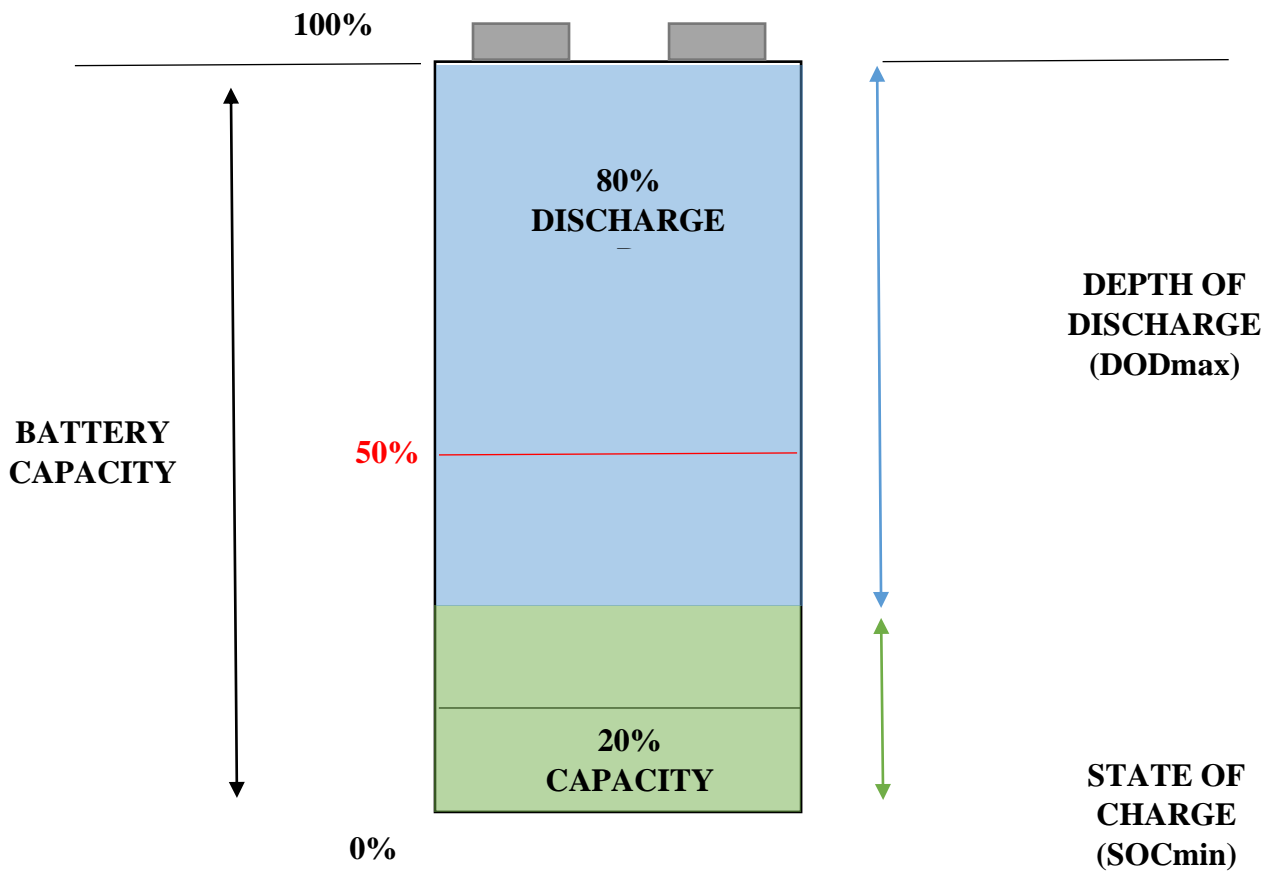
Η χρησιμότητά τους σε αυτό το πλαίσιο εκτείνεται σε διάφορες βασικές πτυχές:

- **Αντιμετώπιση της διαλείπουσας παραγωγής:** Οι μπαταρίες λειτουργούν ως ρυθμιστικό στοιχείο, αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργειας που παράγεται σε περιόδους υψηλής παραγωγής των ΑΠΕ. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί σε περιόδους χαμηλής παραγωγής, μετριάζοντας αποτελεσματικά τη διαλείπουσα τάση που συνδέεται με τις ανανεώσιμες πηγές. Αυτό εξασφαλίζει συνεπή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας, η οποία είναι απαραίτητη για την κάλυψη των τοπικών ενεργειακών αναγκών και τη διευκόλυνση της εμπορίας ενέργειας.
- **Βελτιστοποίηση της εμπορίας ενέργειας:** Η ικανότητα των μπαταριών να αποθηκεύουν πλεονάζουσα ενέργεια επιτρέπει την εφαρμογή στρατηγικών εμπορίας ενέργειας με το δίκτυο. Κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής της παραγωγής, η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο, με εγγυημένο τρόπο συμβάλλοντας στη συνολική παροχή ενέργειας και δημιουργώντας ενδεχομένως έσοδα. Αντίθετα, όταν η τοπική παραγωγή ενέργειας είναι ανεπαρκής, οι μπαταρίες μπορούν να αντλήσουν από το δίκτυο για να καλύψουν τις ανάγκες ή να επαναφορτιστούν σε ώρες εκτός αιχμής, όταν το κόστος ενέργειας είναι χαμηλότερο, βελτιστοποιώντας τα οικονομικά οφέλη της εμπορίας ενέργειας. Βέβαια στην περίπτωση μας αυτό δεν συμβαίνει καθώς ως εμπορία θεωρούμε μόνο την δική μας πώληση προς το δίκτυο και οι μπαταρίες μας φορτίζονται μόνο από την παραγωγή των ΑΠΕ.
- **Ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου:** Οι μπαταρίες συμβάλλουν στη σταθερότητα του δικτύου παρέχοντας ταχεία απόκριση στις διακυμάνσεις της ζήτησης ή της προσφοράς ενέργειας. Μπορούν να εκφορτίζουν ενέργεια στο δίκτυο υπό καθεστώς άμεσης απόκρισης, συμβάλλοντας στην εξισορρόπηση ξαφνικών μεταβολών στην παραγωγή ή την κατανάλωση. Αυτή η επικουρική υπηρεσία ενισχύει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου, καθιστώντας την ενσωμάτωση υβριδικών συστημάτων πολύτιμο πλεονέκτημα για την ευρύτερη ενεργειακή υποδομή.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση το δικό μας υβριδικό σύστημα χρησιμοποιεί συσσωρευτή ο οποίος διαθέτει τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

- $\eta_{in}$ : Βαθμός απόδοσης κλάδου φόρτισης  $\Leftrightarrow \eta_{in}=85\%$
- $\eta_{out}$ : Βαθμός απόδοσης κλάδου εκφόρτισης  $\Leftrightarrow \eta_{out}=85\%$
- **ESC**: Ενεργειακή χωρητικότητα – αποθηκευτική ικανότητα  $\Leftrightarrow \mathbf{ESC=30kWh}$
- **SoC<sub>start</sub>**: Στάθμη φόρτισης  $\Leftrightarrow \mathbf{SoC=50\%}$
- **DoD<sub>max</sub>**: Βάθος εκφόρτισης  $\Leftrightarrow \mathbf{DoD=80\%}$
- **SoC<sub>min</sub> = (1- DoD<sub>max</sub>)**: Τεχνικό ελάχιστο
- **SoC<sub>max</sub> = ESC**: Τεχνικό μέγιστο

Παρακάτω στο σχήμα φαίνεται μια τυπική διάταξη συσσωρευτή με τα βασικά χαρακτηριστικά του προβλήματος μας, αποτυπώνοντας έτσι την ακριβή σχηματική απεικόνιση που θα έχει μια τέτοια μπαταρία.



Εικόνα 3: Βασικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.

Η ακριβής λειτουργία του συσσωρευτή που θα χρησιμοποιήσουμε εμείς ακολουθεί την κλασσική λειτουργία η οποία είναι η φόρτιση μέχρι το τεχνικό μέγιστο ( $SoC_{max}$ ) και η εκφόρτιση μέχρι το τεχνικό ελάχιστο ( $SoC_{min}$ ). Το μέγιστο βάθος εκφόρτισης το οποίο είναι το όριο που μπορεί να εκφορτιστούν οι συσσωρευτές μας είναι το 80% ( $DoD_{max}$ ) και η αρχική στάθμη στην οποία βρίσκεται ο συσσωρευτής κατά την έναρξη της διαδικασίας θεωρούμε ότι είναι το 50% της αποθηκευτικής του ικανότητας ( $SoC_{start}$ ).

Στη συνέχεια η λειτουργία που ακολουθείται, κατά την λειτουργία της προσομοίωσης, από τους συσσωρευτές είναι η εξής:

Εάν η παραγωγή ενέργειας των ανανεώσιμων πηγών που διαθέτουμε είναι μεγαλύτερη από τις ανάγκες που έχουμε, οι οποίες είναι η κάλυψη της εγγυημένης και της ιδιοκατανάλωσης, τότε χρησιμοποιούμε την παραγόμενη αυτή ενέργεια στην απευθείας κάλυψη των αναγκών αυτών. Το πλεόνασμα που προκύπτει αποθηκεύεται στον συσσωρευτή μέχρι το σημείο της μέγιστης αποθηκευτικής ικανότητας, και το υπόλοιπο, εάν η παραγωγή ξεπερνάει τα ποσά αυτά, απορρίπτεται, χωρίς να το εκμεταλλευτούμε.

Εάν η παραγωγή ενέργειας είναι μικρότερη από τις ανάγκες που έχουμε τότε εμφανίζεται έλλειμμα. Όταν συμβαίνει αυτό οι συσσωρευτές προσδίδουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια, μέχρι η στάθμη τους να φτάσει το τεχνικό ελάχιστο, για να καλύψουν τις ανάγκες μας. Εάν η αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη τότε δίνουμε προτεραιότητα στην εγγυημένη και έπειτα στις ιδιοκαταναλώσεις. Τέλος η ενέργεια που υπολείπεται αντλείται από το δίκτυο με την συγκεκριμένη ωραία τιμή προσαυξημένη κατά 50%.

## Κεφάλαιο 7. Αποτελέσματα Εφαρμογής



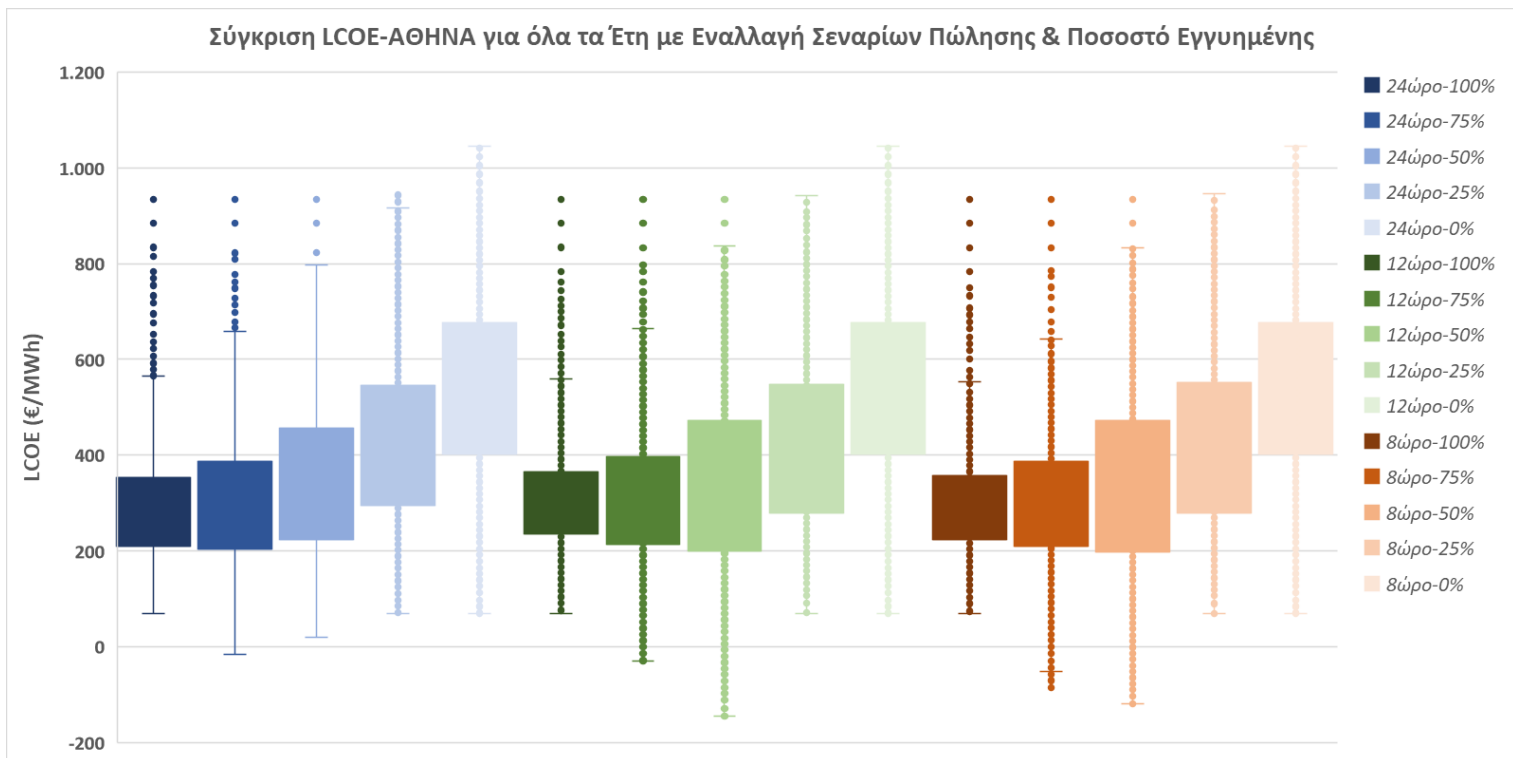
## 7.1 Εισαγωγικά

Στα αποτελέσματα που θα παρουσιάσουμε παρακάτω και τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση μας, θα αναλύσουμε το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας (LCOE), τον συνολικό συντελεστή κάλυψης (Σ.Κ), ο οποίος περιλαμβάνει και τον συντελεστή κάλυψης της εγγυημένης αλλά και της οικίας και τέλος το penalty της εγγυημένης. Οι αναλύσεις αυτές θα γίνουν για κάθε περιοχή ξεχωριστά και το κάθε μέγεθος θα αναλύεται και με βάση την κάθε χρονιά, με βάση το ποσοστό εγγυημένης που πρέπει να δώσουμε στο δίκτυο αλλά και με το πρόγραμμα πώλησης που ακολουθούμε (24ωρο, 12ωρο, 8ωρο). Τέλος για κάθε περιοχή θα αξιολογήσουμε πόσο επηρεάζονται αυτοί οι δείκτες από τις διαφοροποιήσεις των βασικών μεταβλητών του προβλήματος, αναδεικνύοντας την ιδανικότερη κάθε φορά λύση.

Σε συνέχεια αυτών των αναλύσεων, θα συγκρίνουμε τις περιοχές μεταξύ τους, συνολικά κατά την διάρκεια όλων των ετών, για τα προαναφερθέντα μεγέθη, με την διαφοροποίηση του ποσοστού εγγυημένης και του προγράμματος πώλησης ενέργειας προς το δίκτυο. Αυτό θα μας δώσει συμπεράσματα και μια καλύτερη οπτική αξιολόγηση για το βέλτιστο ισοζύγιο ιδιοκατανάλωσης και εμπορίας ανά περιοχή.

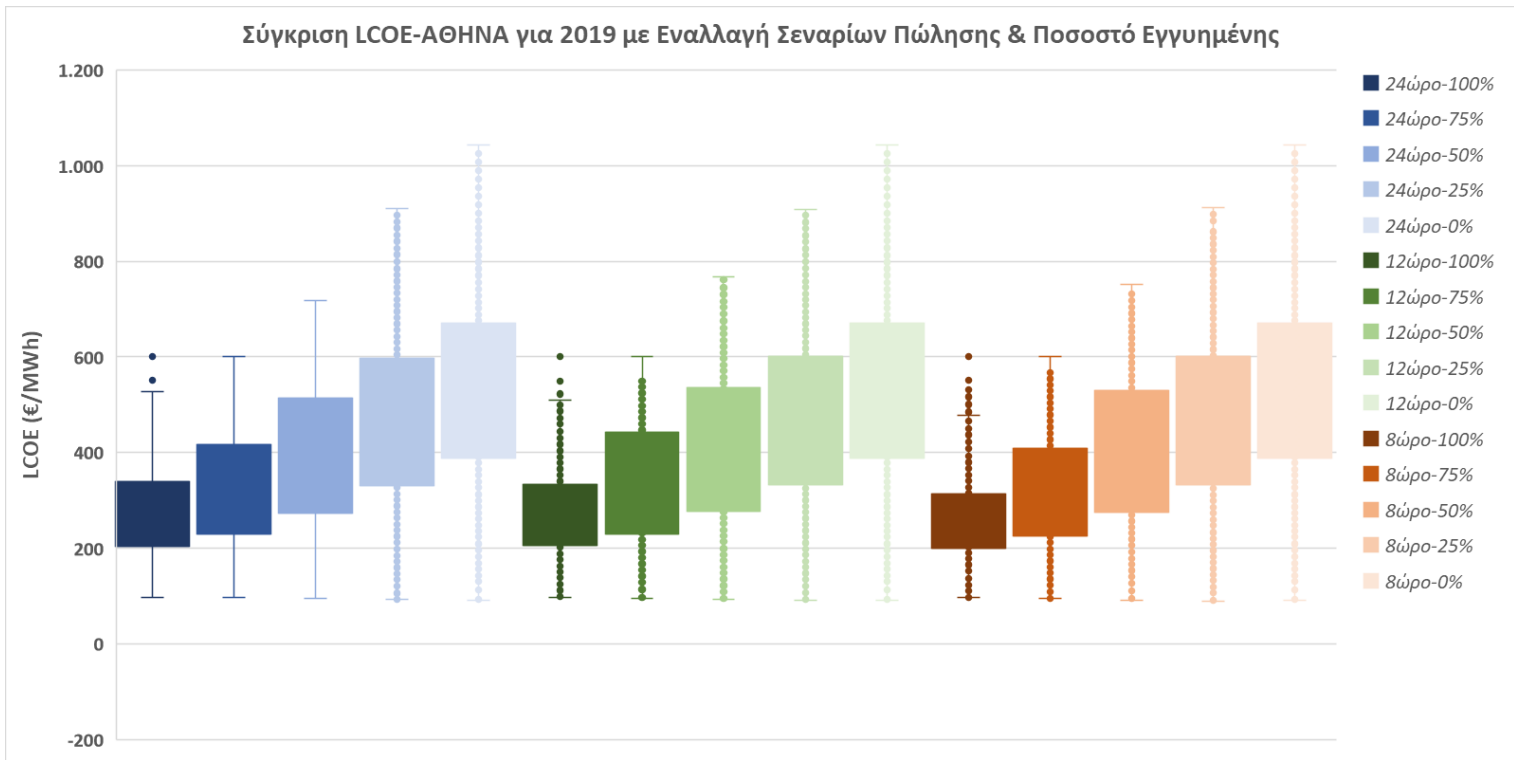
## 7.2 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Αθήνα

Όπως προαναφέραμε, στα αποτελέσματα μας θα αποτυπωθούν ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα το οποίο συμπεριλαμβάνει και τα 4 έτη και διαφοροποιείται με βάση το ποσοστό εγγυημένης και το σενάριο πώλησης και 4 διαγράμματα που ακολουθούν τις ίδιες μεταβλητές αλλά αναλύουν το κάθε έτος ξεχωριστά. Παρακάτω το Διάγραμμα 11 αποτυπώνει το συγκεντρωτικό:

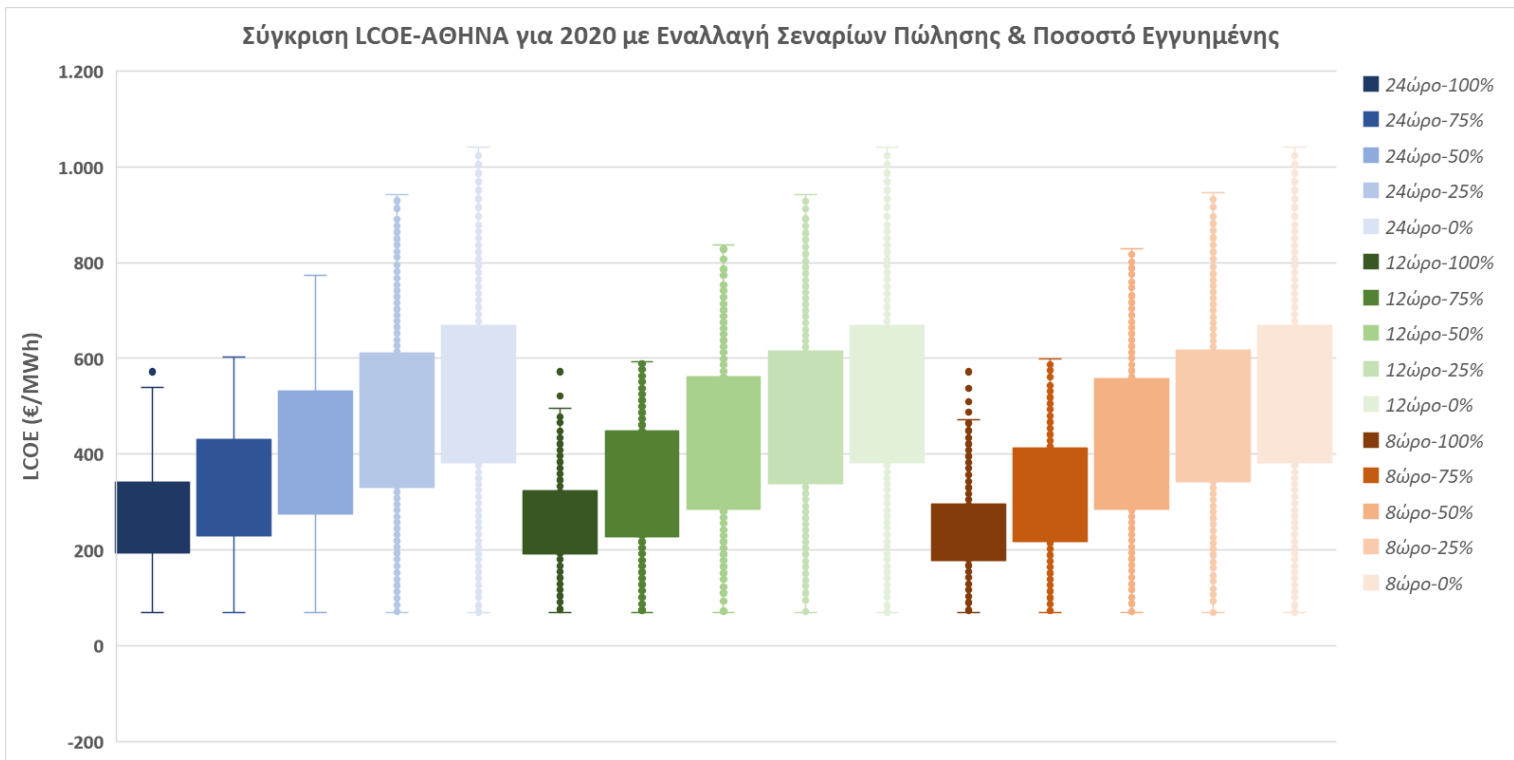


Διάγραμμα 11: Σύγκριση συνολικού LCOE για Αθήνα.

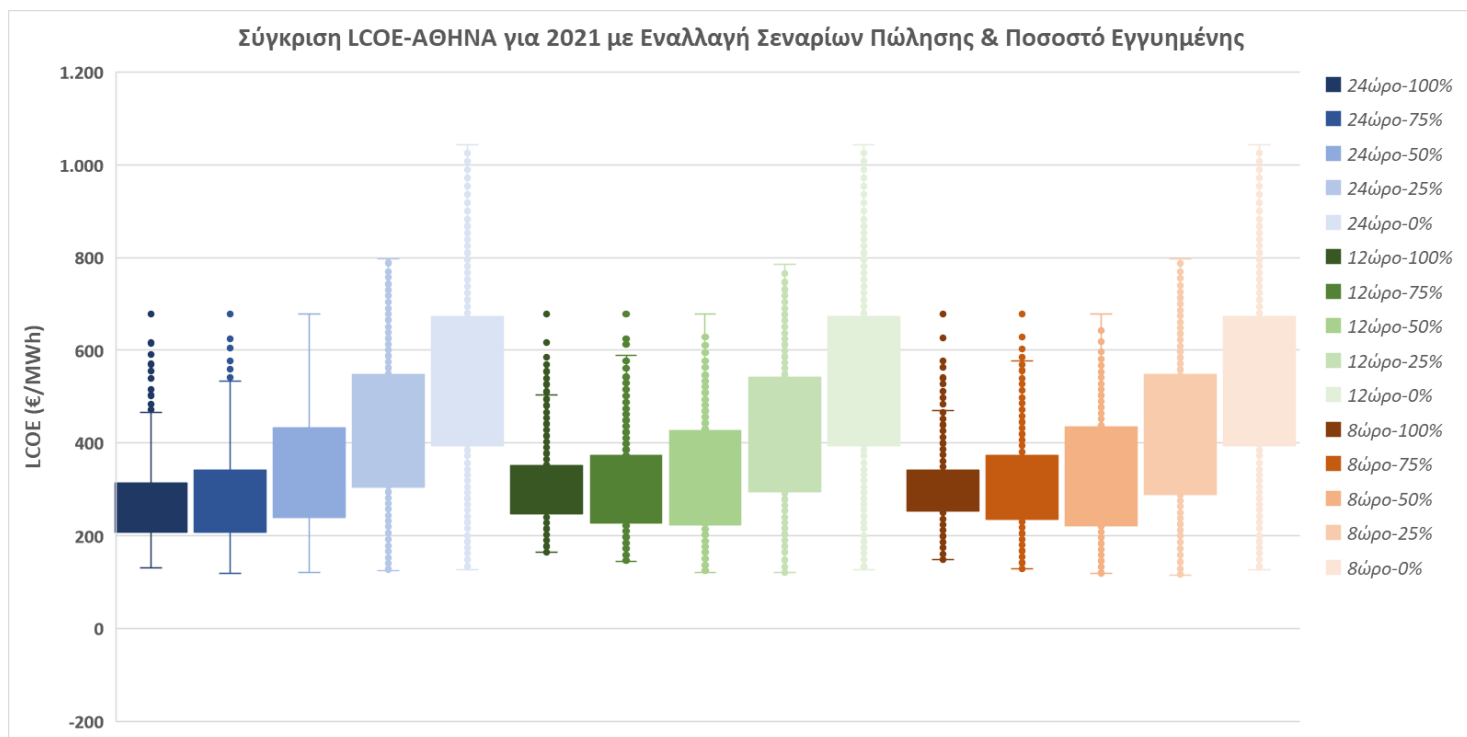
Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες τις οποίες μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



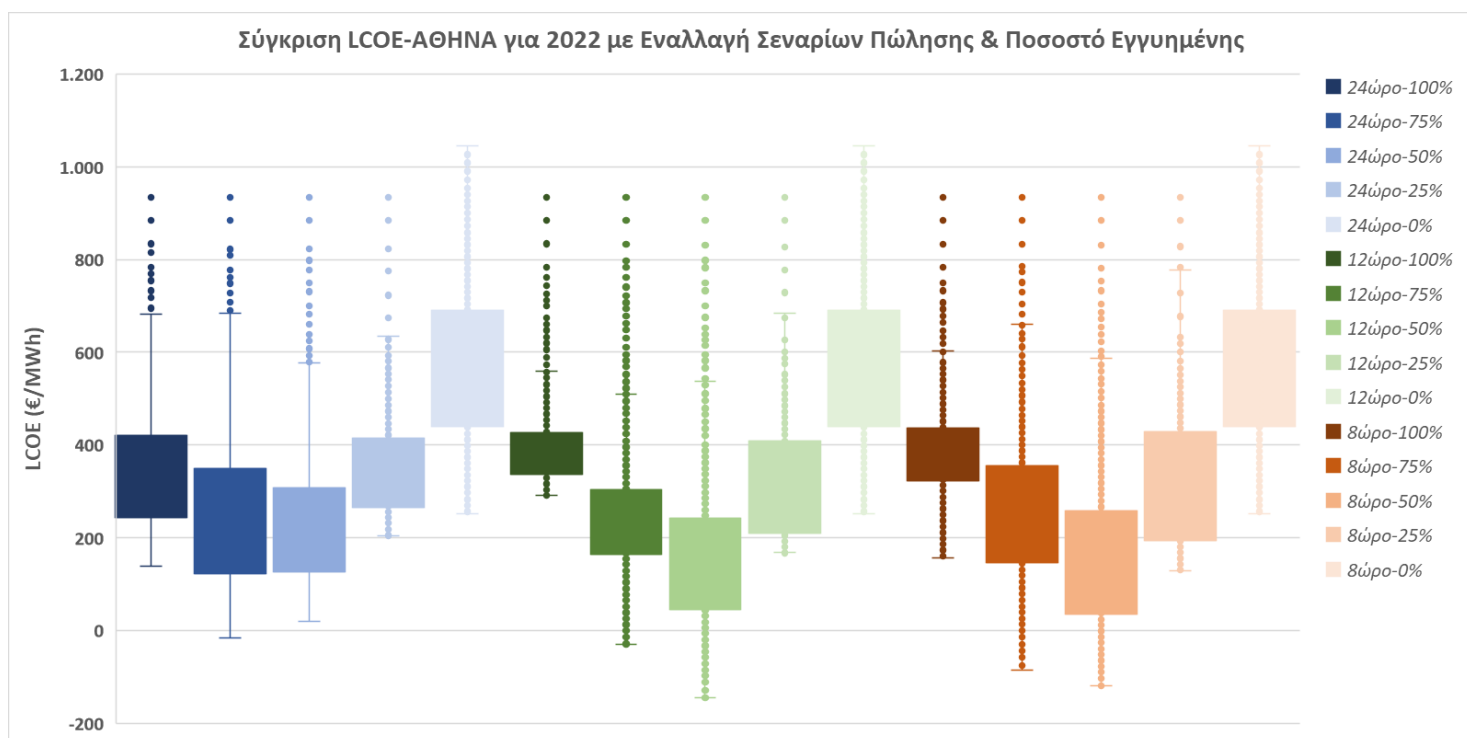
Διάγραμμα 12: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2019.



Διάγραμμα 13: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2020.



Διάγραμμα 14: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2021.



Διάγραμμα 15: Σύγκριση LCOE για Αθήνα 2022.

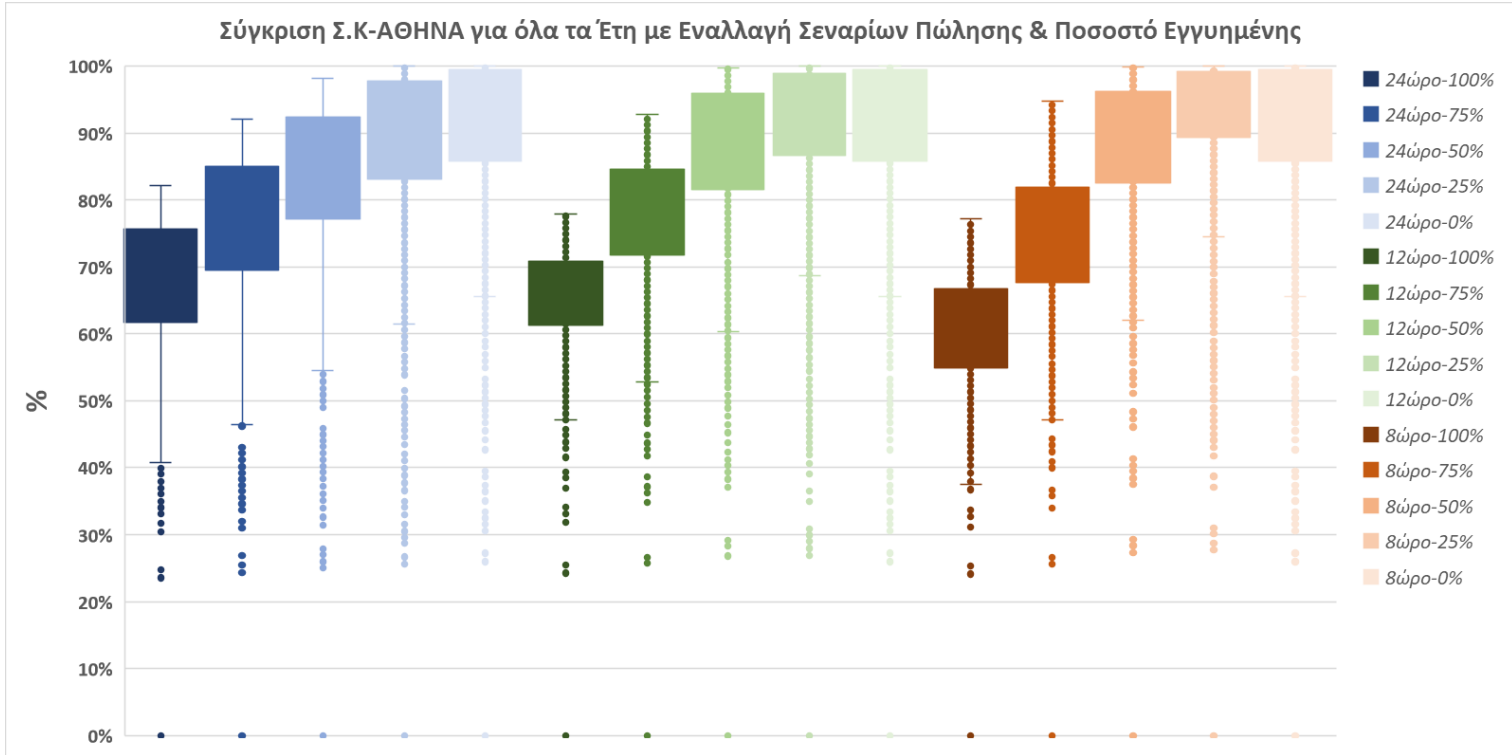
Αρχικά αξίζει να επισημανθεί ότι το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας (LCOE) αποτελεί, όπως προαναφέραμε, έναν από τους πιο σημαντικούς δείκτες αξιολόγησης της επένδυσής μας καθώς είναι μακροχρόνιος δείκτης και αποτυπώνει ξεκάθαρα ποιο σενάριο επωφελεί καλύτερα τον υβριδικό σταθμό παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας που μελετάμε.

Στην περίπτωση της Αθήνας, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

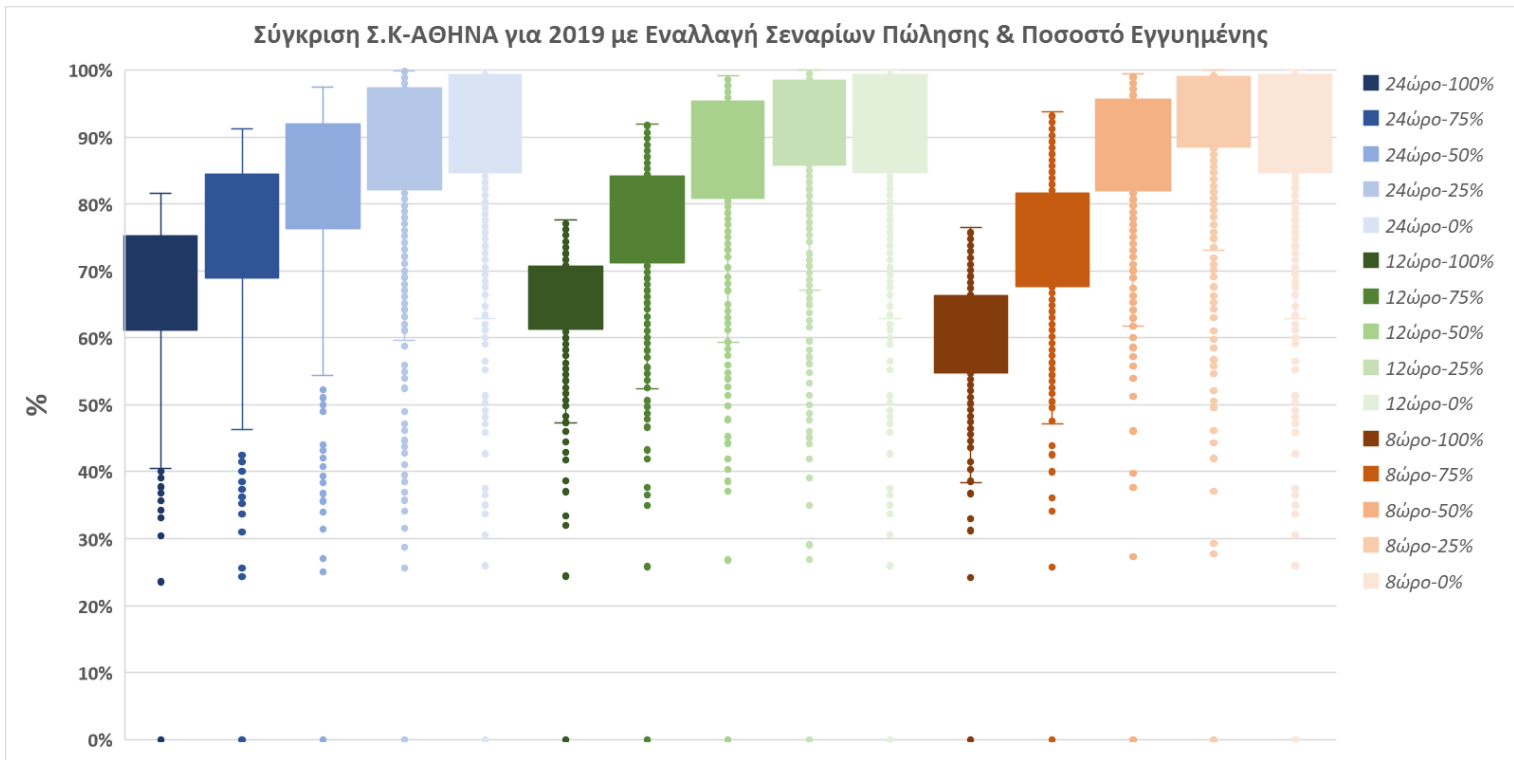
- Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα που εντάσσονται όλα τα έτη παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο περιθώριο κερδών το οποίο έχουμε εμφανίζεται στα σενάρια πώλησης 12ώρου και 8ώρου στα ποσοστά εγγυημένης 75% και 50%. Αυτό συμβαίνει γιατί σε εκείνα τα δύο σενάρια εντάσσονται οι ώρες αιχμής, όπως τις αποκαλούμε, οι οποίες είναι οι ώρες με την μεγαλύτερη ζήτηση και συνεπώς και τις υψηλότερες τιμές κόστους. Εκείνες τις ώρες το σύστημά μας παρουσιάζει επίσης και αυξημένη παραγωγή ενέργειας, κυρίως λόγω του ηλιακού δυναμικού και αυτό μας δίνει υψηλότερη κάλυψη της εγγυημένης. Τα δύο ποσοστά που προκύπτουν ως καλύτερα εμφανίζονται στο 75% και στο 50%, διότι στο ποσοστό εγγυημένης 100%, υπάρχουν περισσότερες στιγμές στις οποίες δεν μπορούμε να ανταπεξέλθουμε στην εγγυημένη και συνεπώς και μεγαλύτερη επιβάρυνση, λόγω των penalties, με αποτέλεσμα υψηλότερο LCOE. Τέλος, τα δυσμενέστερα σενάρια ως προς την εγγυημένη αναφέρονται σε ποσοστά 25% και το 0%.
- Στη συνέχεια, στην πιο λεπτομερή αποτύπωση του δείκτη LCOE για την περιοχή της Αθήνας, όπου αναλύουμε το κάθε έτος ξεχωριστά, παρατηρούμε ότι στα έτη 2019 και 2020 όπου οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αρκετά χαμηλές, κανένα από τα σενάρια πώλησης δεν μας δίνει σημαντική διαφοροποίηση, καθώς και ότι τα ποσοστά εγγυημένης και στα 3 σενάρια υποδεικνύουν ότι το 100% σενάριο αποτελεί το πιο επικερδές, με τη μείωση του τελευταίου να οδηγεί σε υψηλότερες τιμές LCOE. Αυτό οφείλεται όπως είπαμε στο ότι τα δύο αυτά έτη είχαμε χαμηλές τιμές, συνεπώς και πολύ πιο ομαλή και αναμενόμενη λειτουργία του συστήματος μας.
- Το έτος του 2021 αποτελεί με πολύ μικρές διαφοροποιήσεις, λόγω της αύξησης των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, ένα σχετικά κοντινό, σε τιμές έτος με τα προηγούμενα. Σε αντίθεση, το 2022 αποτελεί το έτος με τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις, καθώς είναι η χρονιά που οι τιμές της ενέργειας εκτοξεύονται και ως απόρροια αυτού μεγαλώνουν σημαντικά και τα κέρδη μας. Στην χρονιά αυτή το σταθμισμένο κόστος λαμβάνει καλύτερες τιμές στα σενάρια πώλησης 12ώρου και 8ώρου, με ελαφρώς καλύτερες στο 12ώρο, ενώ η 24ώρη πώληση υποχωρεί σημαντικά καθώς η παραγωγή μας είναι μεγαλύτερη τις ώρες αιχμής όπως προαναφέραμε. Επίσης τα ποσοστά εγγυημένης του 100% αποτελούν μετά την μηδενική πώληση τα χειρότερα ποσοστά, καθώς σε αυτά παρουσιάζονται πολύ μεγάλες τιμές επιβάρυνσης λόγω των penalties και των μεγάλων τιμών αυτών, ενώ τα επικρατέστερα σενάρια είναι αυτά των 50% ως πρώτο και το 75% ως δεύτερο.
- Τέλος με βάση την κάθε χρονιά ξεχωριστά, αλλά και παρατηρώντας το συγκεντρωτικό διάγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το έτος 2022 καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό και την συνολική απεικόνιση και είναι το έτος με την μεγαλύτερη βαρύτητα.

### 7.3 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Αθήνα

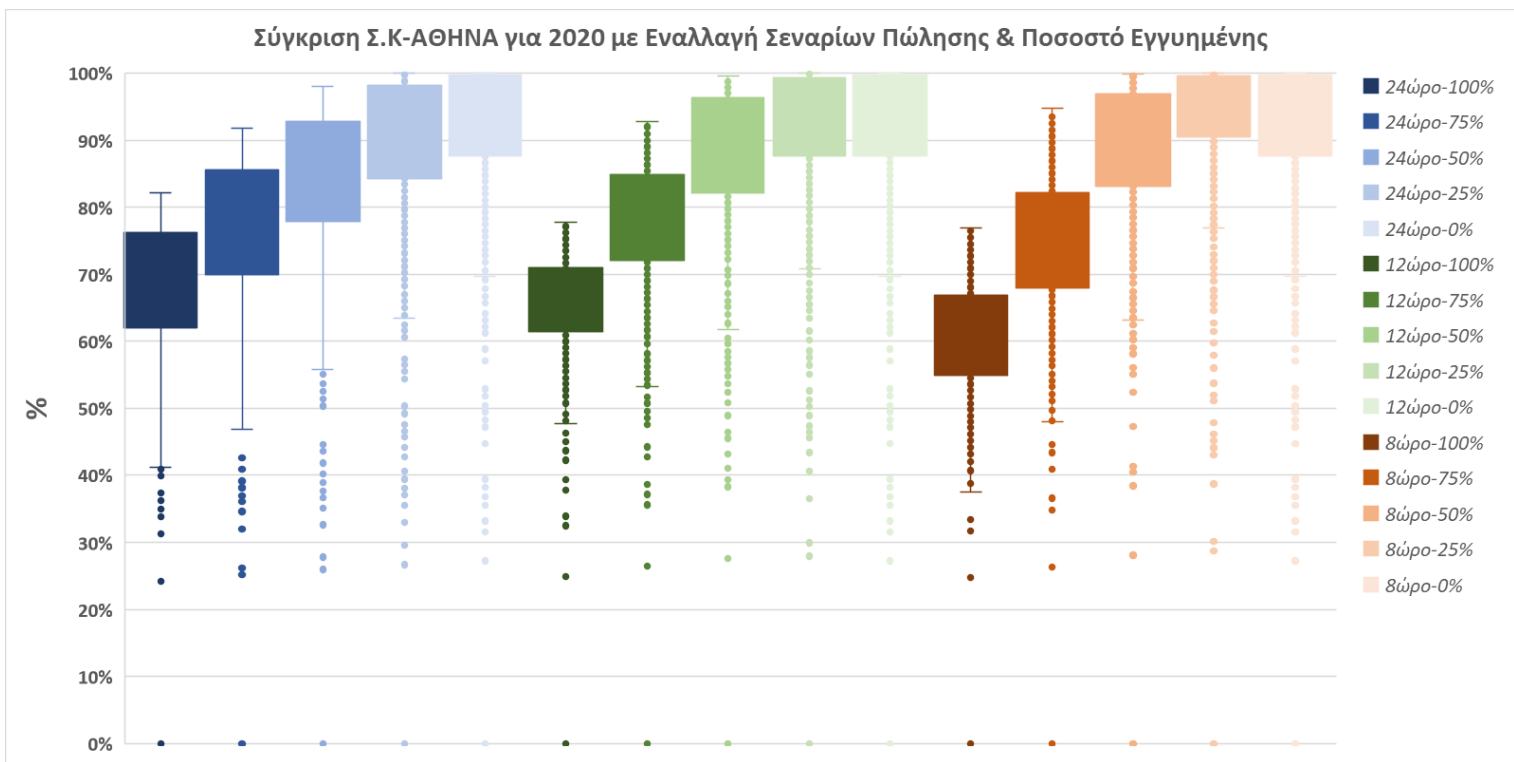
Η ίδια λογική θα ακολουθηθεί και για την αξιολόγηση του συνολικού συντελεστή κάλυψης στην περιοχή της Αθήνας. Παρακάτω, στο Διάγραμμα 16, δίνεται η συνολική αποτύπωση. Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες τις οποίες μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



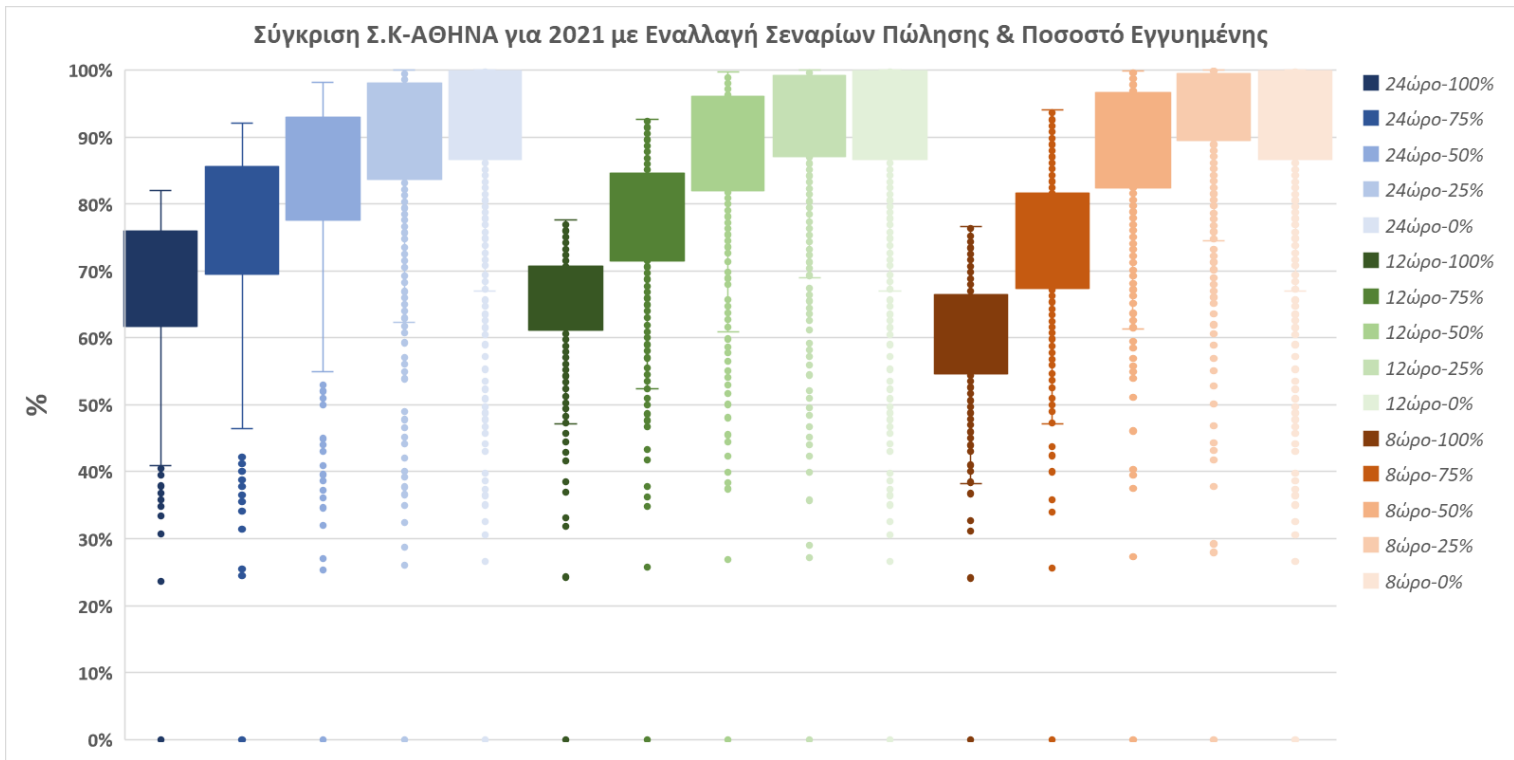
Διάγραμμα 16: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Αθήνα.



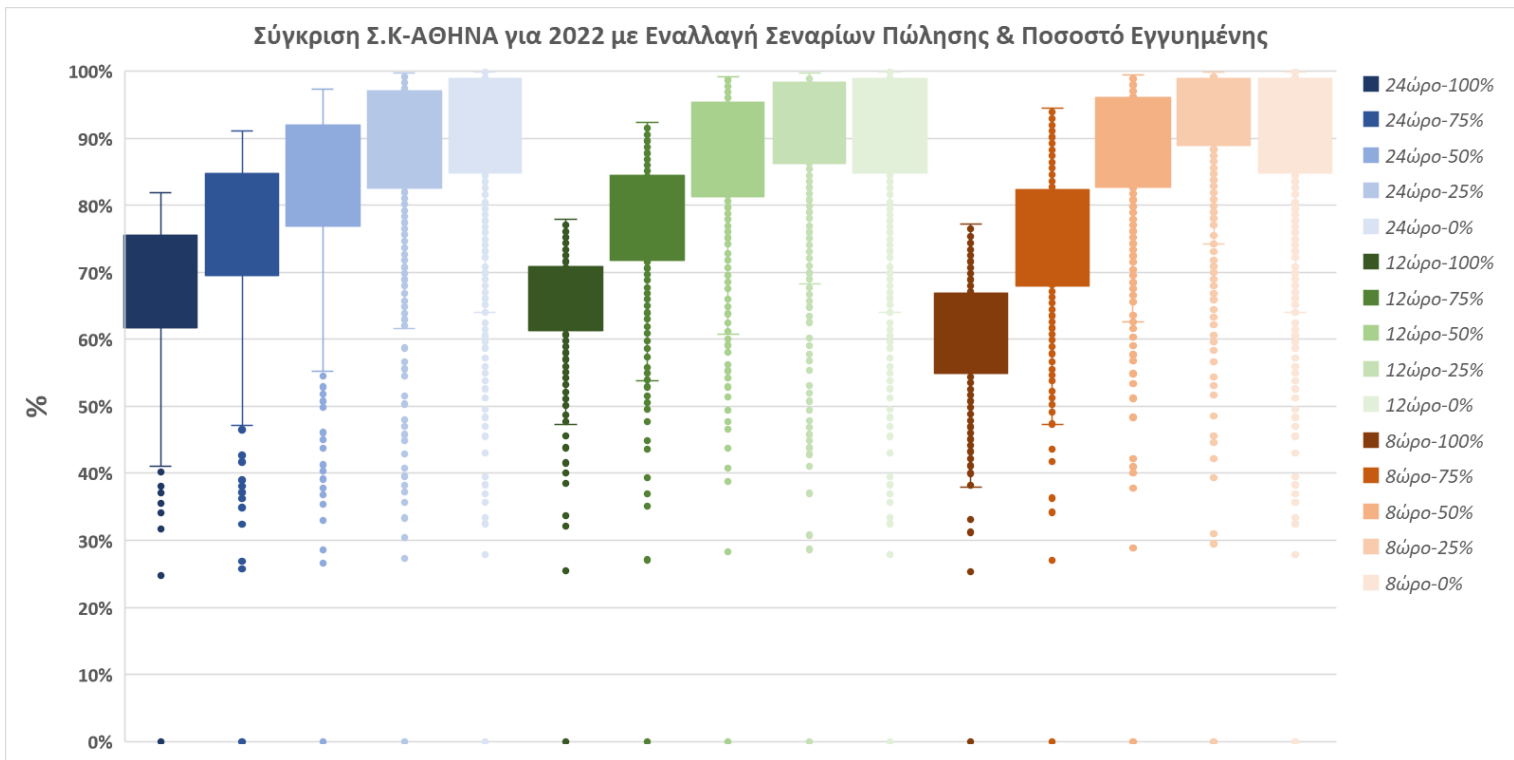
Διάγραμμα 17: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2019.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2020.



Διάγραμμα 19: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2021.



Διάγραμμα 20: Σύγκριση Σ.Κ για Αθήνα 2022.

Ο συνολικός συντελεστής κάλυψης αποτελεί ένα δείκτη, ο οποίος στην πραγματικότητα αποτελεί ένα κράμα δύο δεικτών, του συντελεστή κάλυψης της οικίας και του συντελεστή κάλυψης της εγγυημένης. Ο συγκεκριμένος δείκτης αποτελεί έναν αρκετά ανεξάρτητο δείκτη καθώς δεν επηρεάζεται από τις ωριαίες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες είναι ο πιο απρόβλεπτος παράγοντας στην μελέτη μας, αλλά το μόνο που λαμβάνει υπόψη είναι η παραγωγή και αποθήκευση της ενέργειας και πως αυτή κατανέμεται, είτε για κάλυψη εγγυημένης είτε για ιδιοκατανάλωση.

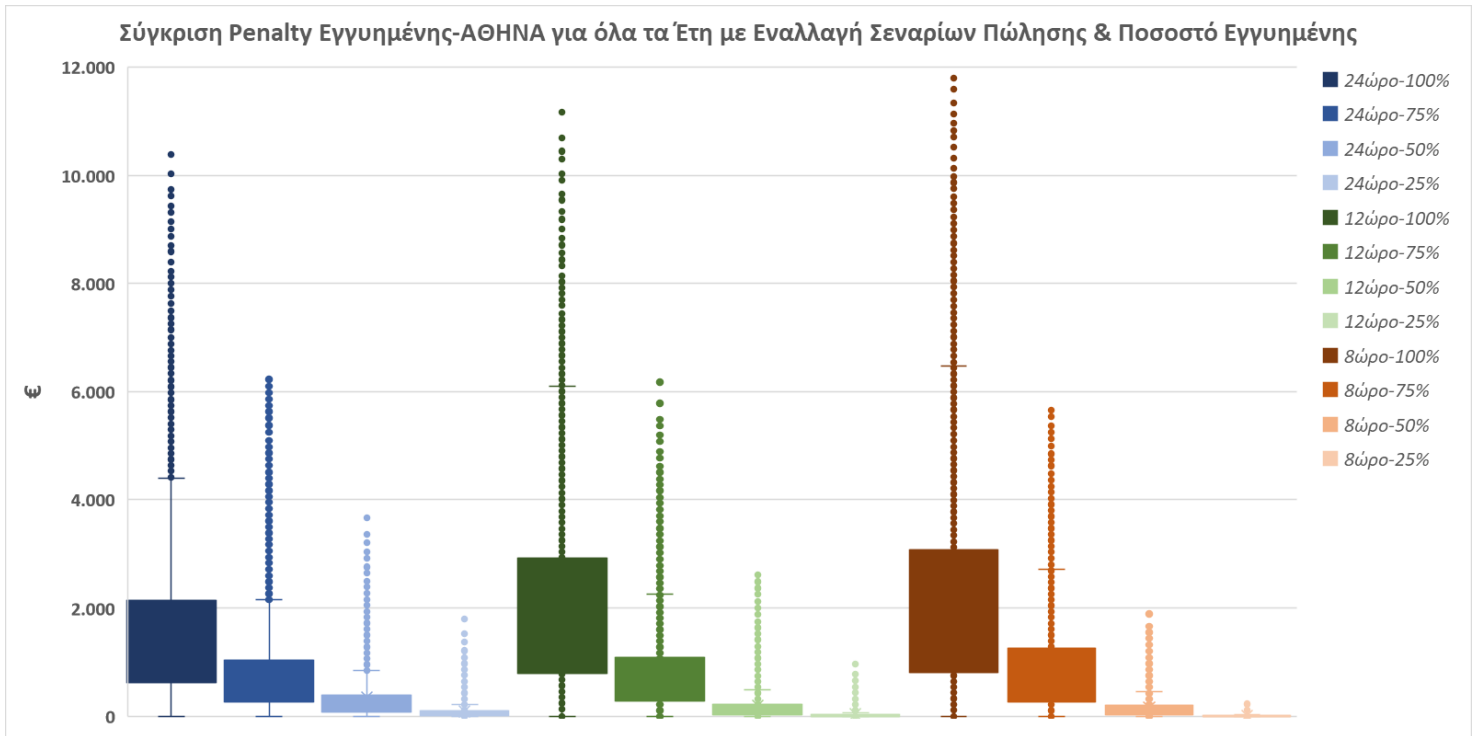
Στην περίπτωση της Αθήνας, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Στον συγκεκριμένο δείκτη, όπως προαναφέραμε, δεν παρατηρούμε μεγάλες διαφοροποιήσεις, και τα 4 έτη της μελέτης μας δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, καθώς οι καταναλώσεις μας αποτελούν σταθερό παράγοντα και το μόνο που διαφοροποιείται από έτος σε έτος είναι η παραγωγή ενέργειας με βάση τις αλλαγές στο αιολικό και ηλιακό δυναμικό. Μια διαφοροποίηση η οποία δεν είναι δυνατόν να επηρεάσει σημαντικά την λειτουργία του υβριδικού έτσι ώστε να δούμε μεγάλες αλλαγές ανάμεσα στα έτη. Συνεπώς, αφού και τα 4 έτη ακολουθούν το ίδιο μοτίβο, έτσι θα προκύψει και το συνολικό διάγραμμα.
- Όπως παρατηρούμε στις παραπάνω απεικονίσεις του συνολικού Σ.Κ το μοτίβο που ακολουθείται είναι ότι με την μείωση του ποσοστού εγγυημένης αυξάνεται σημαντικά και ο Σ.Κ, καθώς μειώνονται τα ποσά ενέργειας που οφείλουμε να δώσουμε στο δίκτυο και έτσι και καλύπτουμε αυτά τα ποσά πιο εύκολα και μένει παραπάνω ενέργεια για τις ιδιοκαταναλώσεις μας, αυξάνοντας έτσι και τους δύο επιμέρους δείκτες του Σ.Κ της οικίας και του Σ.Κ της εγγυημένης.
- Στα σενάρια πώλησης τώρα ο συνολικός Σ.Κ λαμβάνει ελαφρώς καλύτερες τιμές με την μείωση των τιμών της εγγυημένης, καθώς όπως προείπαμε, τις ώρες που δεν προσδίδουμε ενέργεια στο δίκτυο αυξάνει ο δείκτης κάλυψης στις ιδιοκαταναλώσεις μας. Βέβαια μια εξαίρεση αποτελεί η 24ωρη πώληση με ποσοστό 100%, η οποία εμφανίζει καλύτερες τιμές από τα άλλα δύο σενάρια πώλησης, και αυτό συμβαίνει επειδή στο 24ωρο υπάρχουν αρκετές ώρες όπου η ζήτηση της οικίας είναι χαμηλή, κυρίως τις νυχτερινές ώρες, και έτσι επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ποσοστά στον Σ.Κ της εγγυημένης. Όπως είπαμε ο συγκεκριμένος δείκτης είναι συνδυασμός επιμέρους συντελεστών, οπότε είναι λογικό να υπάρχουν μικρές εξαιρέσεις και αποτελέσματα τα οποία είναι απρόσμενα με την λογική λειτουργίας του υβριδικού μας συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης.



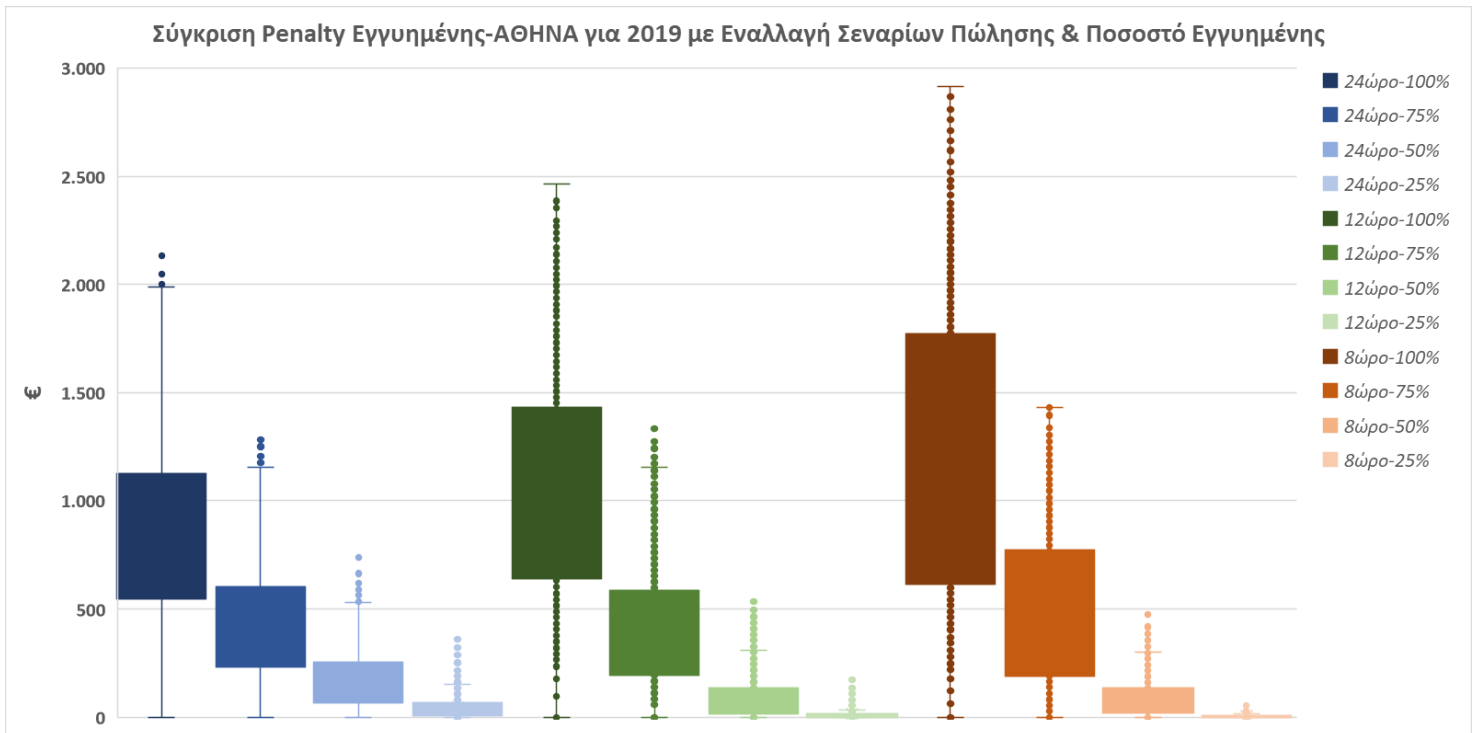
## 7.4 Penalty Εγγυημένης για Αθήνα

Το ίδιο μοτίβο ακολουθείται και για το Penalty της εγγυημένης δίνοντας μας τα εξής: Παρακάτω στο Διάγραμμα 21 δίνεται η συνολική αποτύπωση.

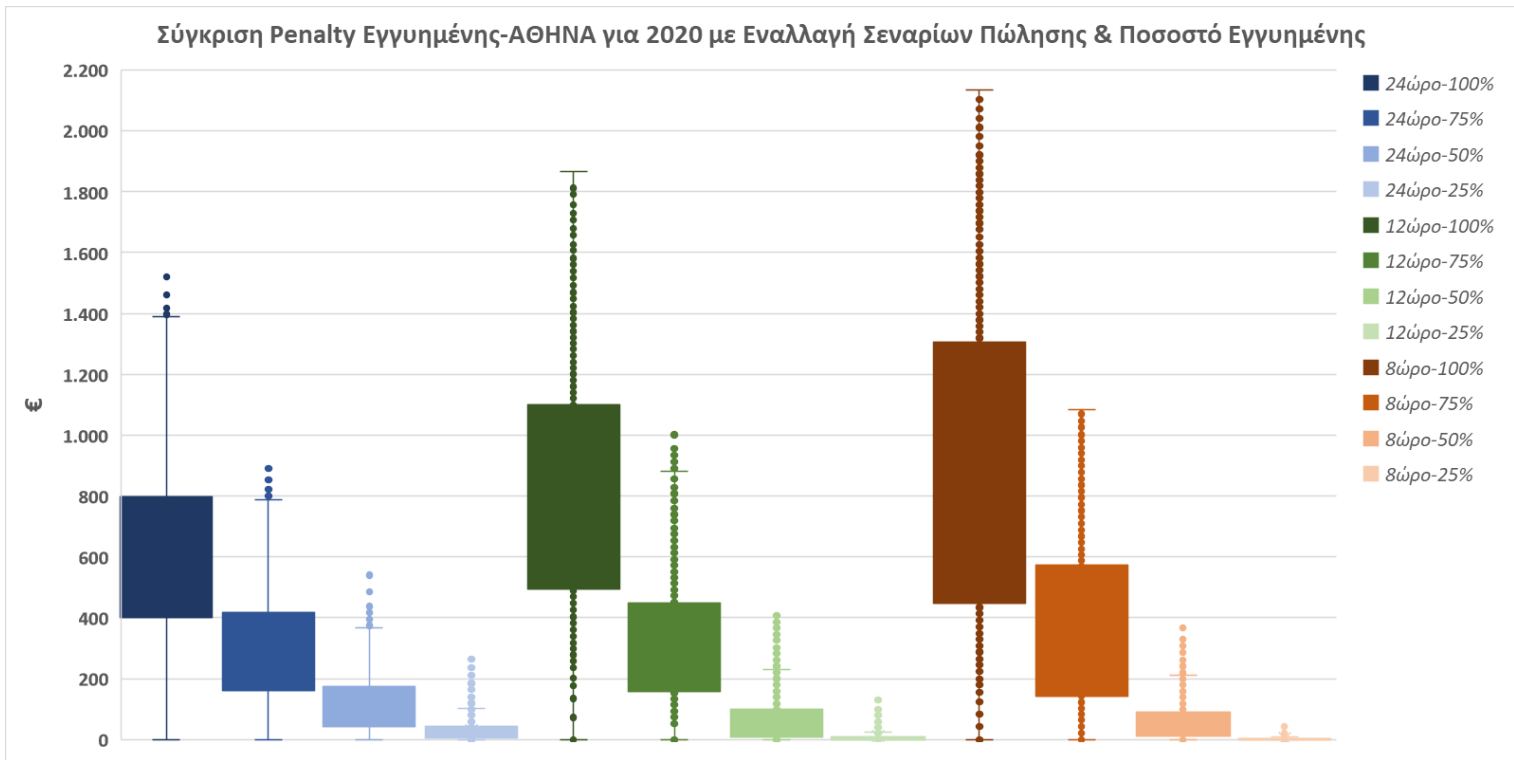


Διάγραμμα 21: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Αθήνα.

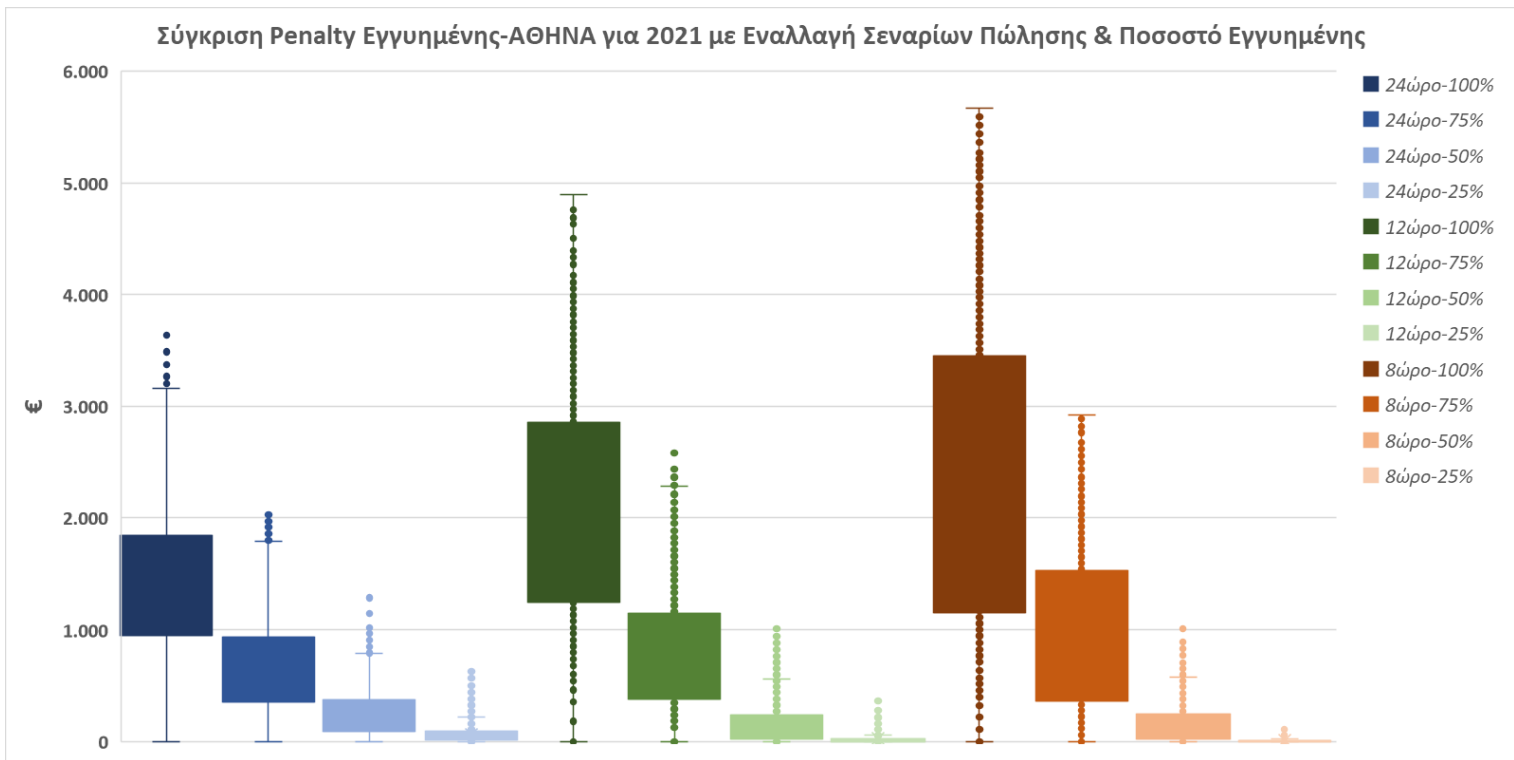
Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 22: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2019.

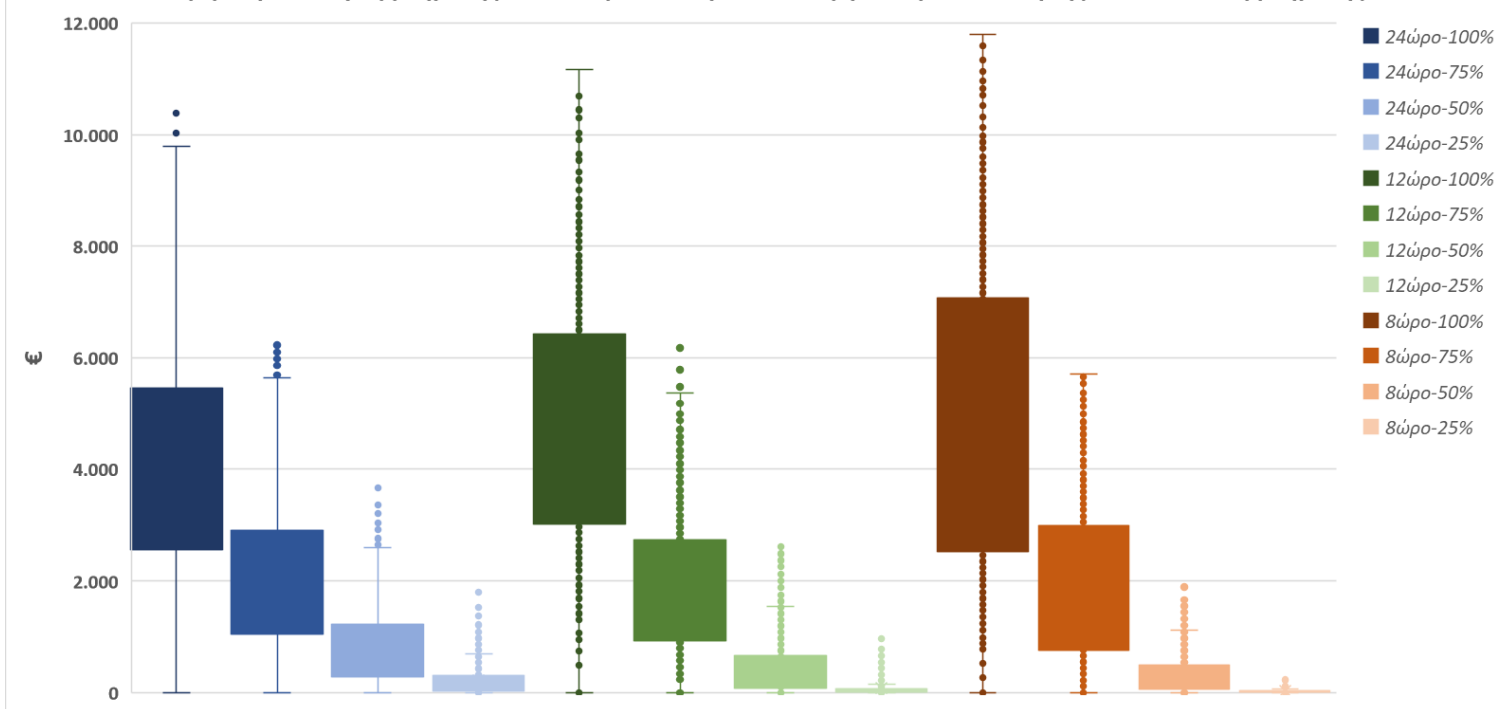


Διάγραμμα 23: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2020.



Διάγραμμα 24: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2021.

Σύγκριση Penalty Εγγυημένης-ΑΘΗΝΑ για 2022 με Εναλλαγή Σεναρίων Πώλησης & Ποσοστό Εγγυημένης



Διάγραμμα 25: Penalty Εγγυημένης για Αθήνα 2022.

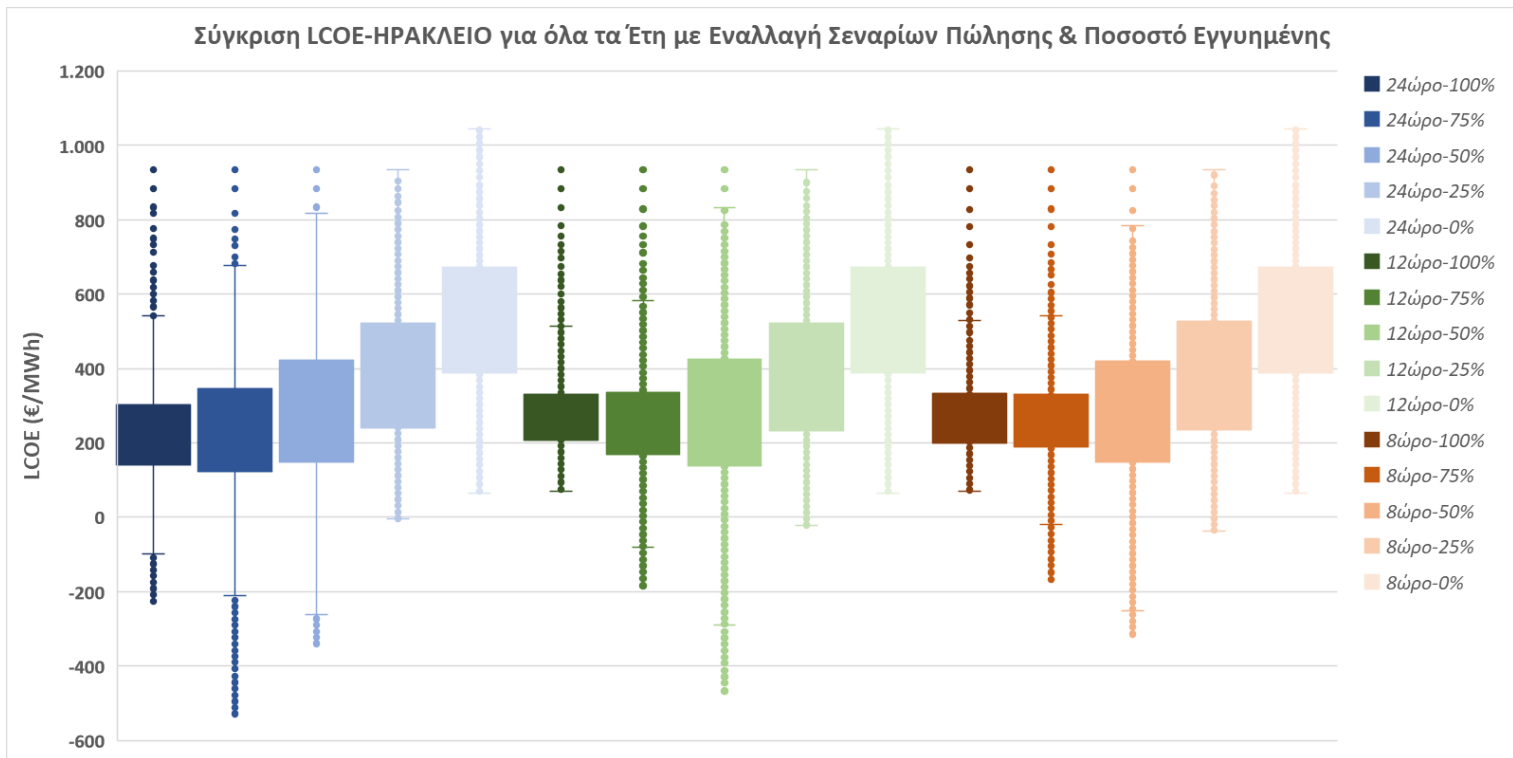
Ο δείκτης του Penalty Εγγυημένης μας δίνει μια οπτική για το ποιο σενάριο λειτουργίας μας δίνει της μεγαλύτερες επιβαρύνσεις. Επιπλέον είναι ένας δείκτης ο οποίος εντάσσεται στο σταθμισμένο κόστος, συνεπώς η απομόνωση του και η αποτύπωση του ξεχωριστά θα μας δώσει μια καλύτερη οπτική για το πως συνεργάζεται το σύστημα μας με την εγγυημένη ενέργεια που υποσχόμαστε στο δίκτυο.

Στην περίπτωση της Αθήνας, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

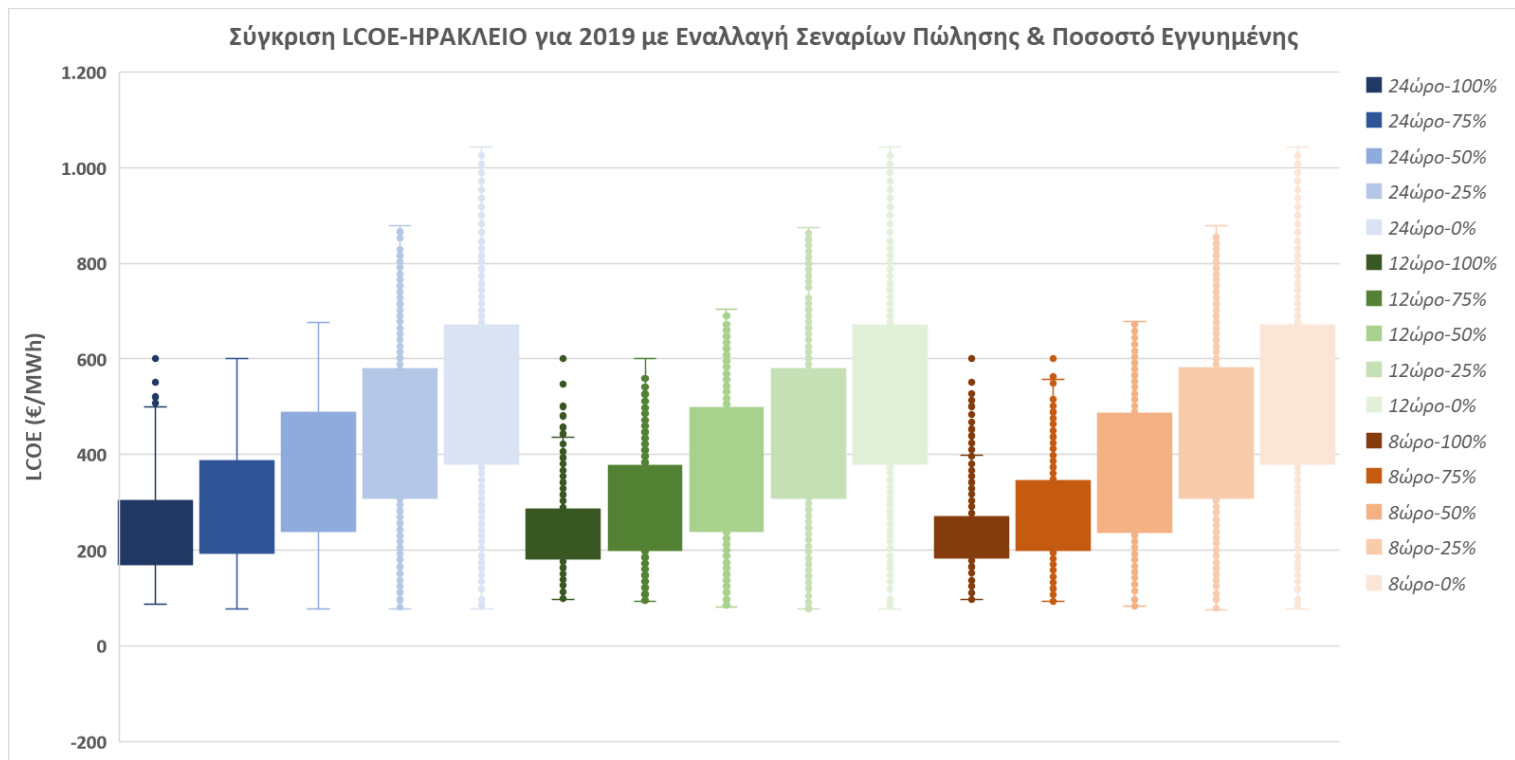
- Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα, το συγκεντρωτικό αλλά και των 4 ετών ξεχωριστά, ακολουθούν την ίδια λογική τιμών. Συνεπώς δεν έχουμε κάποιο έτος να παρουσιάζει διαφορετική εικόνα από κάποιο άλλο.
- Ένα μέγεθος το οποίο διαφοροποιείται σημαντικά είναι τα ποσά στις τιμές (€), καθώς όπως είναι λογικό, τα 2 πρώτα έτη (2019 και 2020), όπου οι τιμές στην ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλές, αντίστοιχα χαμηλά είναι και τα penalty. Στη συνέχεια παρατηρούμε μια αύξηση στο 2021, ενώ το αποκορύφωμα έρχεται το 2022 όπου οι τιμές της ενέργειας είναι στα ύψη και έτσι αυξάνουν σημαντικά και τα penalty. Το γεγονός αυτό βέβαια δεν είναι απαραίτητα κακό, διότι όπως είδαμε και στο δείκτη LCOE, με τον ίδιο τρόπο αυξάνονται πολύ σημαντικά και τα έσοδα.
- Για το συγκεκριμένο δείκτη, όσο μειώνεται το ποσοστό εγγυημένης, όπως είναι λογικό, μειώνονται σημαντικά και οι τιμές των penalties, εφόσον επιτυγχάνονται πιο εύκολα τα εγγυημένα ποσά ενέργειας.
- Στα συγκεκριμένα διαγράμματα, για τα ποσοστά 75%, 50% και 25%, παρατηρούμε πως για κάθε σενάριο πώλησης είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους και δεν χρειάζεται κάποια περαιτέρω επεξήγηση. Ένα εύρημα που αξίζει να σχολιαστεί είναι αυτό της 100% εγγυημένης, στο οποίο παρατηρούμε ότι για την 24ωρη πώληση λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές penalty, ενώ για την 8ωρη πώληση τις υψηλότερες.

## 7.5 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Ηράκλειο

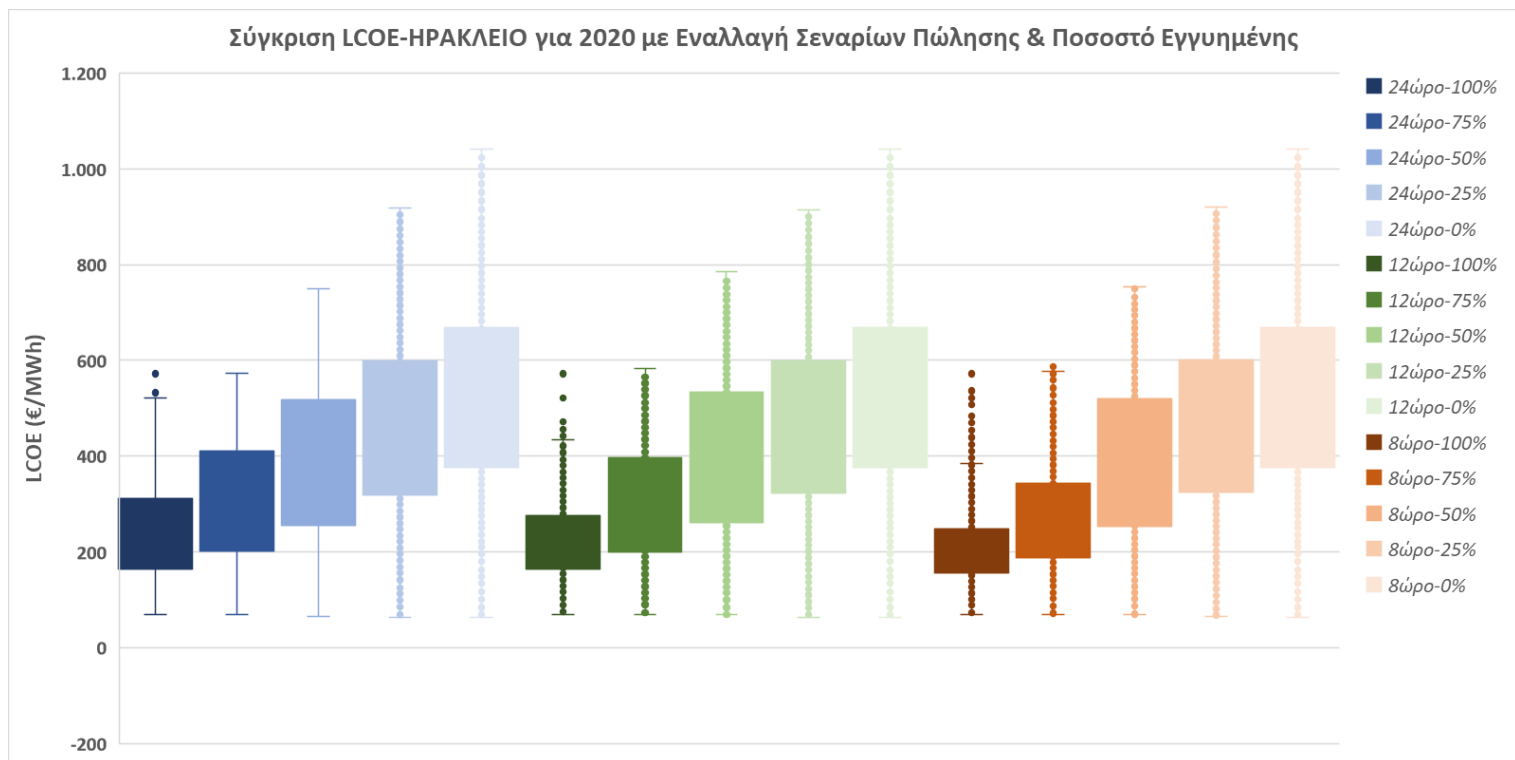
Παρακάτω στο Διάγραμμα 26 δίνεται η συνολική αποτύπωση. Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες τις οποίες μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω



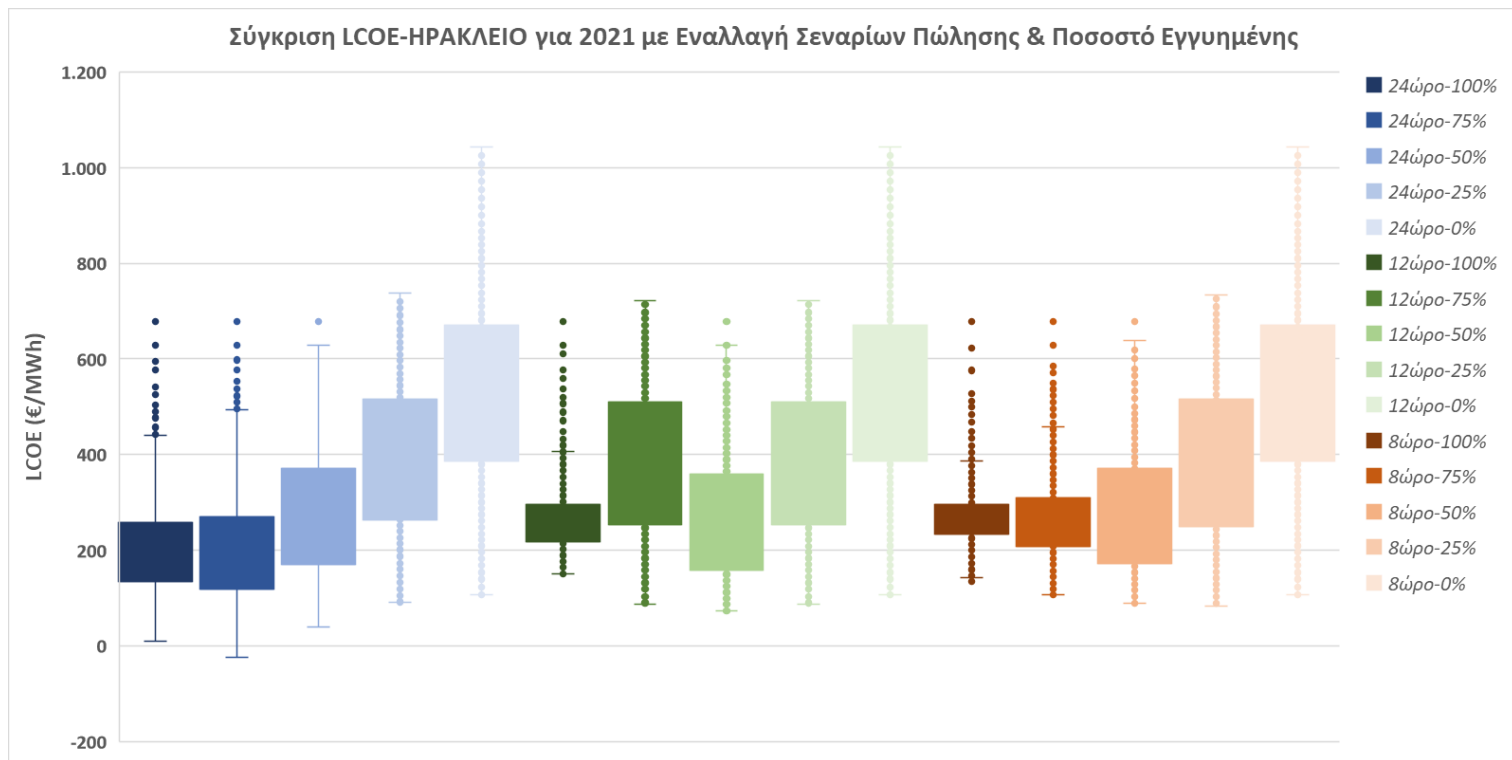
Διάγραμμα 26: Σύγκριση συνολικού LCOE για Ηράκλειο.



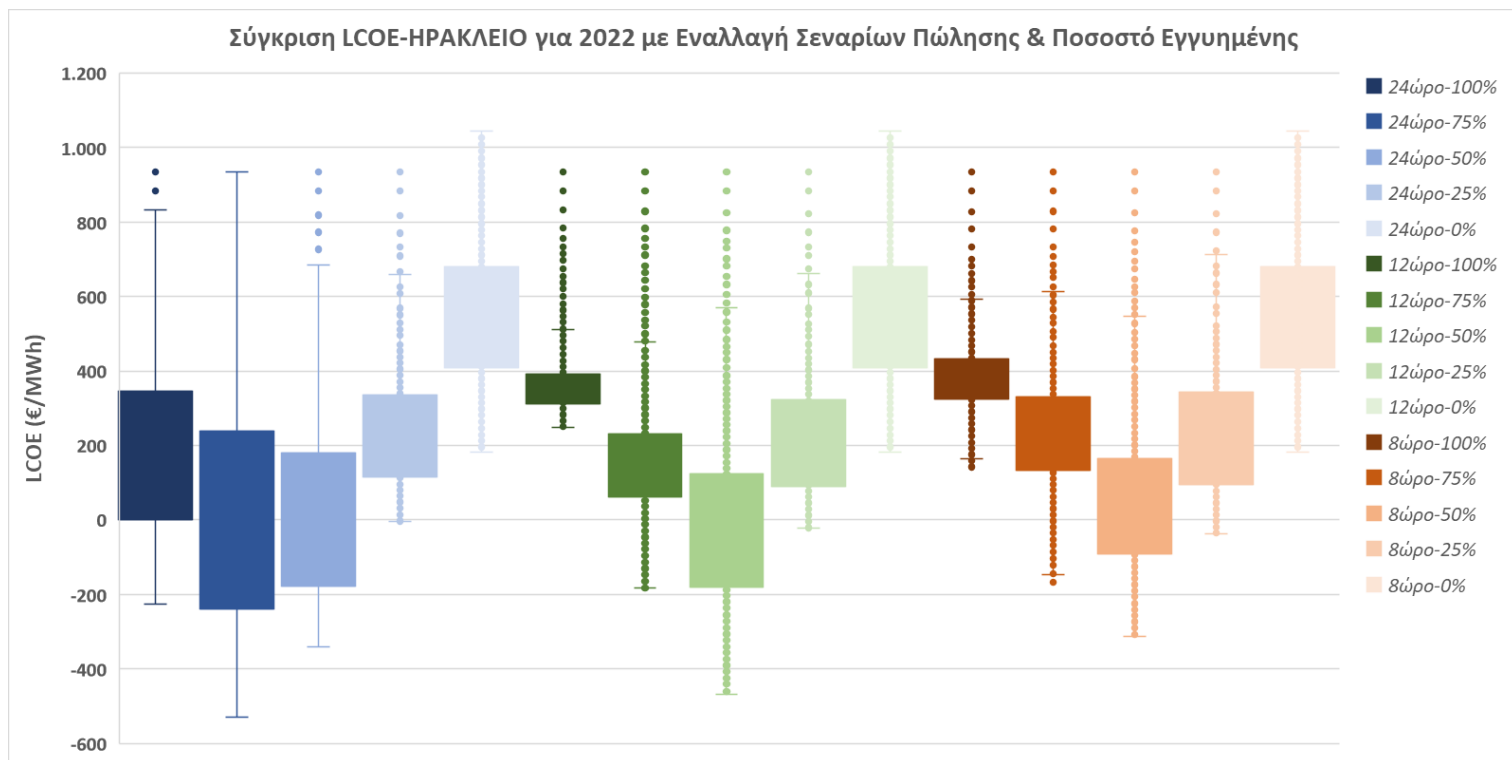
Διάγραμμα 27: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2019.



Διάγραμμα 28: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2020.



Διάγραμμα 29: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2021.



Διάγραμμα 30: Σύγκριση LCOE για Ηράκλειο 2022.

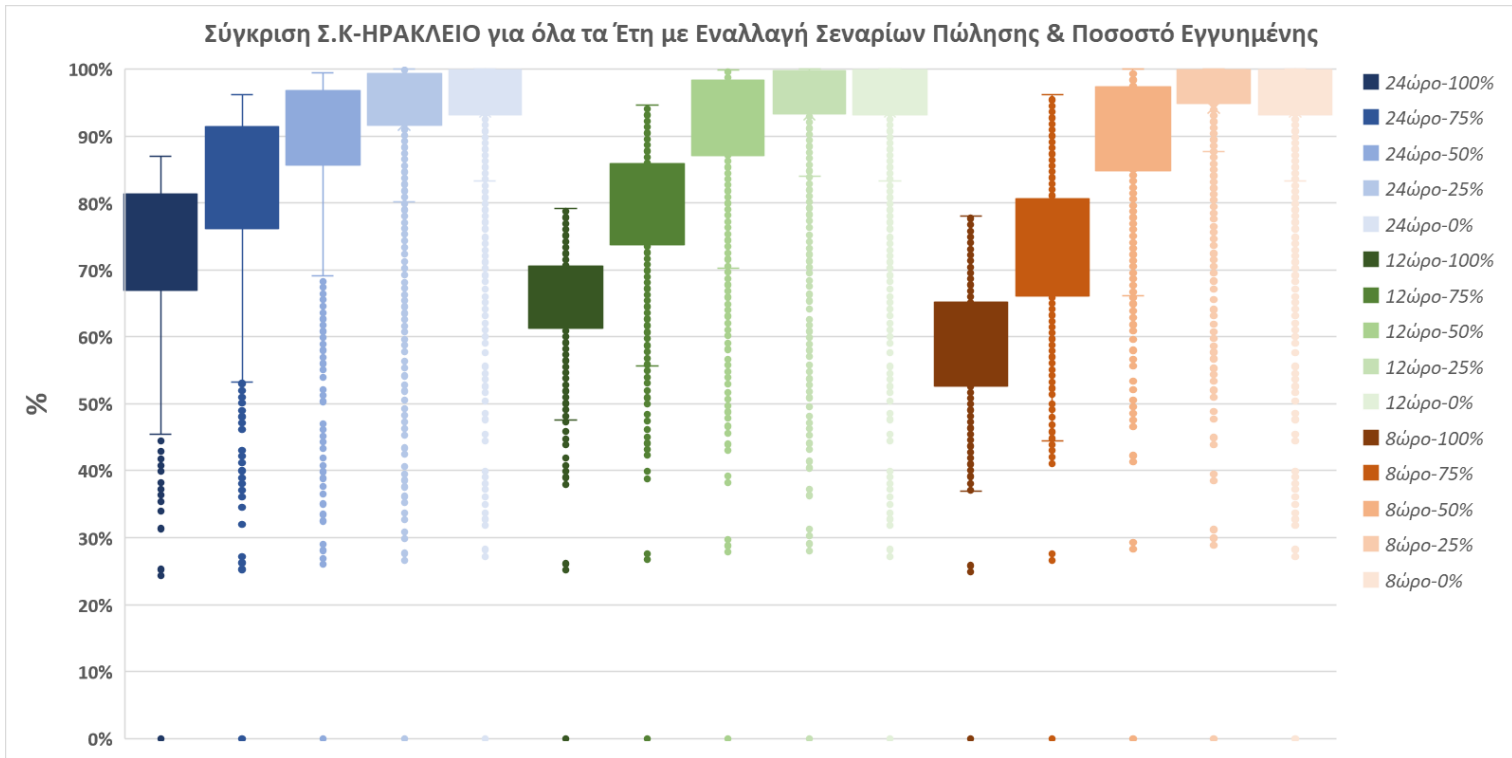
Αρχικά αξίζει να επισημανθεί ότι η πόλη του Ηρακλείου εμφανίζει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από εκείνη των Αθηνών, καθώς διαθέτει καλύτερο αιολικό και ηλιακό δυναμικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σταθμισμένα κόστη παραγωγής ενέργειας (LCOE), τα οποία θα σχολιάσουμε, να είναι χαμηλότερα, και συνεπώς το σύστημα μας να έχει περισσότερα κέρδη σε σχέση με αυτό των Αθηνών.

Στην περίπτωση του Ηρακλείου, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Το συγκεντρωτικό διάγραμμα που αποτυπώνει το LCOE στην πόλη του Ηρακλείου μας δίνει πολύ διαφορετικά αποτελέσματα από εκείνα της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση αυτή, όπου η παραγωγή μας είναι σαφώς μεγαλύτερη, αξίζουν σαν σενάρια πώλησης και τα 3 ωράρια τα οποία μελετάμε, καθώς και η 24ώρη πώληση, εφόσον η παραγωγή μας είναι υψηλή, μας δίνει σημαντικά κέρδη. Στα 3 αυτά σενάρια τα ποσοστά με τα υψηλότερα κέρδη και αυτά που αξίζει να επιλέξουμε είναι αυτά των 50% ως καλύτερο και στην συνέχεια των 75%. Αυτό οφείλεται στο ότι το ποσοστό του 50% εγγυημένης έχει καλύτερη συνεργασία με το σύστημα μας, καθώς τα έξοδα από τα penalties είναι σαφώς μικρότερα. Τέλος τα χειρότερα ποσοστά, για κάθε σενάριο πώλησης, είναι το 25% και το 0%, καθώς εκεί πουλάμε την λιγότερη εγγυημένη και έχουμε και τα λιγότερα έσοδα
- Στη συνέχεια παρατηρούμε ότι στα έτη 2019 και 2020, όπου οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά πιο υποβαθμισμένες από τα άλλα 2 έτη, παρατηρούμε ότι κανένα από τα σενάρια πώλησης δεν μας δίνει κάποια σημαντική διαφοροποίηση. Όσον αφορά τα ποσοστά εγγυημένης, το 100% αποτελεί το πιο επικερδές και όσο μειώνεται το ποσοστό εγγυημένης, τόσο χειρότερες τιμές λαμβάνει ο δείκτης μας.
- Τέλος παρατηρούμε ότι τα δυο έτη που διαφοροποιούνται είναι το 2021 και το 2022 με το δεύτερο να αλλάζει δραματικά, λόγω των σημαντικών αυξήσεων στις τιμές της ενέργειας, και είναι και το έτος το οποίο καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και το συνολικό μας διάγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, στο συγκεκριμένο έτος παρατηρούμε, όπως και στο συνολικό ότι τα καλύτερα ποσοστά είναι το 50% και το 75%, ενώ και στην συγκεκριμένη περίπτωση και τα 3 σενάρια είναι επικερδή, γεγονός το οποίο φανερώνει την μεγάλη αύξηση που προαναφέραμε.

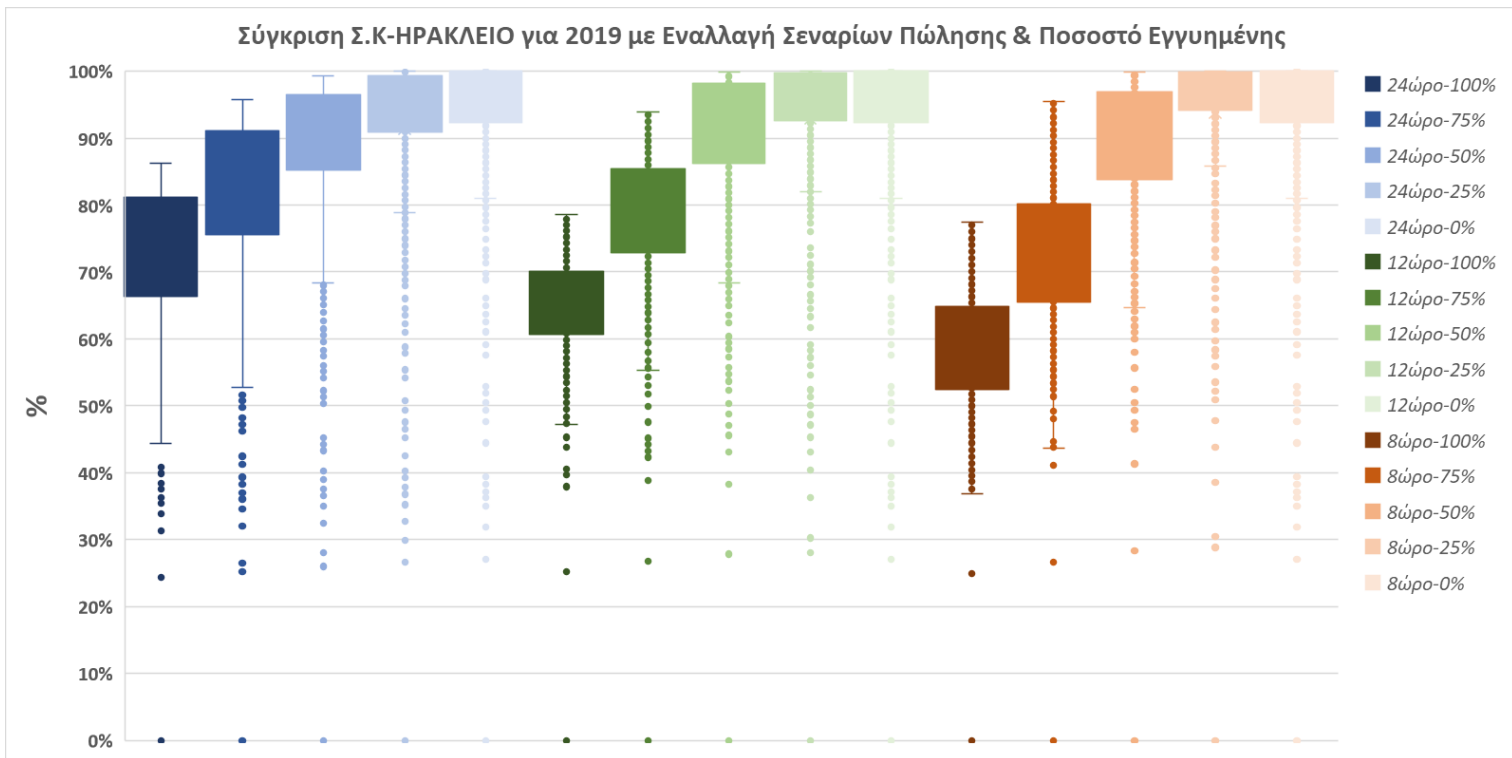
## 7.6 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Ηράκλειο

Παρακάτω στο Διάγραμμα 31 δίνεται η συνολική αποτύπωση.



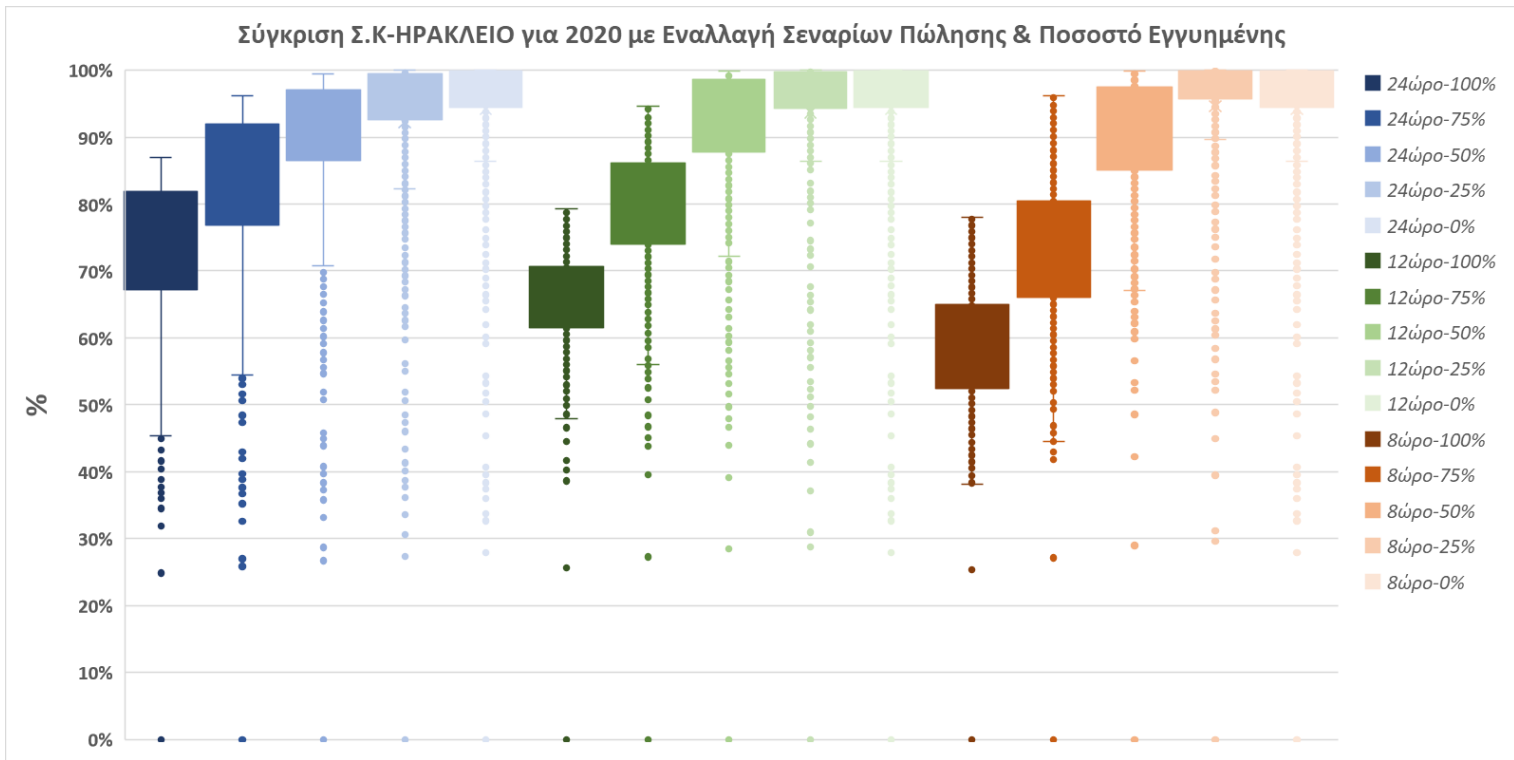
Διάγραμμα 31: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Ηράκλειο.

Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:

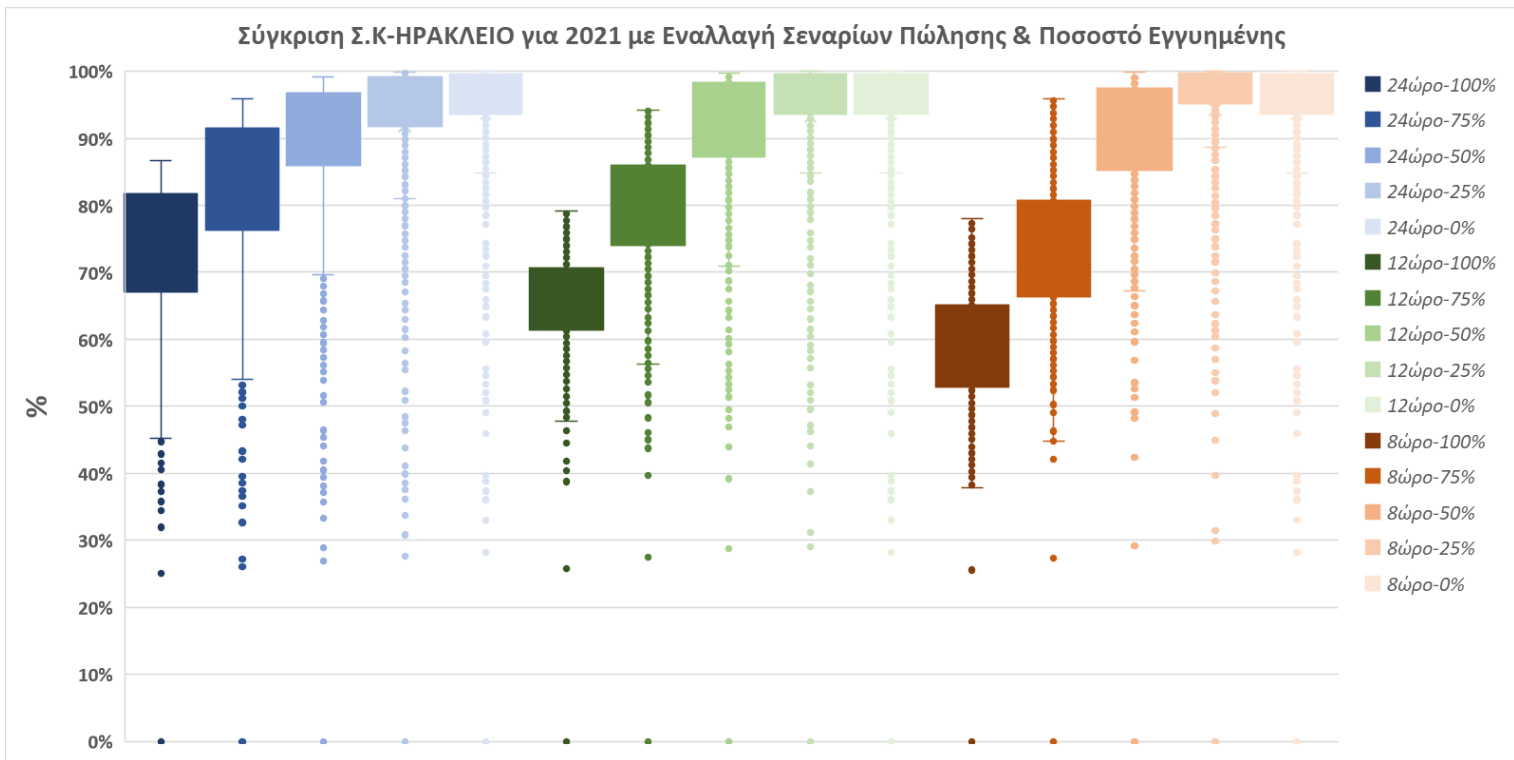


Διάγραμμα 32: Σ.Κ για Ηράκλειο 2019.

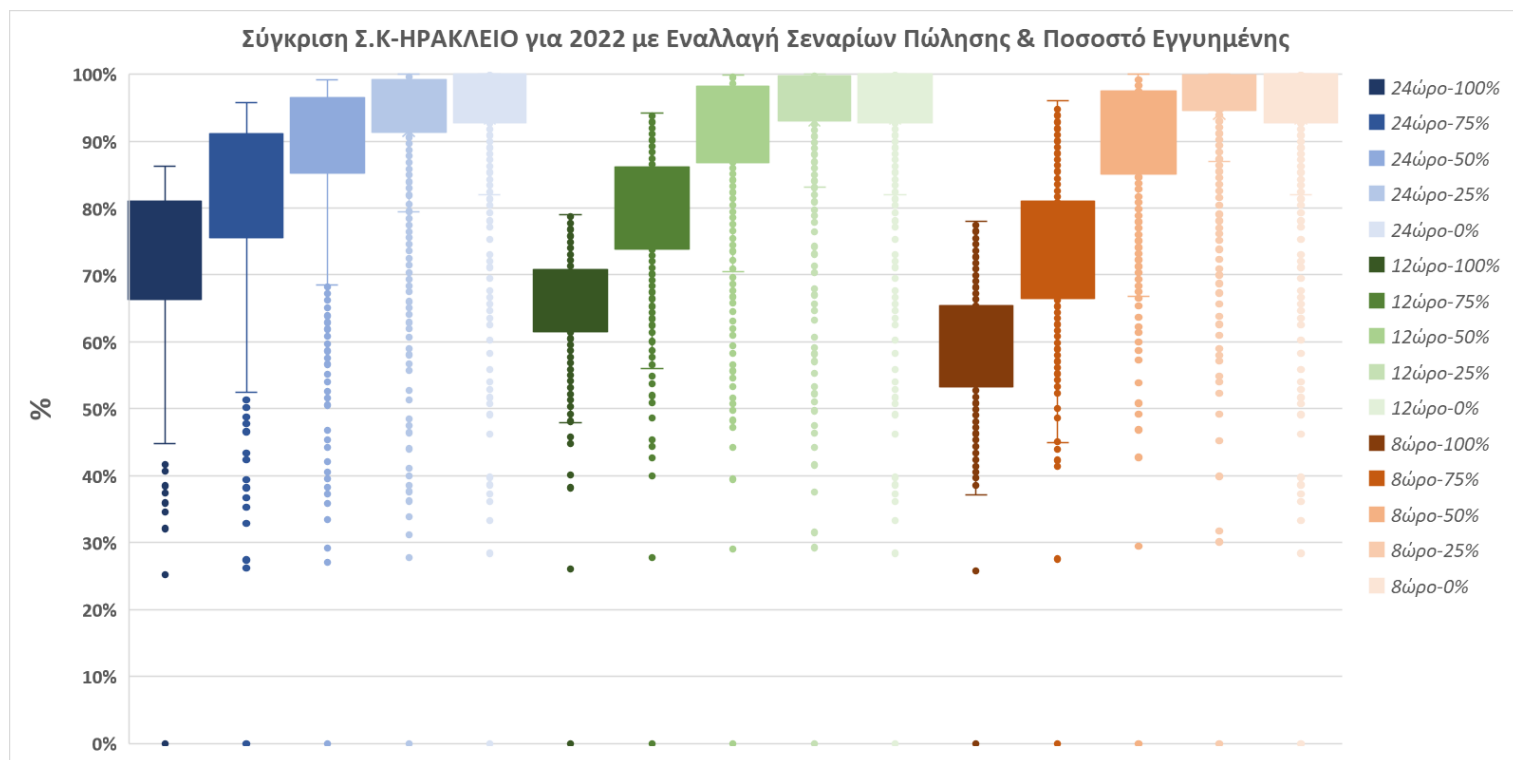




Διάγραμμα 33: Σ.Κ για Ηράκλειο 2020.



Διάγραμμα 34: Σ.Κ για Ηράκλειο 2021.

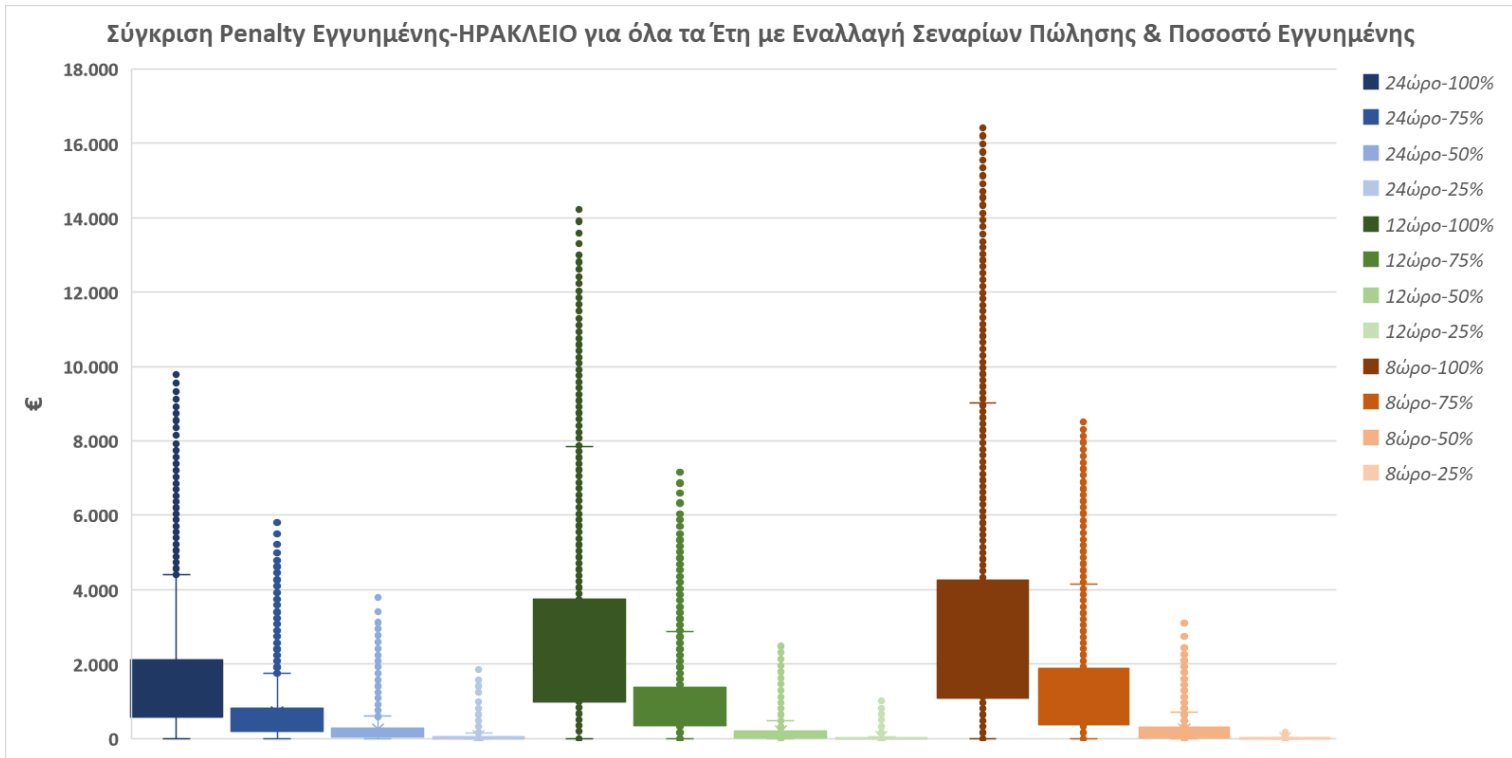


Στην περίπτωση του Ηρακλείου, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Στο συγκεκριμένο δείκτη, όπως προαναφέραμε, δεν παρατηρούμε μεγάλες διαφοροποιήσεις και τα 4 έτη της μελέτης μας δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, καθώς οι καταναλώσεις μας αποτελούν σταθερό παράγοντα και το μόνο που διαφοροποιείται από έτος σε έτος είναι η παραγωγή ενέργειας με βάση τις αλλαγές στο αιολικό και ηλιακό δυναμικό.
- Όπως παρατηρούμε στις παραπάνω απεικονίσεις του συνολικού Σ.Κ, το μοτίβο που ακολουθείται είναι ότι με την μείωση του ποσοστού εγγυημένης αυξάνεται σημαντικά και ο Σ.Κ. Ο συγκεκριμένος δείκτης ακολουθεί την συγκεκριμένη μορφή πάντα, όπως είδαμε και στην περίπτωση των Αθηνών.
- Στα σενάρια πώλησης τώρα, ο συνολικός Σ.Κ λαμβάνει καλύτερες τιμές στα υψηλά σενάρια πώλησης, δηλαδή 12ωρο και 24ωρο, για ποσοστά εγγυημένης 100% και 75%. Αυτό οφείλεται στο ότι επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ποσοστά στον Σ.Κ της εγγυημένης και στον συμψηφισμό τους παρουσιάζονται και μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης στον συνολικό. Στα υπόλοιπα 3 ποσοστά εγγυημένης (50%,25% και 0%) προκύπτουν αμελητέες διαφοροποιήσεις καθώς το συνολικό ποσοστό κάλυψης είναι ήδη πολύ υψηλό.

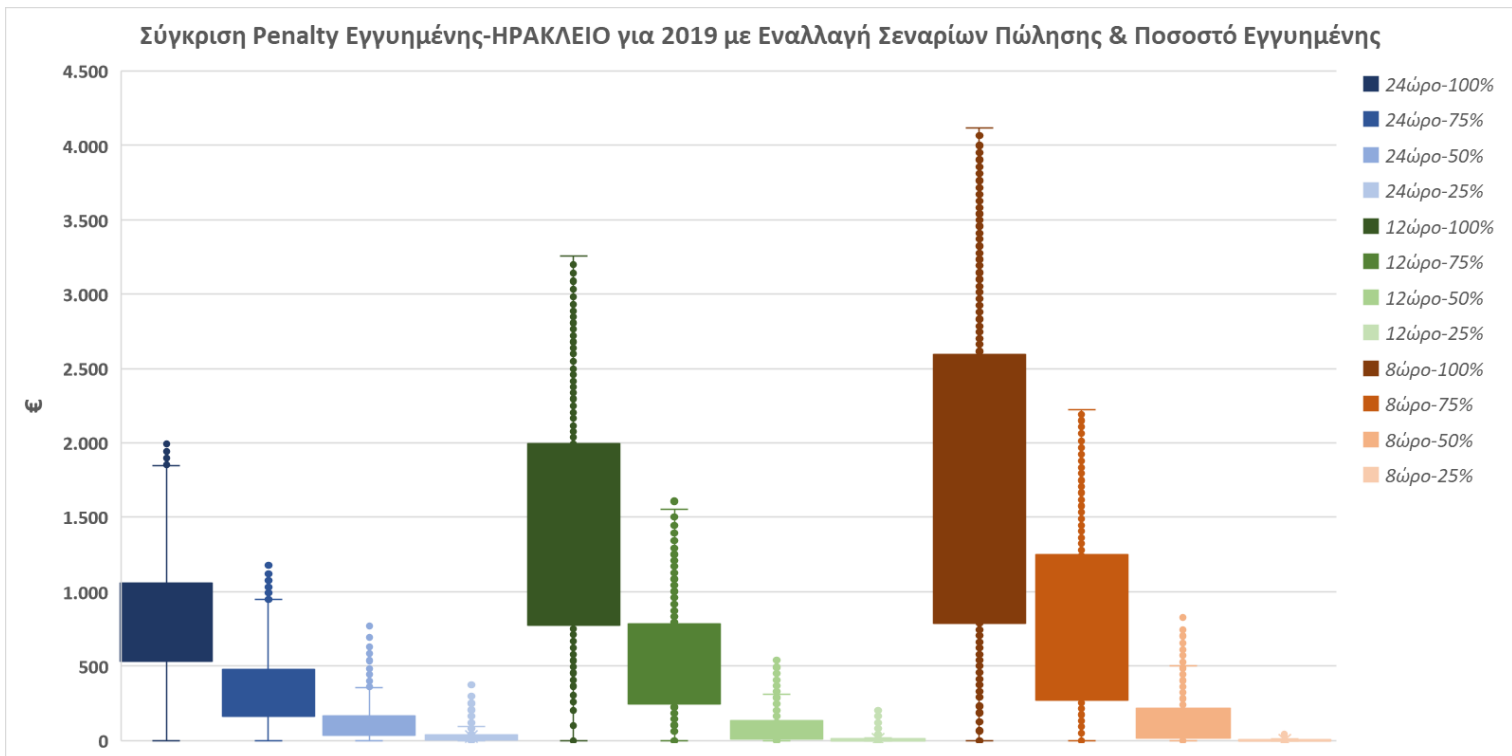
## 7.7 Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο

Παρακάτω στο Διάγραμμα 36 δίνεται η συνολική αποτύπωση.

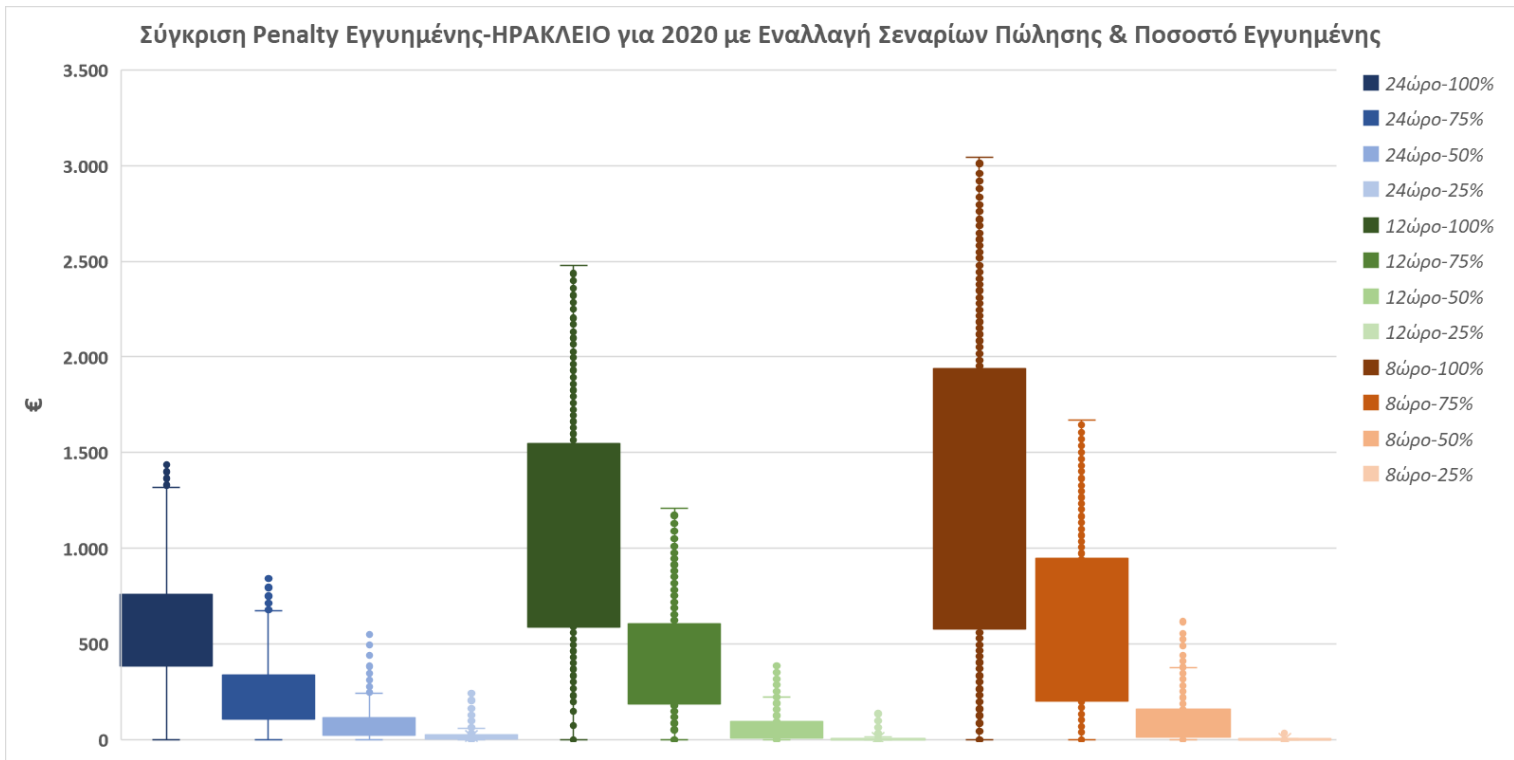


Διάγραμμα 36: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο.

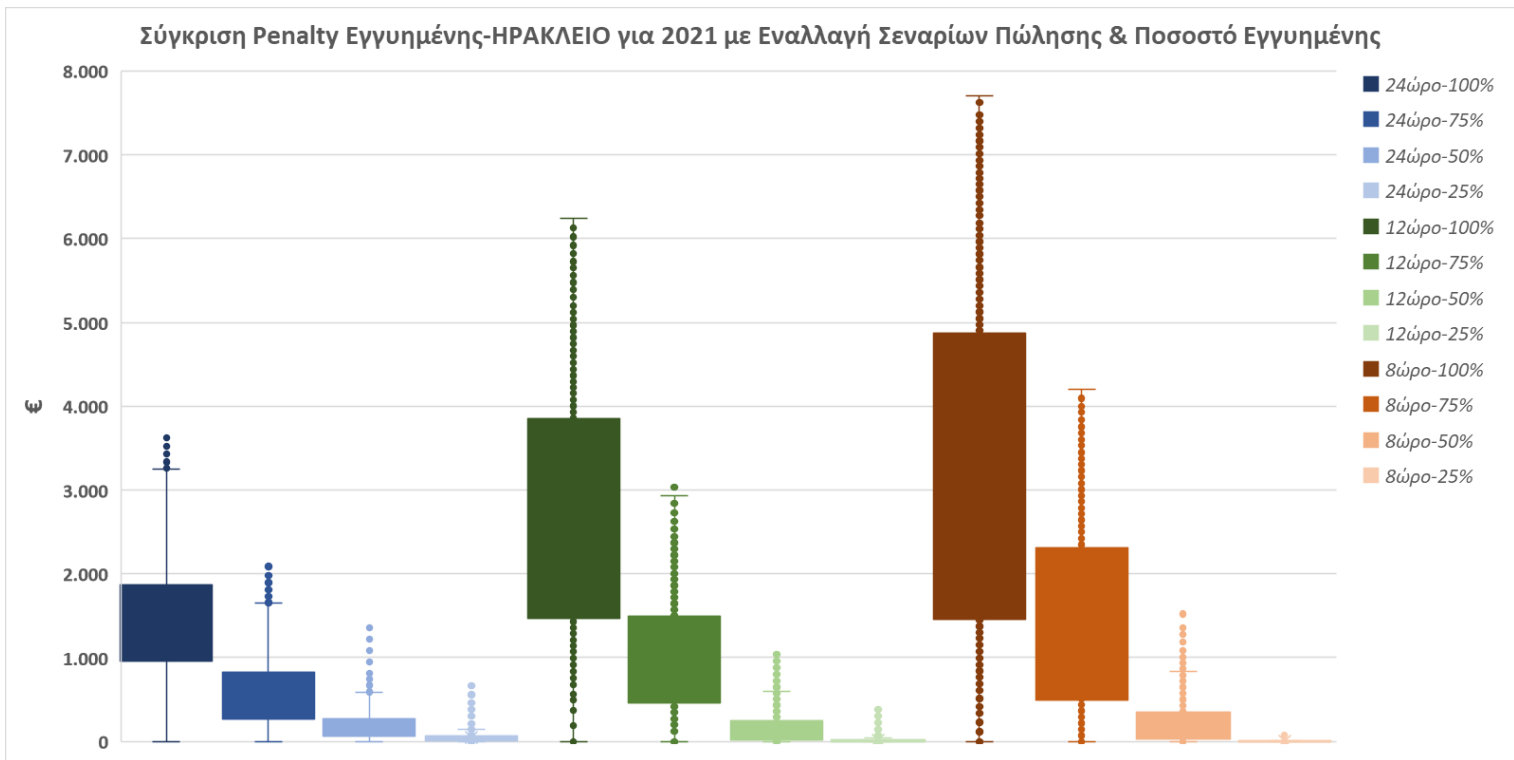
Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



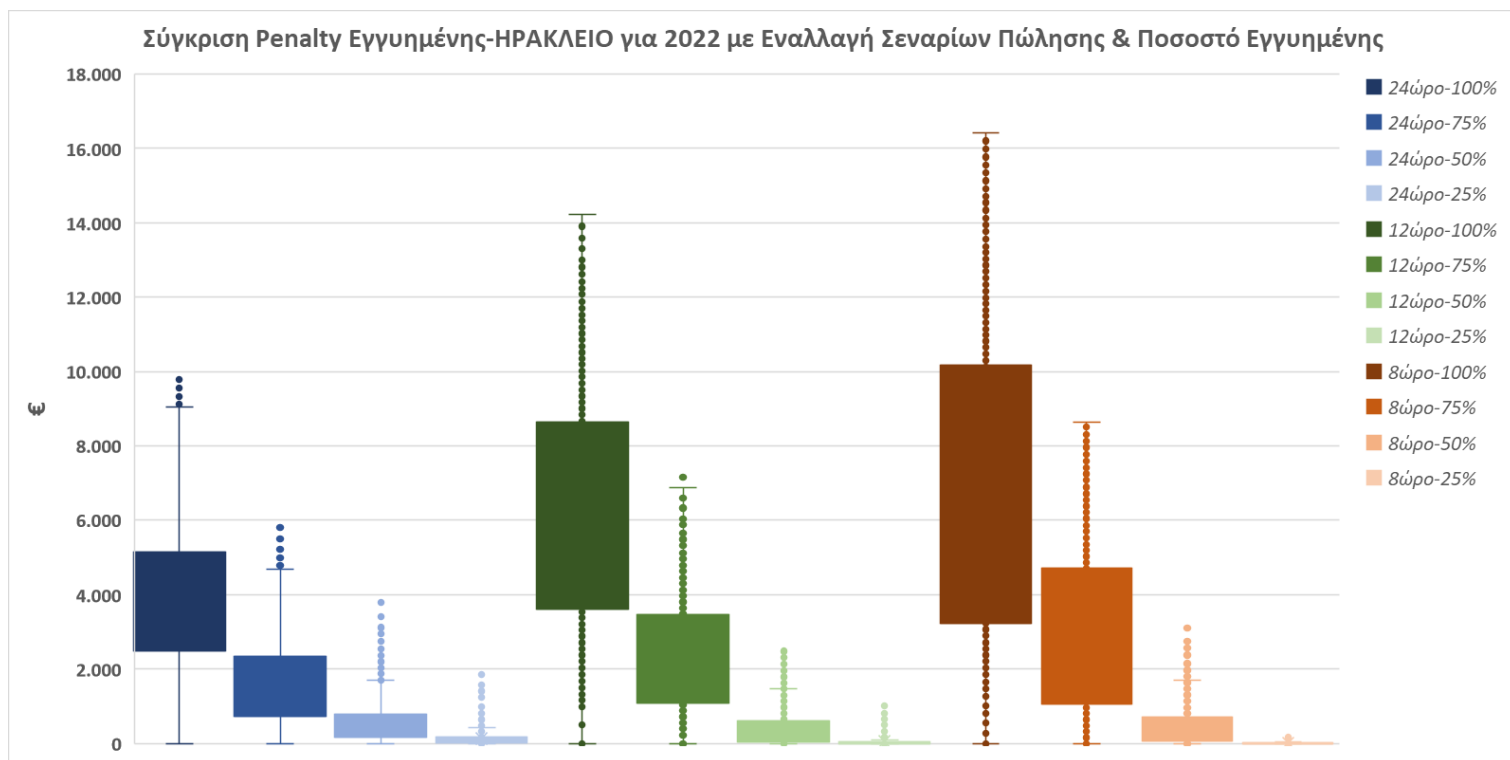
Διάγραμμα 37: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2019.



Διάγραμμα 38: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2020.



Διάγραμμα 39: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2021.



Διάγραμμα 40: Penalty Εγγυημένης για Ηράκλειο 2022.

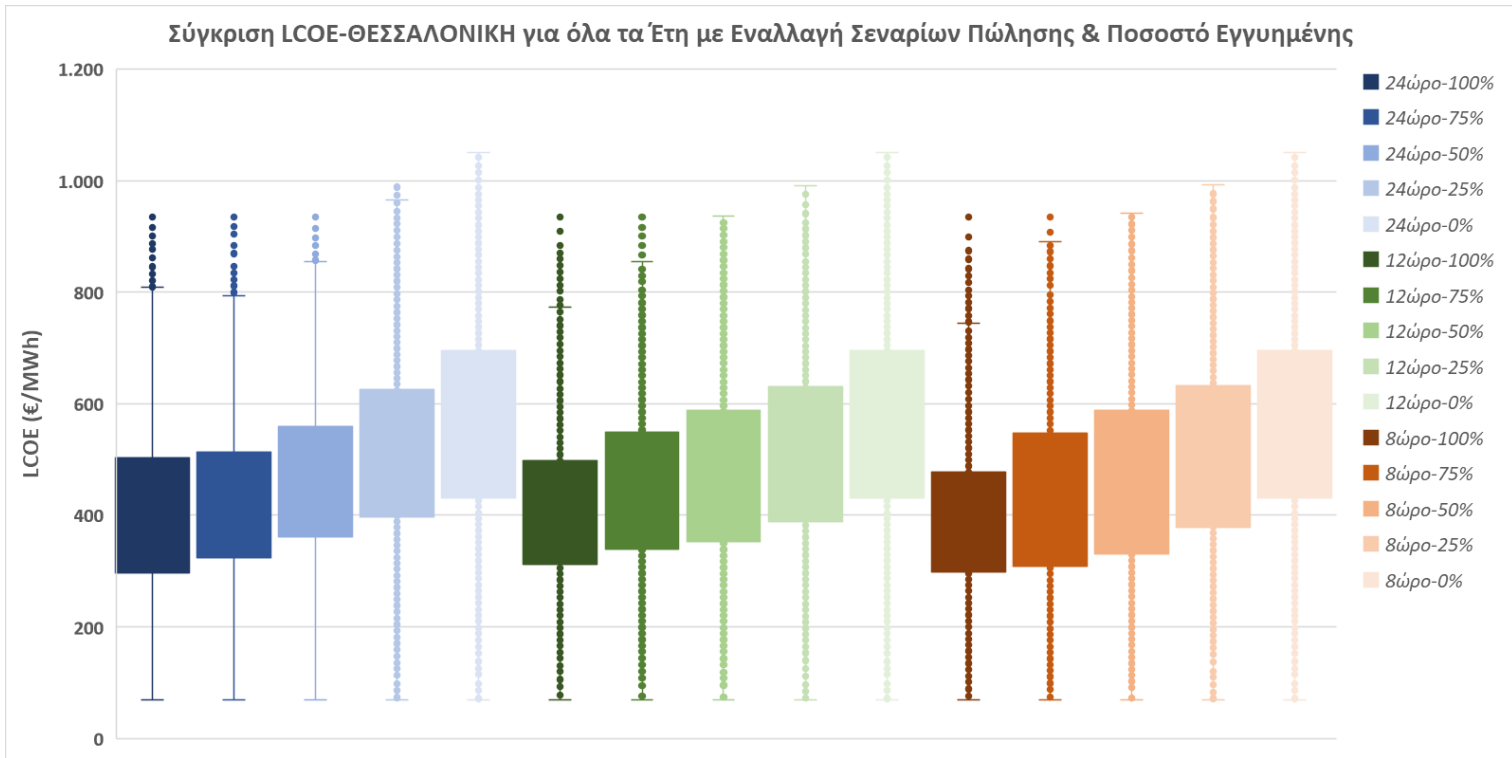
Ο δείκτης του Penalty Εγγυημένης μας δίνει μια οπτική για το ποιο σενάριο λειτουργίας μας δίνει τις μεγαλύτερες επιβαρύνσεις.

Στην περίπτωση του Ηρακλείου, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Για τον συγκεκριμένο δείκτη όσο μειώνεται το ποσοστό εγγυημένης, όπως είναι λογικό μειώνονται σημαντικά και οι τιμές των προστίμων, εφόσον επιτυγχάνονται πιο εύκολα τα ποσά που εγγυούμαστε.
- Διαφοροποιήσεις όπως είναι λογικό παρατηρούμε στα ποσά (σε Ευρώ) καθώς καθορίζονται από τα έτη μας.
- Ομοίως, και για την πόλη του Ηρακλείου, παρατηρούμε ότι τα ποσοστά 75%, 50% και 25%, για κάθε σενάριο πώλησης, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Ένα εύρημα που προκύπτει είναι ότι σε ποσοστό 100% εγγυημένης, παρατηρούμε ότι για την 24ωρη πώληση λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές penalty, ενώ για την 8ωρη πώληση τις υψηλότερες.

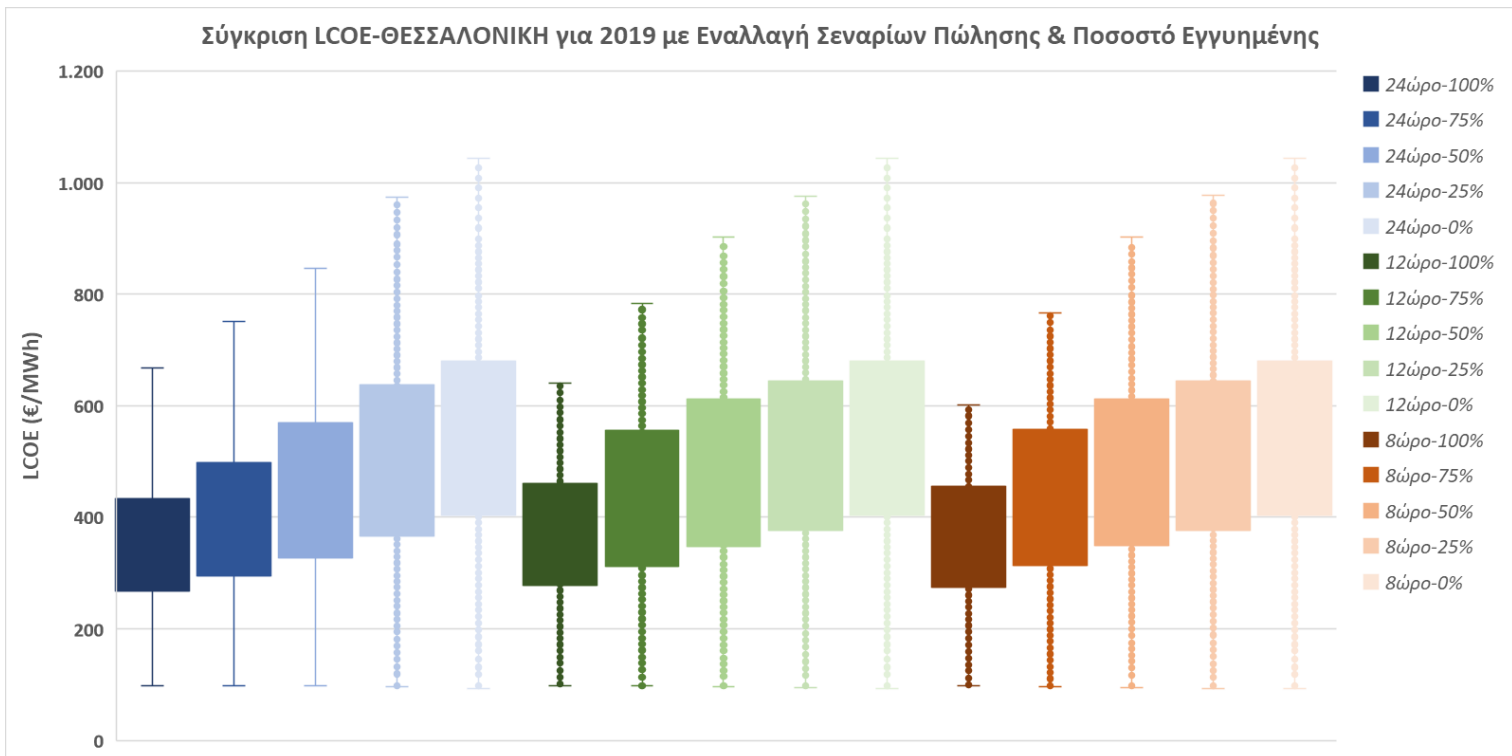
## 7.8 Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής LCOE για Θεσσαλονίκη

Παρακάτω στο Διάγραμμα 41 δίνεται η συνολική αποτύπωση.

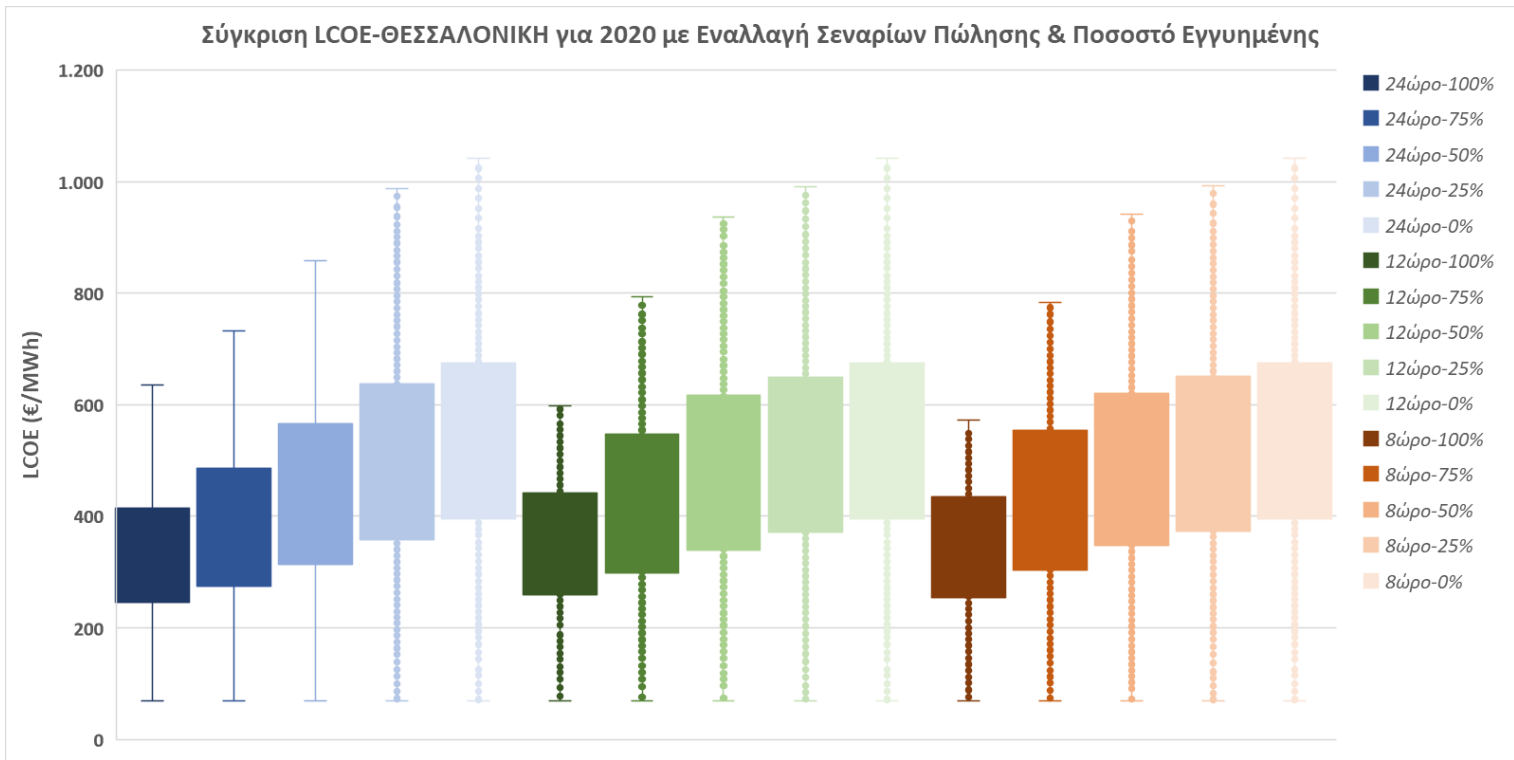


Διάγραμμα 41: Σύγκριση συνολικού LCOE για Θεσσαλονίκη.

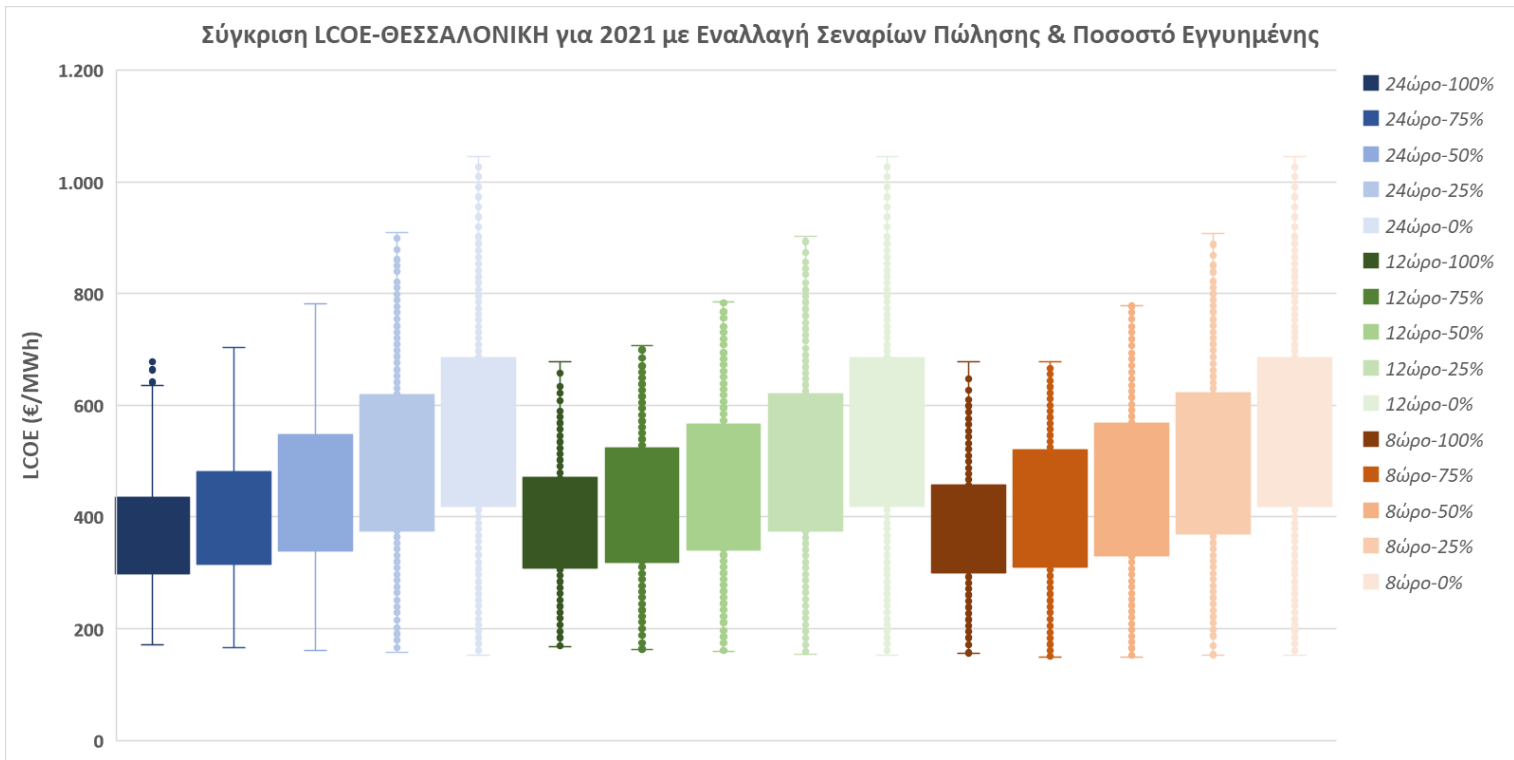
Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



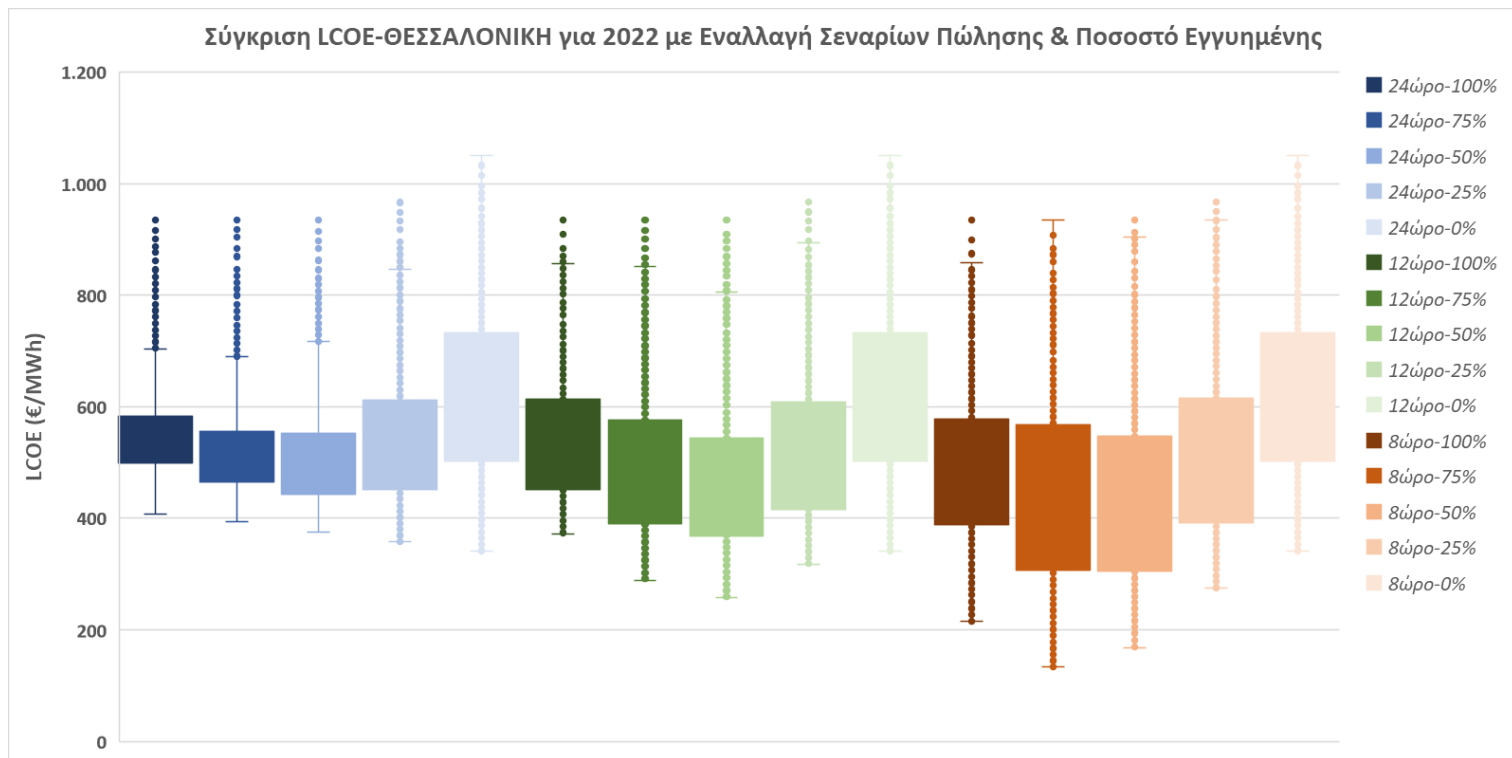
Διάγραμμα 42: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2019.



Διάγραμμα 43: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2020.



Διάγραμμα 44: Σύγκριση LCOE για Θεσσαλονίκη 2021.



Αρχικά αξίζει να επισημανθεί ότι η πόλη της Θεσσαλονίκης εμφανίζει τη χαμηλότερη παραγωγή ενέργειας από τις 3 πόλεις που μελετάμε, καθώς διαθέτει το πιο χαμηλής ποιότητας αιολικό και ηλιακό δυναμικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σταθμισμένα κόστη παραγωγής ενέργειας (LCOE) να είναι υψηλότερα και συνεπώς το σύστημα μας να έχει πολύ λιγότερα κέρδη σε σχέση με των δύο παραπάνω πόλεων που είδαμε.

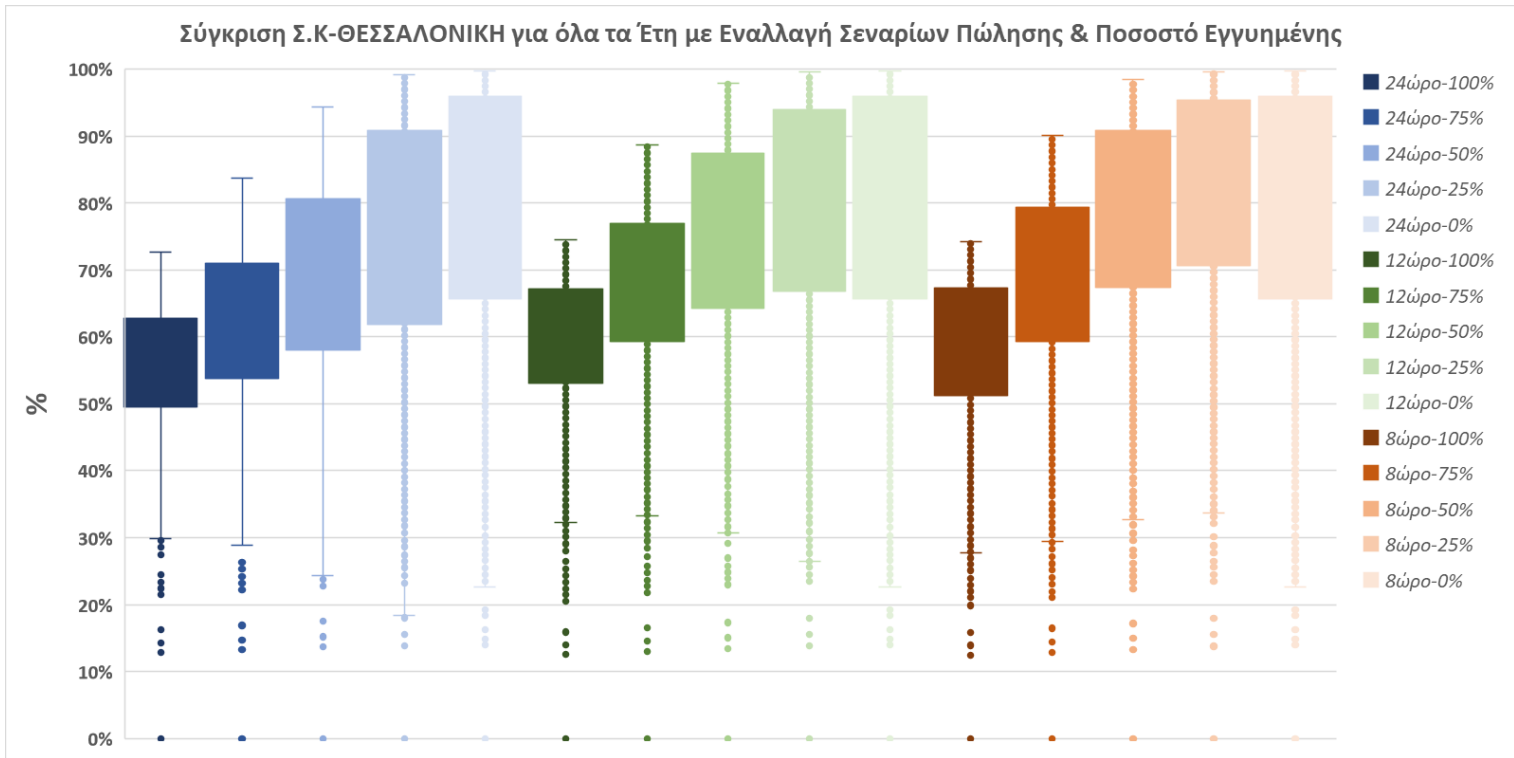
Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως παρατηρείται η πόλη της Θεσσαλονίκης μας δίνει μέτριους δείκτες LCOE, καθώς κανένα σενάριο και κανένα ποσοστό εγγυημένης δεν παρουσιάζει κέρδη για το σύστημα μας. Για το μοτίβο που ακολουθούν τα αποτελέσματά μας παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται το ποσοστό εγγυημένης τόσο αυξάνει το σταθμισμένο κόστος λαμβάνουμε, γεγονός το οποίο είναι λογικό, εφόσον μειώνεται η πώληση ενέργειας προς το δίκτυο, η οποία επιφέρει κέρδη.
- Όσον αφορά την βέλτιστη λύση διαπιστώνουμε ότι η πόλη της Θεσσαλονίκης παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα στην δώρη πώληση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του 2022, το οποίο και πάλι επηρεάζει το συνολικό διάγραμμα περισσότερο, καθώς εκείνη την χρονιά στην συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζονται οι καλύτερες τιμές σταθμισμένου κόστους και τα ποσοστά τα οποία μας ενδιαφέρουν είναι ως πρώτο το 75% και έπειτα το 100% και το 50%.
- Τα υπόλοιπα έτη (2019,2020 και 2021) ακολουθούν την ίδια λογική με το συνολικό και ανάμεσα στα σενάρια πώλησης οι διαφοροποιήσεις είναι ελάχιστες με αυτές του δώρου να είναι πολύ λίγο καλύτερες.



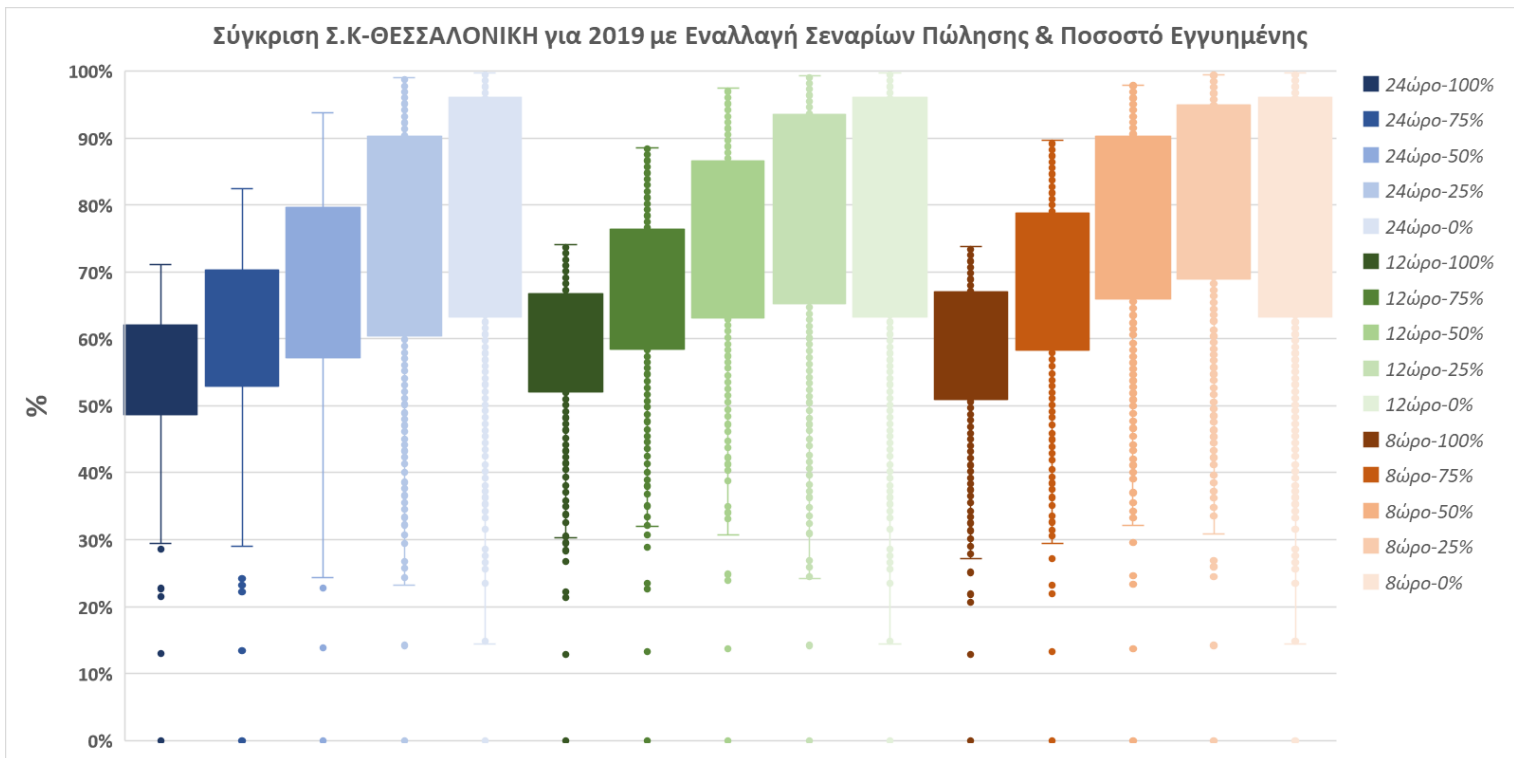
## 7.9 Συνολικός Συντελεστής Κάλυψης για Θεσσαλονίκη

Παρακάτω στο Διάγραμμα 46 δίνεται η συνολική αποτύπωση.

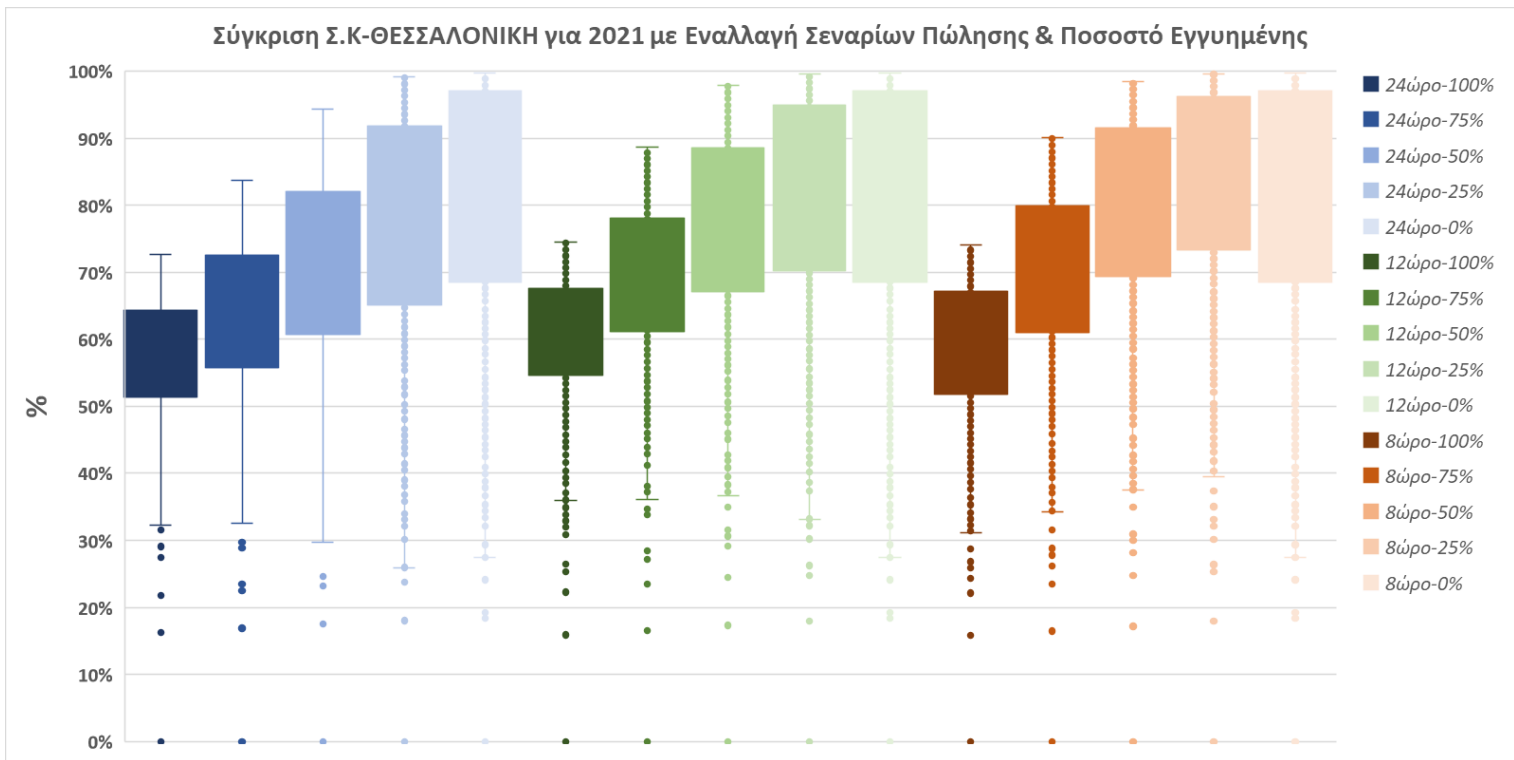
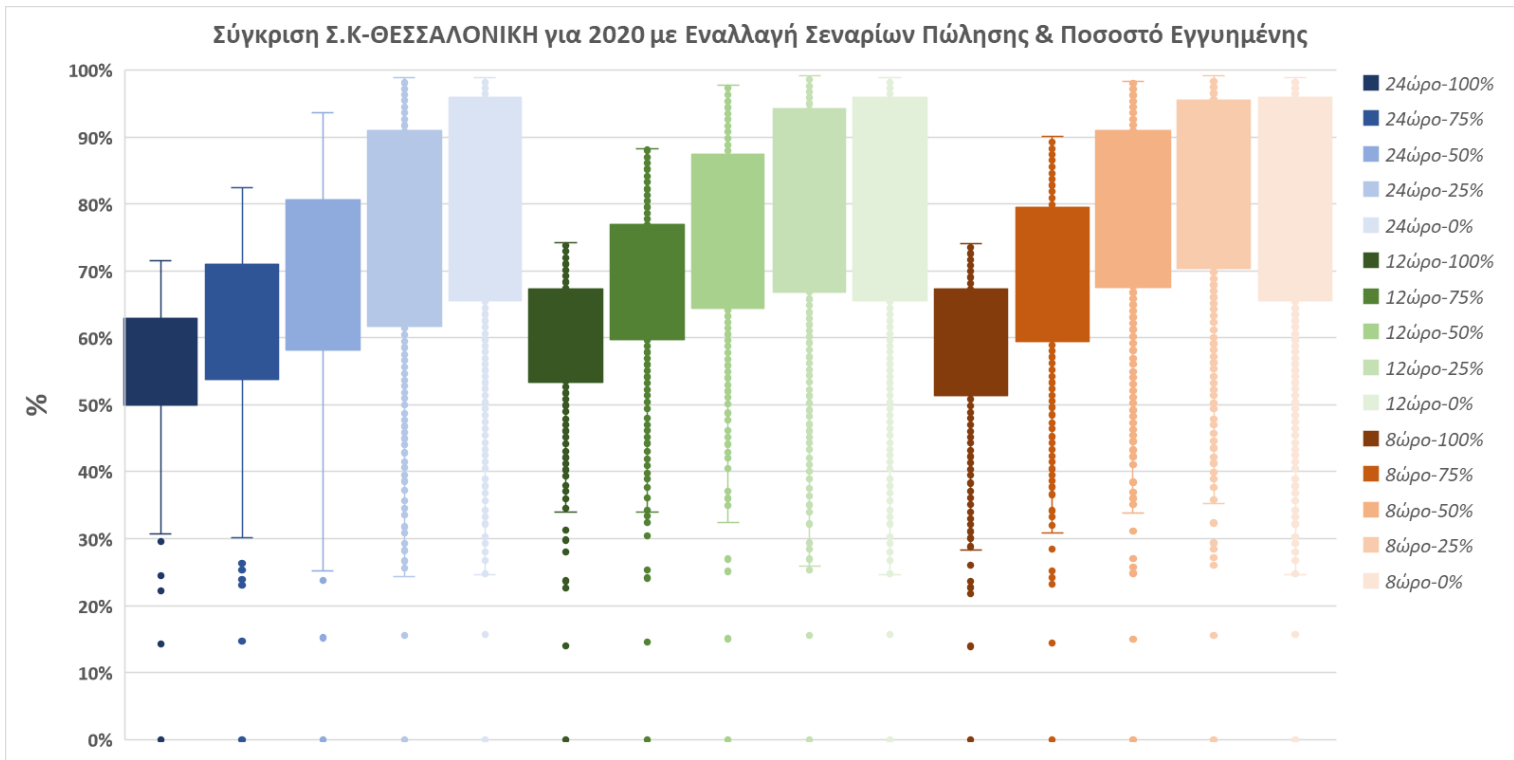


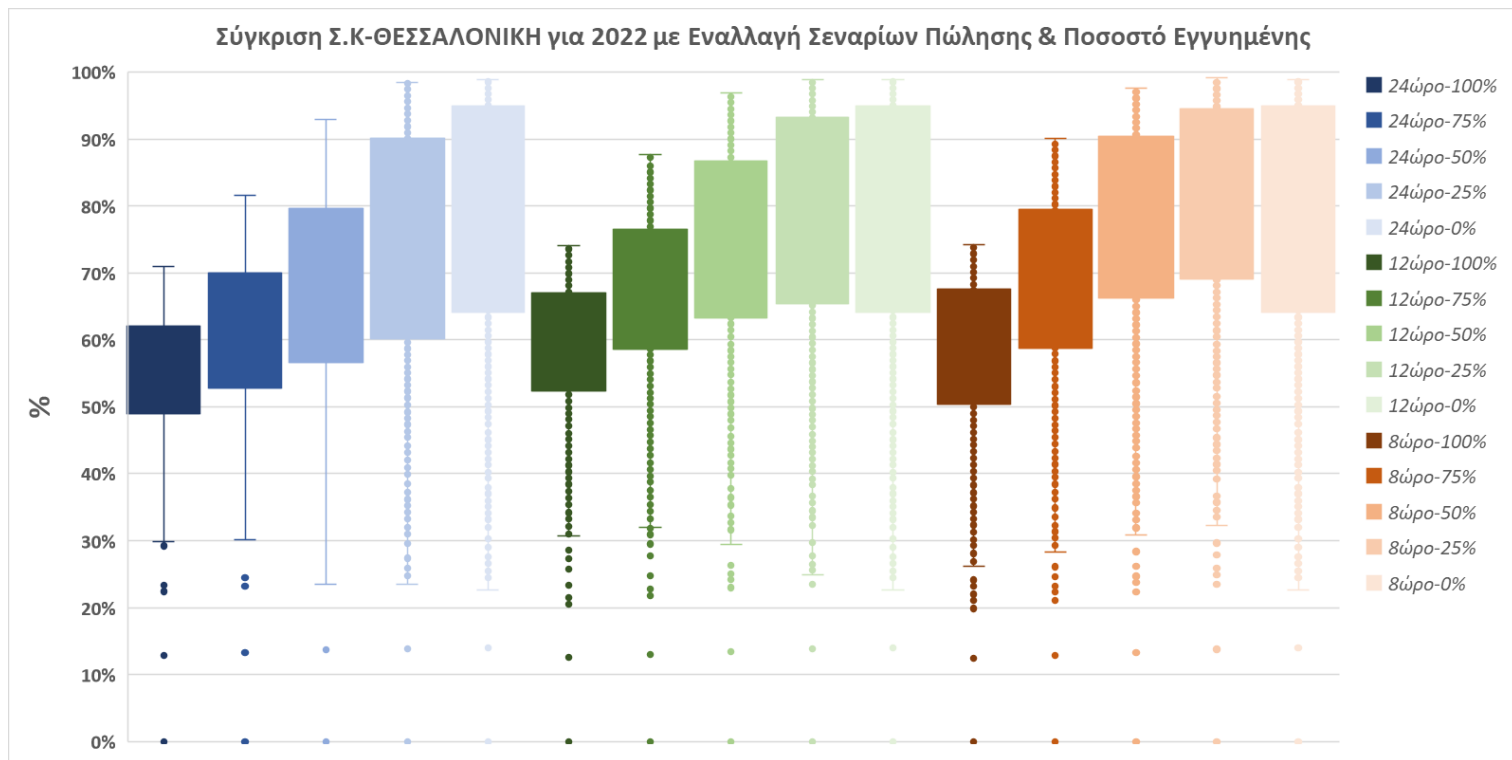
Διάγραμμα 46: Συνολική αποτύπωση Σ.Κ για Θεσσαλονίκη.

Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 47: Σ.Κ για Θεσσαλονίκη 2019.



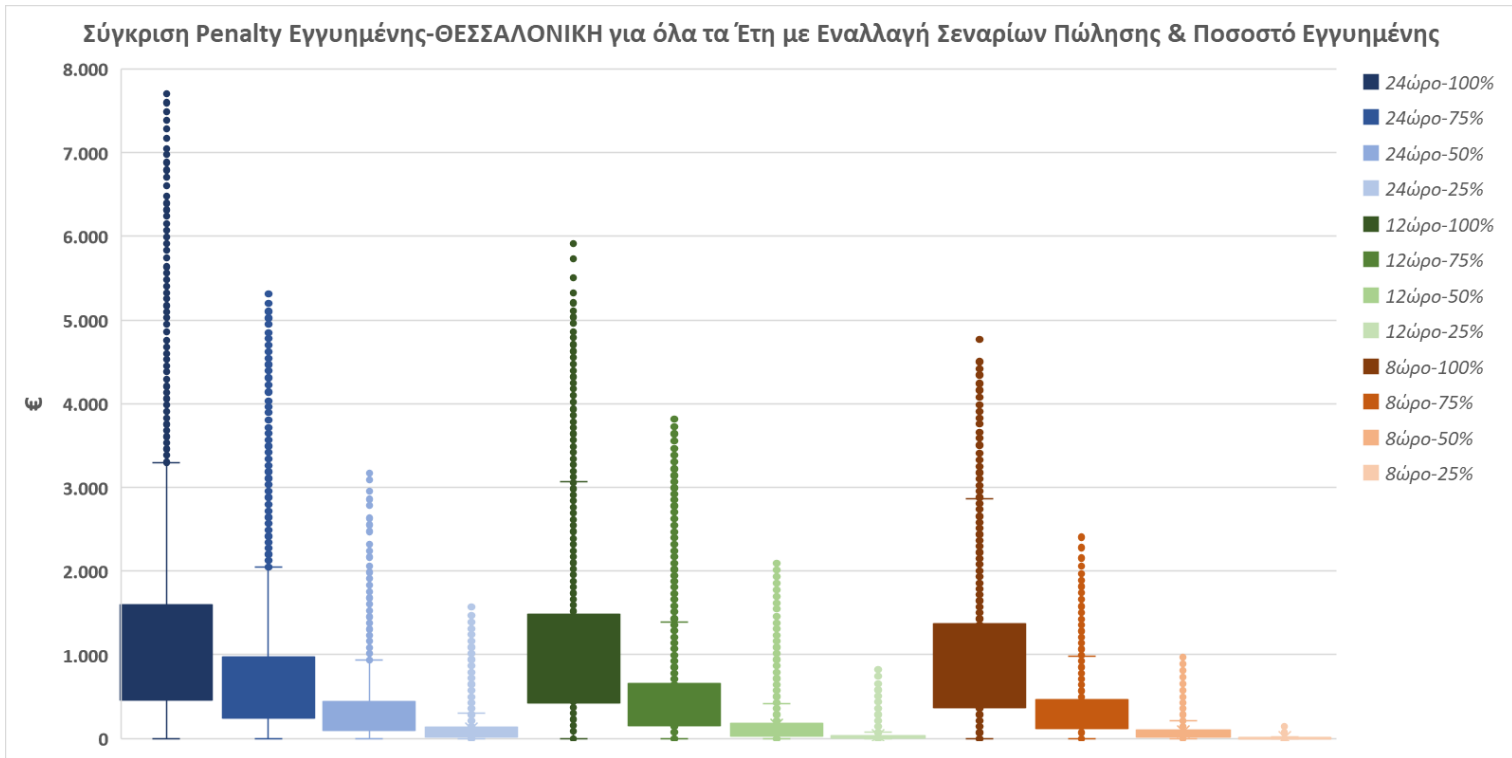


Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Στο συγκεκριμένο δείκτη, όπως προαναφέραμε, δεν παρατηρούμε μεγάλες διαφοροποιήσεις και τα 4 έτη της μελέτης μας δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, καθώς οι καταναλώσεις μας αποτελούν σταθερό παράγοντα και το μόνο που διαφοροποιείται από έτος σε έτος είναι η παραγωγή ενέργειας με βάση τις αλλαγές στο αιολικό και ηλιακό δυναμικό.
- Όπως παρατηρούμε στις παραπάνω απεικονίσεις του συνολικού Σ.Κ., το μοτίβο που ακολουθείται είναι ότι με την μείωση του ποσοστού εγγυημένης αυξάνεται σημαντικά ο Σ.Κ. Ο συγκεκριμένος δείκτης ακολουθεί την συγκεκριμένη μορφή πάντα, όπως είδαμε και στην περίπτωση των προηγούμενων πόλεων.
- Στα σενάρια πώλησης τώρα ο συνολικός Σ.Κ. λαμβάνει καλύτερες τιμές στην δωρη πώληση, καθώς η παραγωγή μας είναι χαμηλή γενικά, οπότε μεγαλύτερες τιμές Σ.Κ. οικίας ανεβάζουν σημαντικά και τον συνολικό Σ.Κ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επίσης διαπιστώνουμε ότι ο συνολικός Σ.Κ. δεν φτάνει ποτέ τα επίπεδα της πλήρους αυτονομίας, γεγονός το οποίο και πάλι έχει να κάνει με το δυναμικό της περιοχής που μελετάμε.

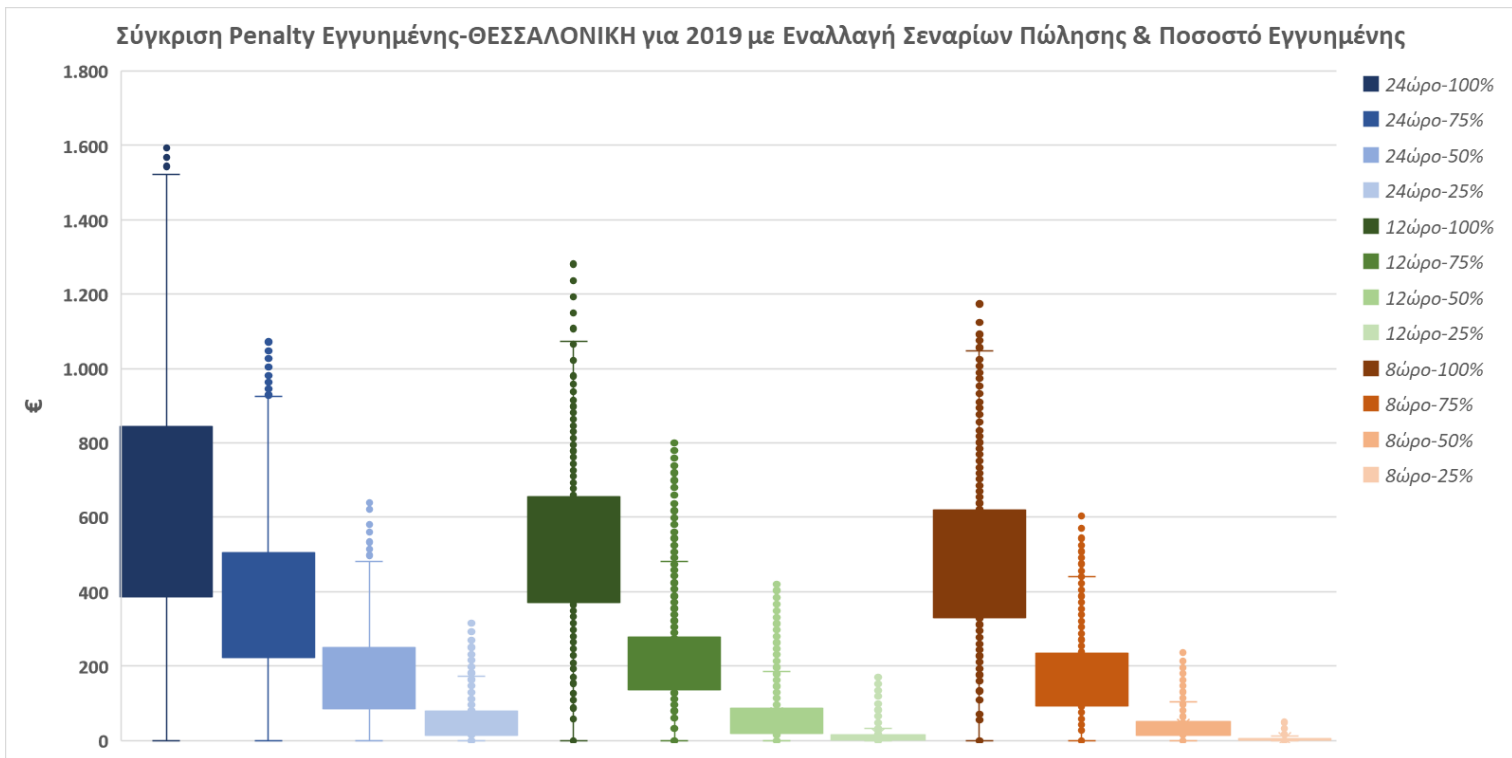
## 7.10 Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη

Παρακάτω στο Διάγραμμα 51 δίνεται η συνολική αποτύπωση.

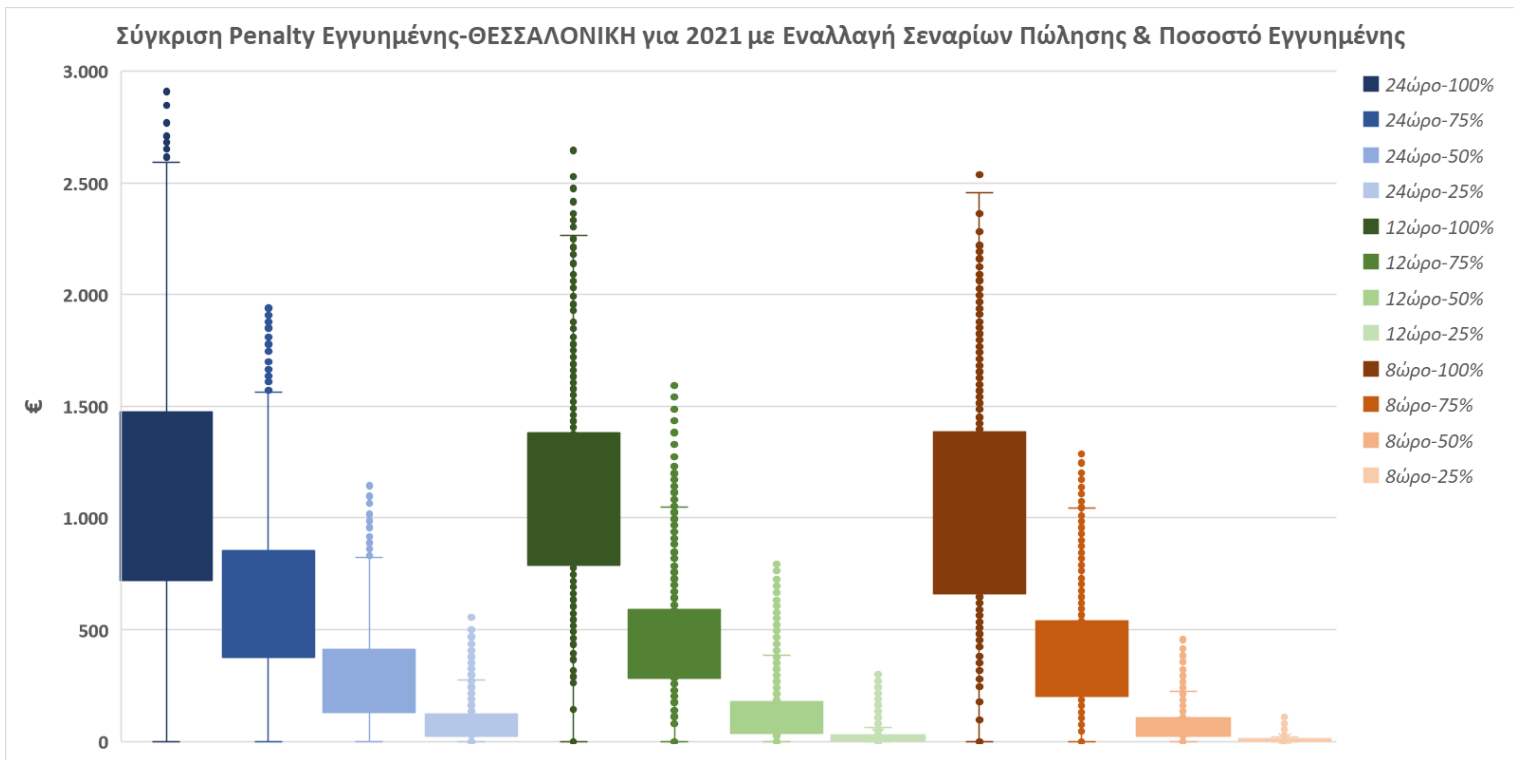
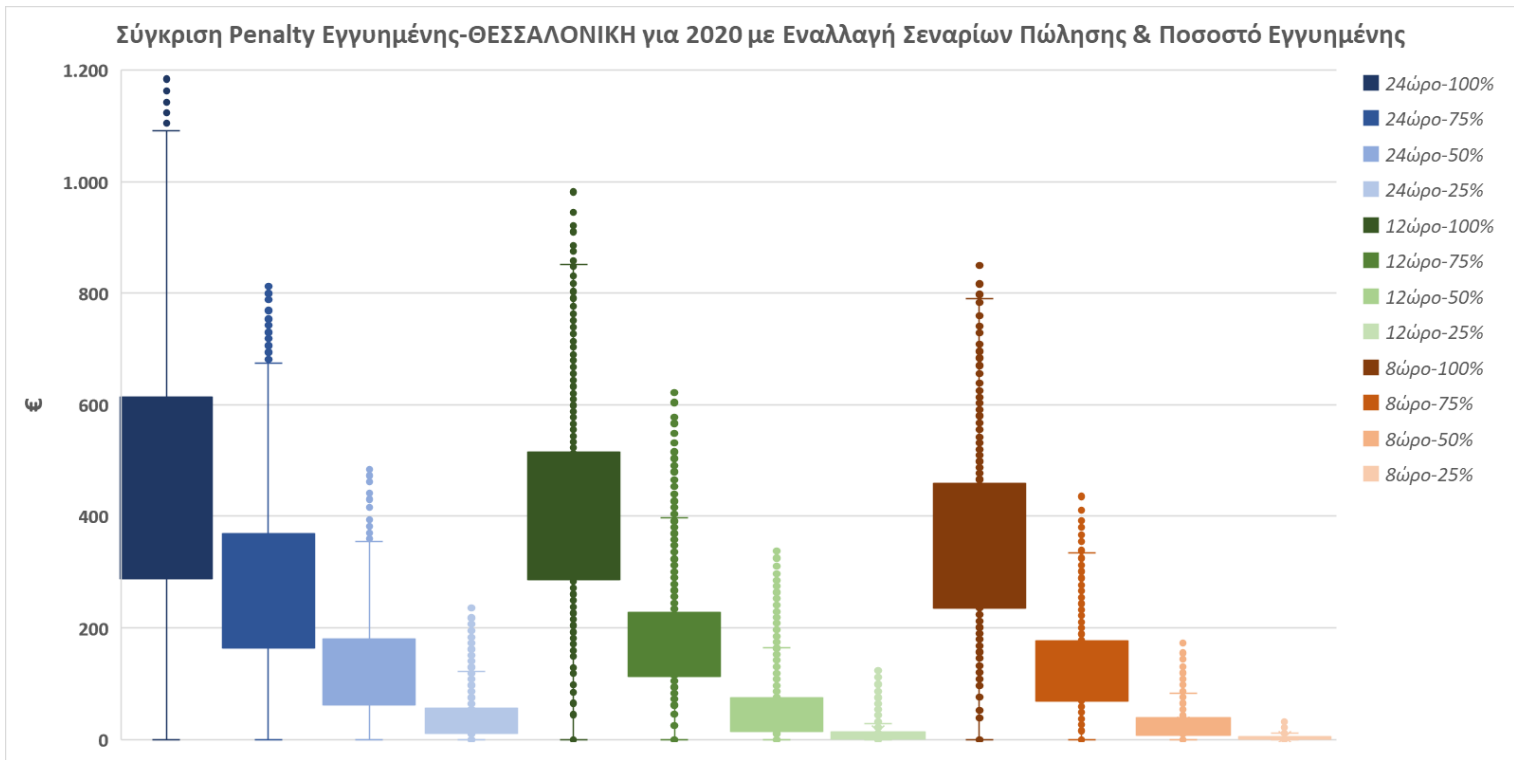


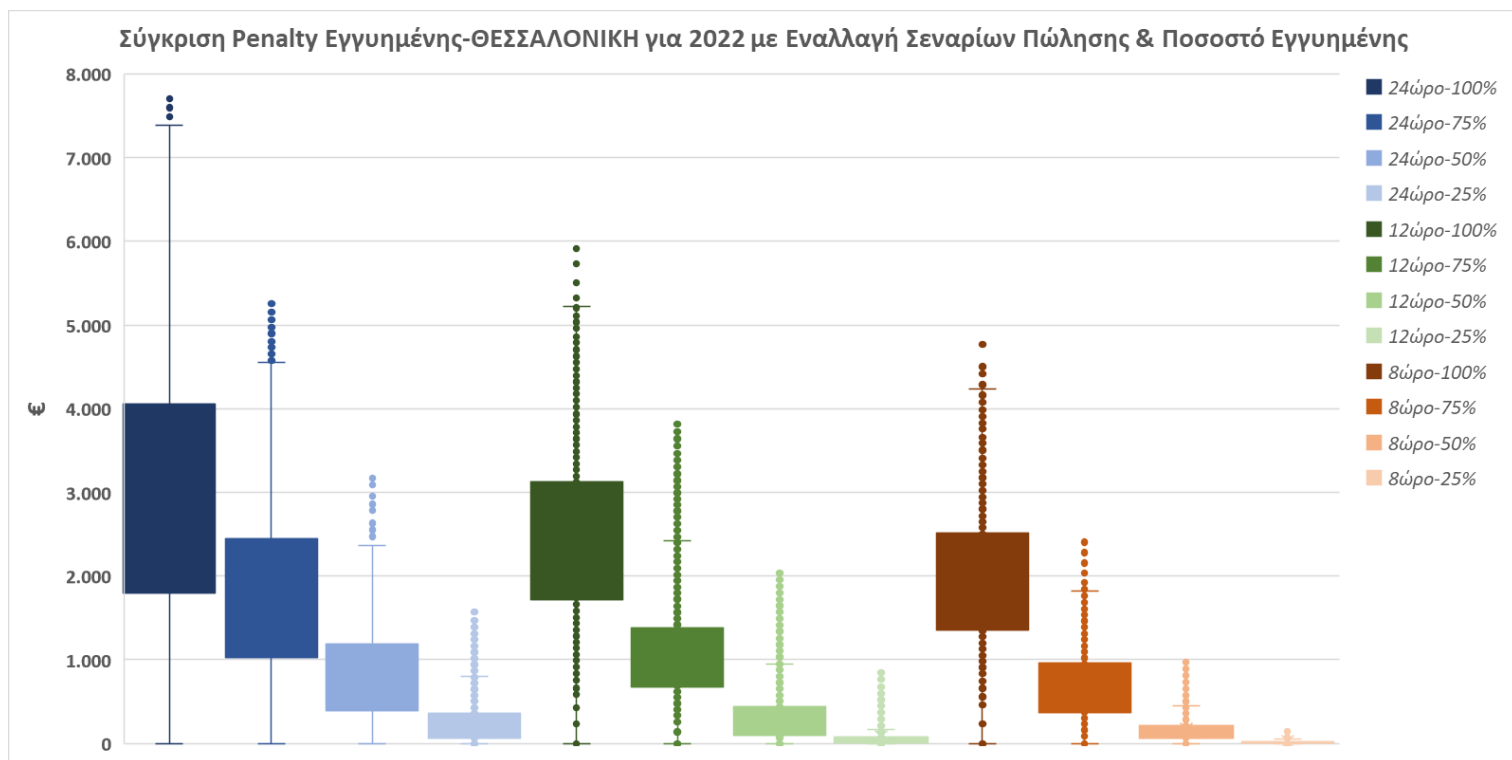
Διάγραμμα 51: Συνολική αποτύπωση Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη.

Ομοίως αναλύονται και οι 4 διαφορετικές χρονολογίες που μελετάμε όπως φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 52: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2019.





Διάγραμμα 55: Penalty Εγγυημένης για Θεσσαλονίκη 2022.

Ο δείκτης του Penalty Εγγυημένης μας δίνει μια οπτική για το πιο σενάριο λειτουργίας μας δίνει της μεγαλύτερες επιβαρύνσεις.

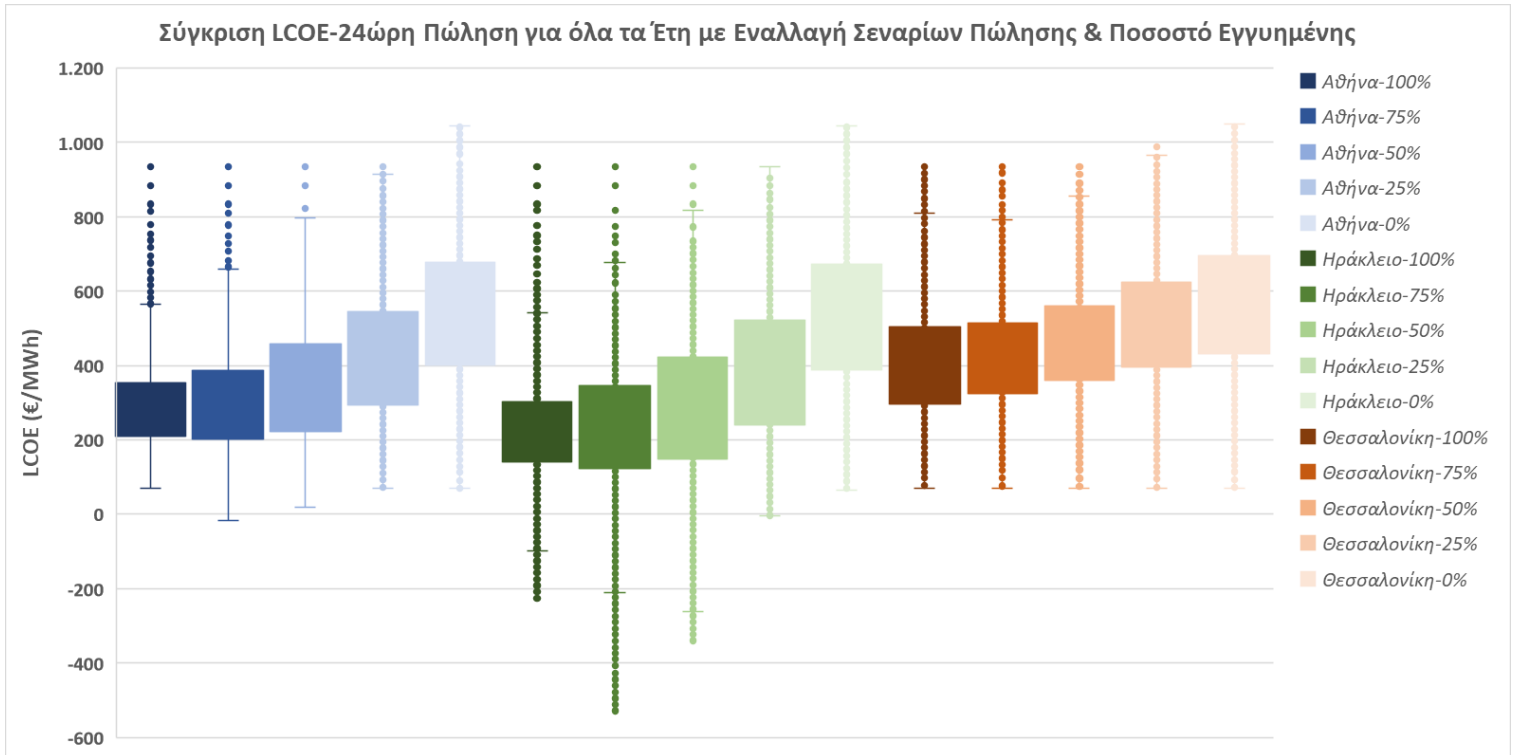
Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, η οποία αποτυπώνεται παραπάνω, αντλούμε τα εξής συμπεράσματα:

- Για τον συγκεκριμένο δείκτη όσο μειώνεται το ποσοστό εγγυημένης, όπως είναι λογικό μειώνονται σημαντικά και οι τιμές των προστίμων, εφόσον επιτυγχάνονται πιο εύκολα τα ποσά που εγγυούμαστε.
- Διαφοροποιήσεις όπως είναι λογικό παρατηρούμε στα ποσά (σε Ευρώ) καθώς αυτά καθορίζονται από τα υπό εξέταση έτη .
- Στη συγκεκριμένη περιοχή όπως φαίνεται τα ποσά των επιβαρύνσεων είναι σαφώς μεγαλύτερα για τα σενάρια με μεγαλύτερη πώληση ενέργειας. Γεγονός το οποίο συμβαίνει λόγω της χαμηλής παραγωγής ενέργειας και έτσι το σύστημα μας δεν μπορεί να καλύψει την 24ωρη πώληση αλλά και να προσφέρει στις ιδιοκαταναλώσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγαλύτερα penalties για πολύωρα σενάρια πώλησης και χαμηλότερα για λιγότερες ώρες πώλησης.

## 7.11 Σύγκριση Περιοχών - LCOE

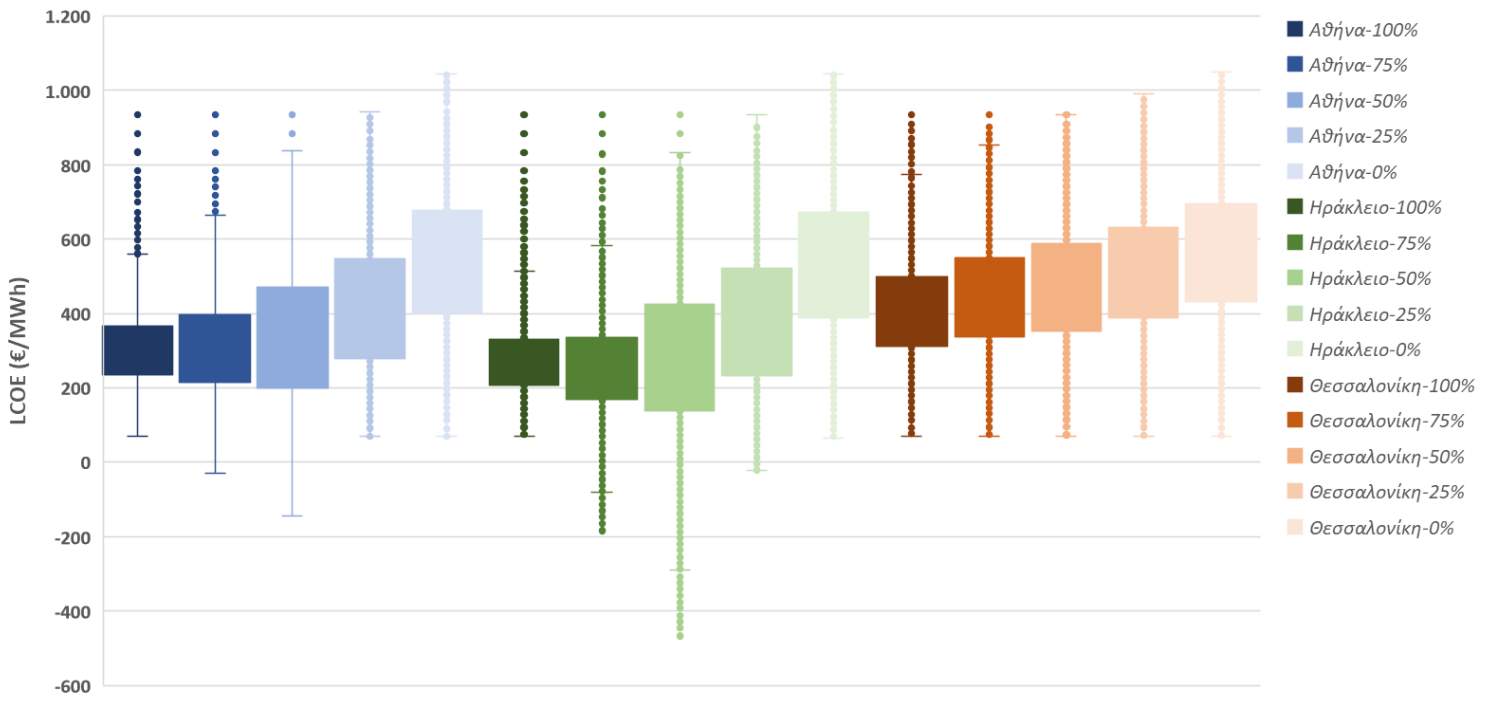
Σε συνέχεια των αναλύσεων της κάθε περιοχής ξεχωριστά, θα προχωρήσουμε στη σύγκριση μεταξύ τους. Οι μεταβλητές οι οποίες θα καθορίσουν τις διαφοροποιήσεις στα διαγράμματα μας παραμένουν τα σενάρια πώλησης και το ποσοστό εγγυημένης. Τα διαγράμματα τα οποία θα αποδοθούν θα είναι τρία, στα οποία θα αλλάζει το σενάριο πώλησης, ενώ θα διαθέτουν όλες τις χρονολογίες τις οποίες μελετάμε.

Αρχικά θα ασχοληθούμε με το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας (LCOE) για το οποίο έχουμε τα τρία παρακάτω διαγράμματα:



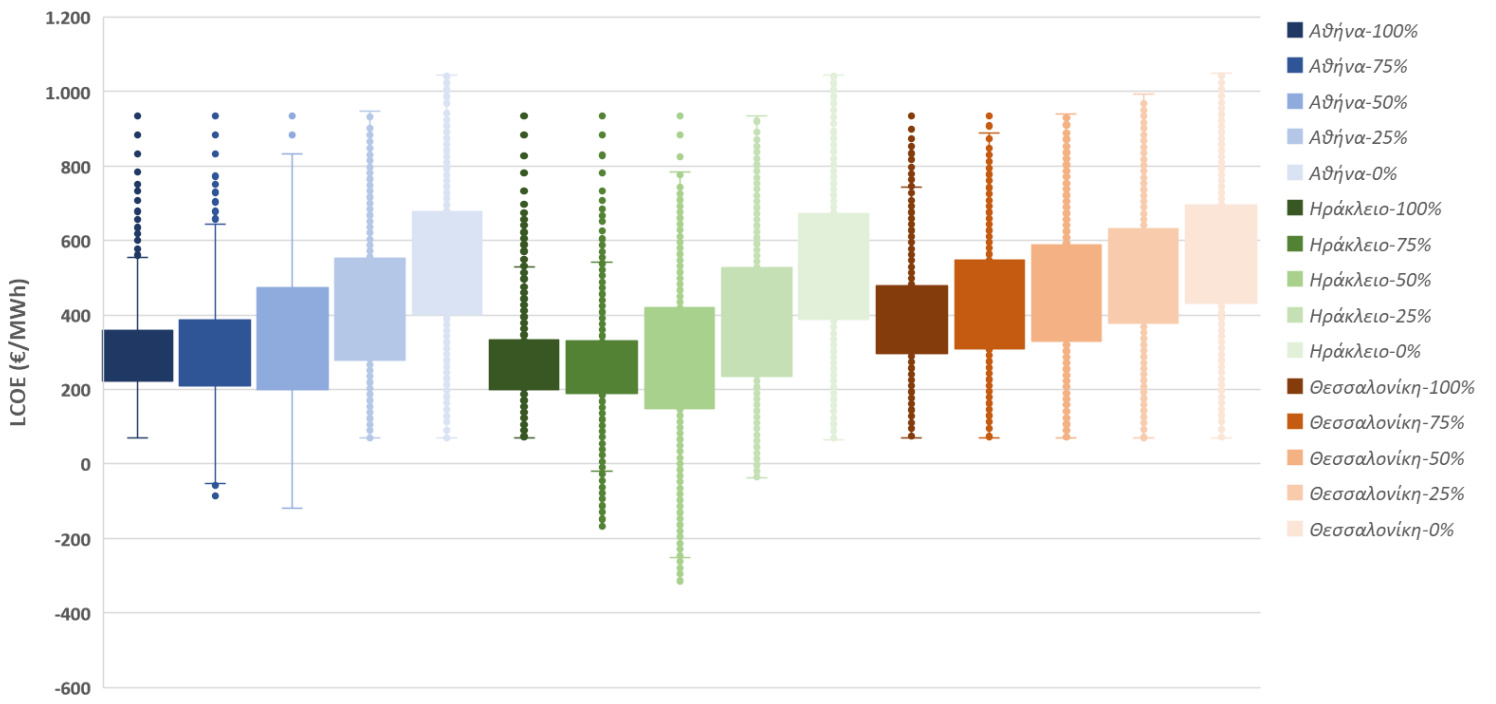
Διάγραμμα 56: Σύγκριση LCOE για 24ώρη πώληση.

Σύγκριση LCOE-12ώρη Πώληση για όλα τα Έτη με Εναλλαγή Σεναρίων Πώλησης & Ποσοστό Εγγυημένης



Διάγραμμα 57: Σύγκριση LCOE για 12ώρη πώληση.

Σύγκριση LCOE-8ώρη Πώληση για όλα τα Έτη με Εναλλαγή Σεναρίων Πώλησης & Ποσοστό Εγγυημένης



Διάγραμμα 58: Σύγκριση LCOE για 8ώρη πώληση.

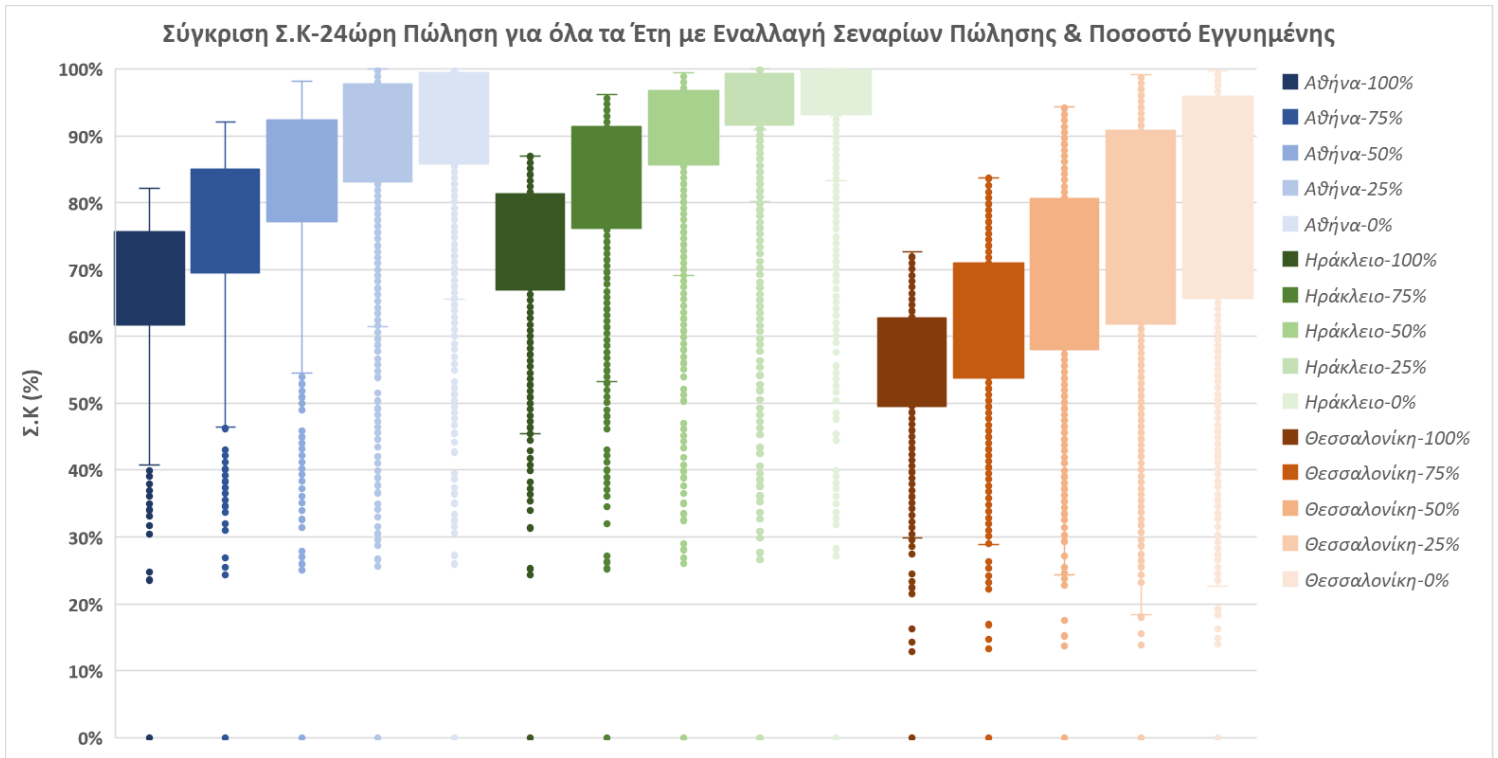


Στα παραπάνω διαγράμματα συγκρίνεται το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας (LCOE) για τις τρεις περιοχές και προκύπτουν τα εξής σχόλια:

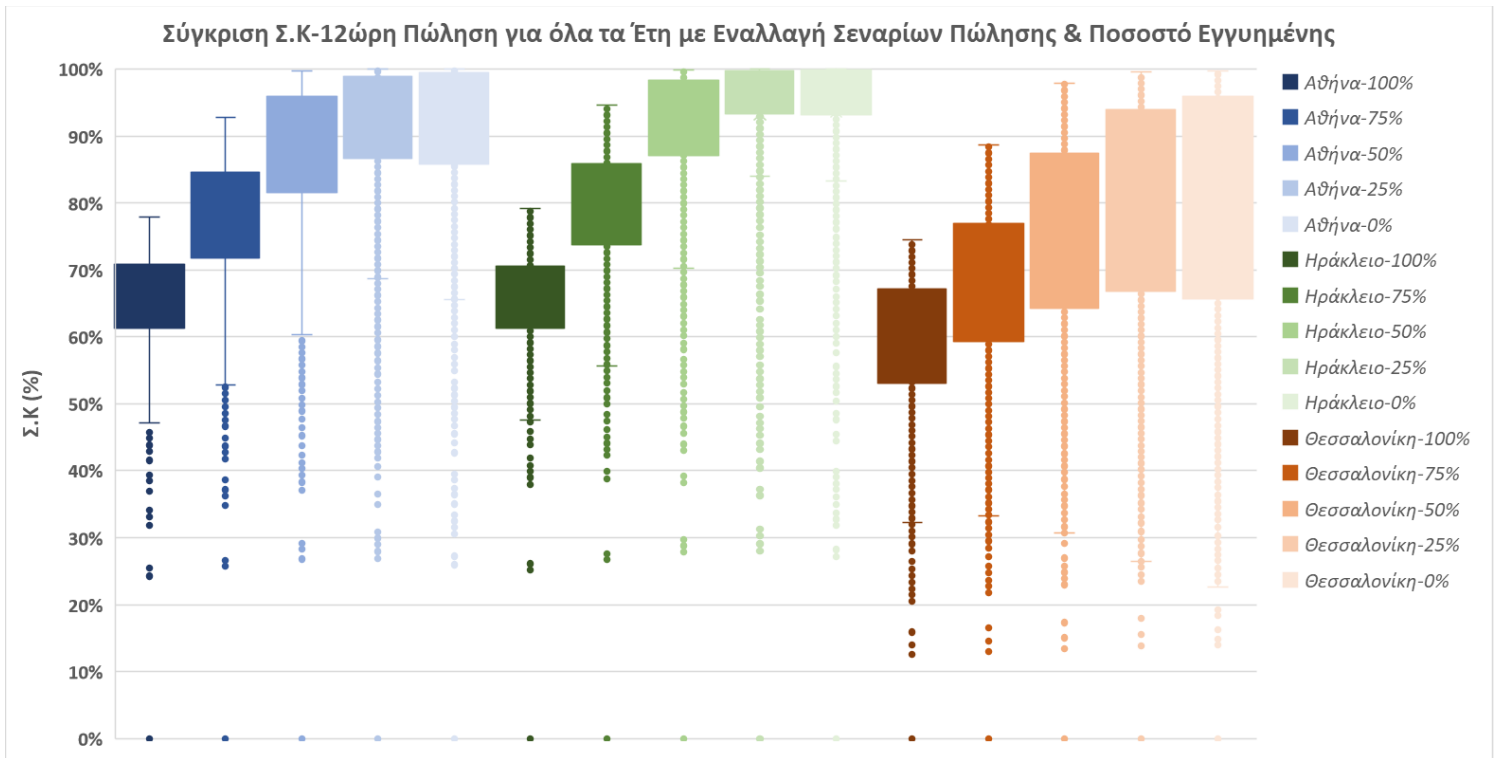
- Αρχικά παρατηρείται ότι η πόλη με τα μεγαλύτερα κέρδη και τους καλύτερους συντελεστές LCOE είναι το Ηράκλειο, ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι απολύτως λογικό καθώς όπως είδαμε έχει και την υψηλότερη παραγωγή ενέργειας λόγω του ευνοϊκού δυναμικού που διαθέτει. Επιπλέον είναι η μόνη πόλη που το σύστημα αποδίδει κέρδη και για τα τρία σενάρια πώλησης.
- Στην συνέχεια ακολουθεί η πόλη των Αθηνών η οποία παρουσιάζει ελκυστικούς δείκτες LCOE για τα σενάρια πώλησης 12ώρου και 8ώρου καθώς και για τα ποσοστά 75% και 50%. Αυτό οφείλεται στο ότι η Αθήνα σαν πόλη διαθέτει χαμηλότερης ποιότητας δυναμικό από το Ηράκλειο και συνεπώς και παραγωγή ενέργειας. Παρόλα αυτά είναι μια πόλη η οποία καθορίζεται ως αξιόλογη, καθώς διαθέτει αρκετά σενάρια στα οποία η επένδυση μας μπορεί να επωφεληθεί αρκετά.
- Τέλος η Θεσσαλονίκη διαθέτει τους χειρότερους δείκτες σταθμισμένου κόστους καθώς η τοποθεσία της δεν την ευνοεί ως προς το διαθέσιμο δυναμικό μας και έτσι η παραγωγή των ΑΠΕ παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Βέβαια αυτό, όπως παρατηρούμε και από τα διαγράμματα, η Θεσσαλονίκη αποτελεί την πιο σταθερή πόλη στα αποτελέσματα μας, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις και με πολύ λιγότερο ρίσκο αστοχίας της επένδυσης.

## 7.12 Σύγκριση Περιοχών - Συνολικό Σ.Κ.

Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον συνολικό συντελεστή κάλυψης (Σ.Κ) για τον οποίο έχουμε τα τρία παρακάτω διαγράμματα:

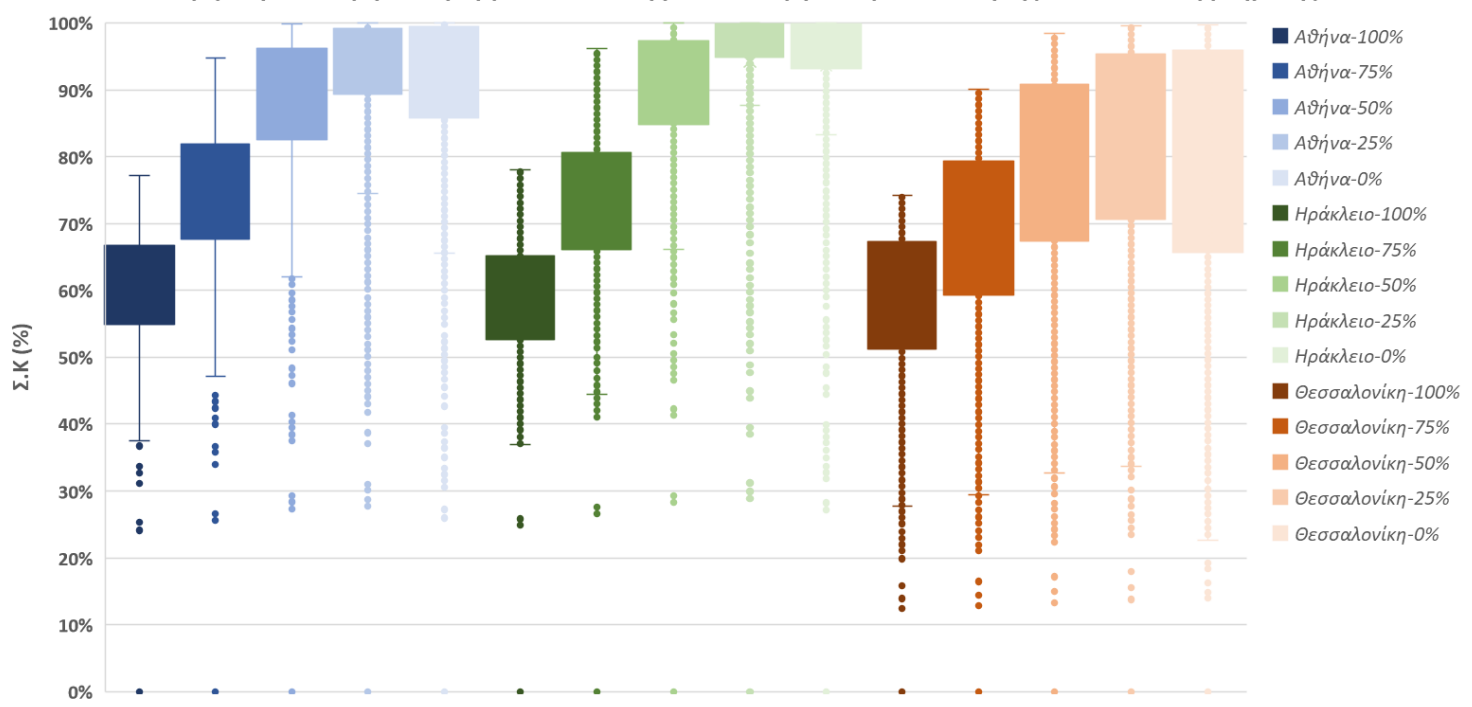


Διάγραμμα 59: Σύγκριση Σ.Κ για 24ώρη πώληση.



Διάγραμμα 60: Σύγκριση Σ.Κ για 12ώρη πώληση.

Σύγκριση Σ.Κ-8ώρη Πώληση για όλα τα Έτη με Εναλλαγή Σεναρίων Πώλησης & Ποσοστό Εγγυημένης



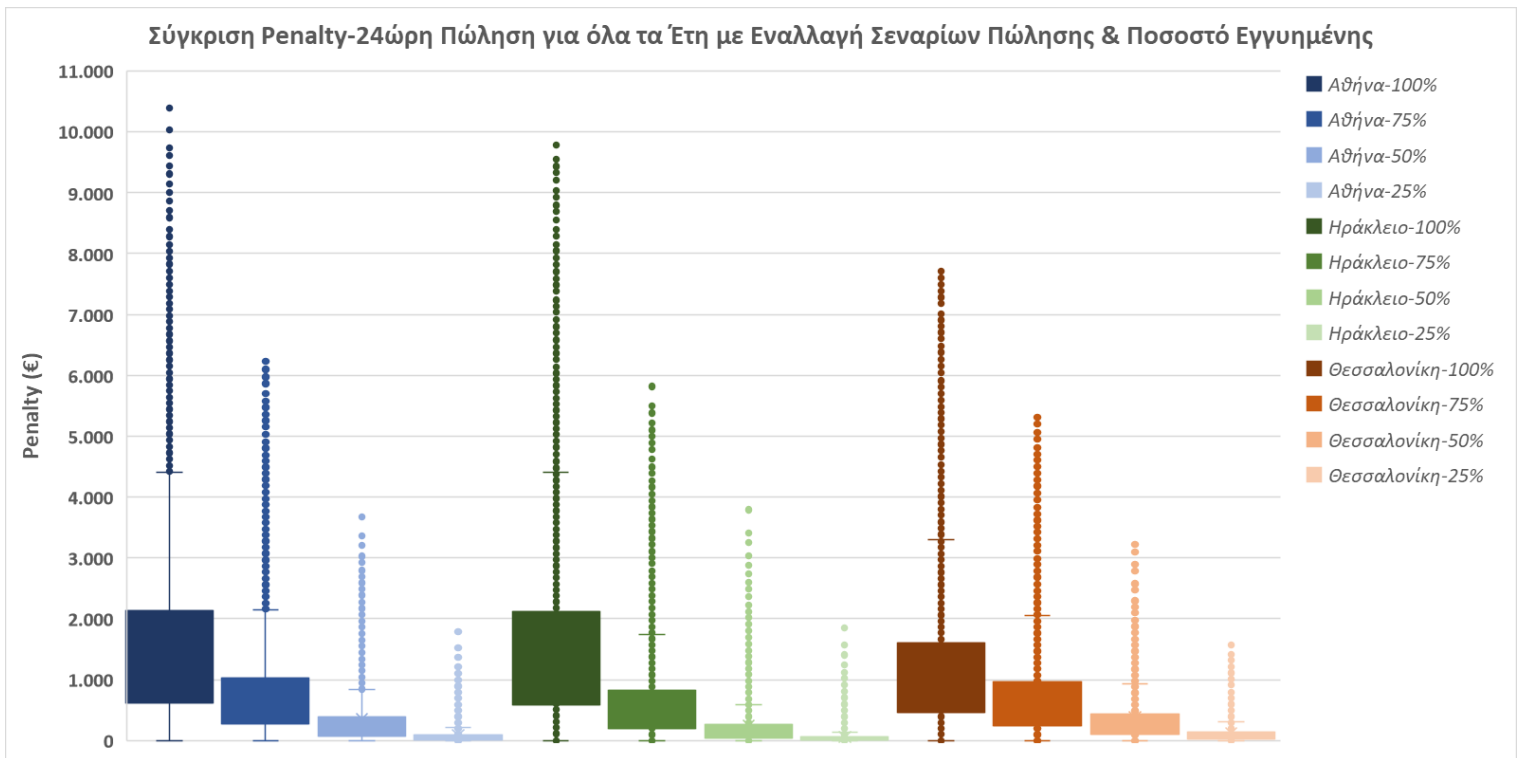
Διάγραμμα 61: Σύγκριση Σ.Κ για δώρη πώληση.

Σε έναν δείκτη όπως είναι ο συνολικός συντελεστής κάλυψης το μόνο το οποίο καθορίζει τα ποσοστά κάλυψης, τα οποία αποτυπώνονται παραπάνω, είναι η παραγωγή και διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ΑΠΕ και του συστήματος αποθήκευσης (συσσωρευτές). Έτσι προκύπτουν τα εξής σχόλια:

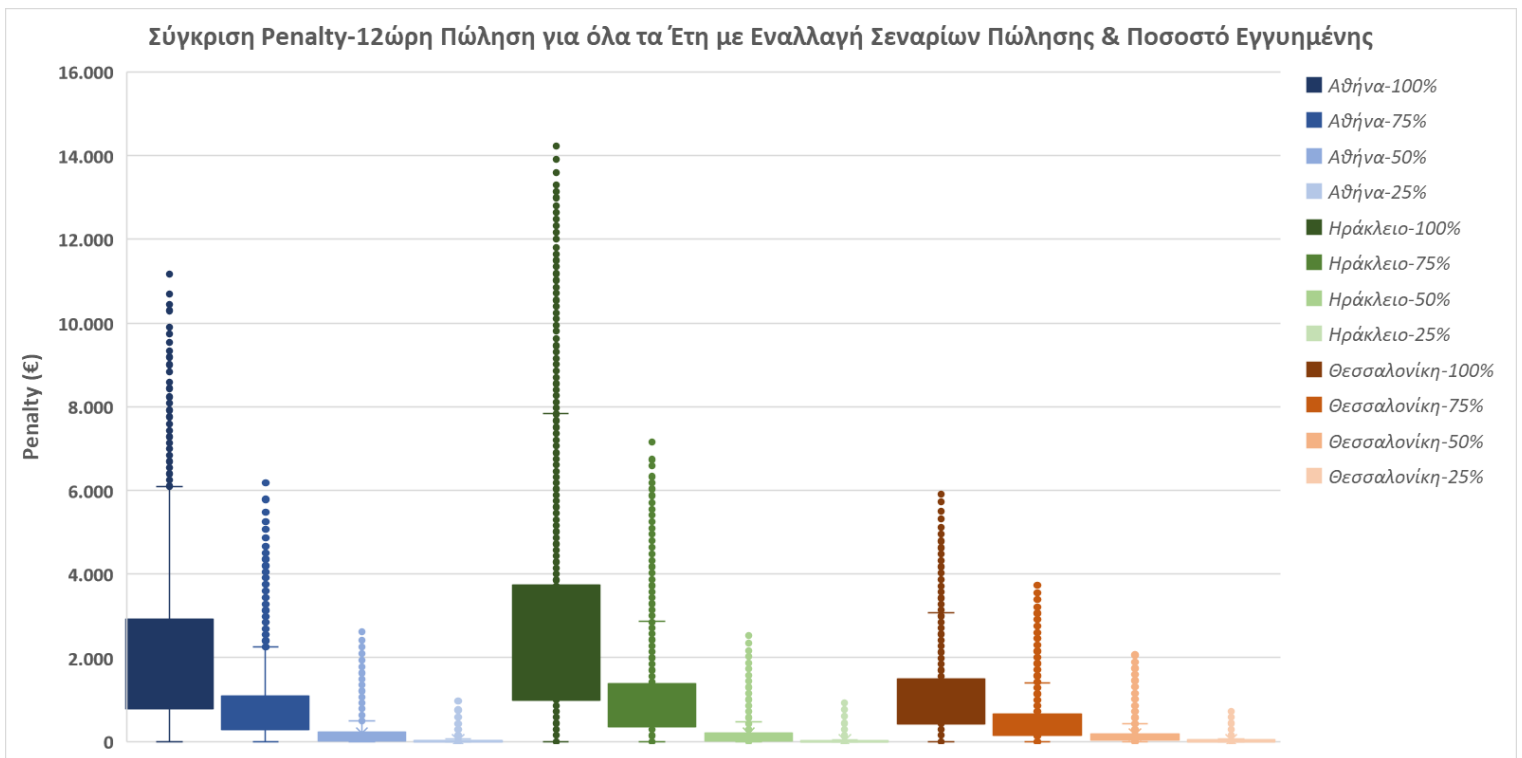
- Αρχικά καλύτερες τιμές ποσοστών κάλυψης διαθέτει το Ηράκλειο καθώς όπως προαναφέραμε έχει καλύτερο δυναμικό, έπειτα ακολουθεί η Αθήνα και τέλος η Θεσσαλονίκη. Παρατηρούμε επίσης ότι ενώ οι δυο πρώτες πόλεις προσεγγίζουν τα ποσοστά πλήρους αυτονομίας, το σύστημα μας στη Θεσσαλονίκη δεν επιτυγχάνει κάτι ανάλογο. Σε αυτό οφείλεται και η συνεργασία του συστήματος με την παραγωγή, δηλαδή τις ώρες αιχμής όπου η ζήτηση είναι μεγάλη προκύπτει πως οι ΑΠΕ εμφανίζουν αυξημένη παραγωγή, γεγονός το οποίο βλέπουμε καλύτερα στις δύο πρώτες πόλεις μας.
- Επιπλέον στα διαγράμματα σύγκρισης παρατηρούμε ότι στις πόλεις μας, όσο κατεβαίνουμε σε ώρες πώλησης, τόσο αυξάνουν συνολικά οι μέσες τιμές Σ.Κ, για όλα τα ποσοστά. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συντελεστής κάλυψης της οικίας όταν μειώνεται η πώληση αυξάνεται σημαντικά και έτσι παρατηρούμε υψηλότερες τιμές Σ.Κ.

### 7.13 Σύγκριση Περιοχών - Penalty Εγγυημένης

Τέλος θα ασχοληθούμε με το Penalty Εγγυημένης για το οποίο έχουμε τα τρία παρακάτω διαγράμματα:

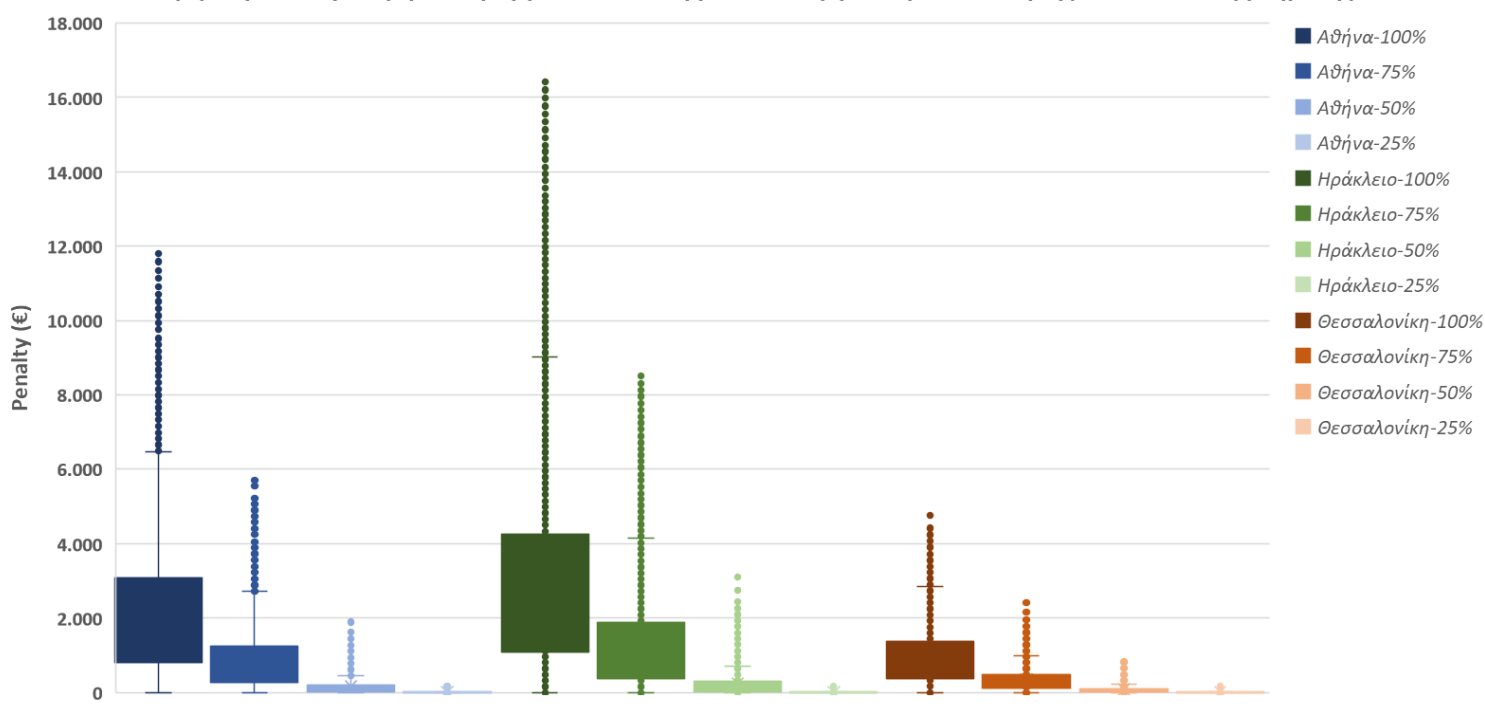


Διάγραμμα 62: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 24ώρη πώληση.



Διάγραμμα 63: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 12ώρη πώληση.

Σύγκριση Penalty-8ώρη Πώληση για όλα τα Έτη με Εναλλαγή Σεναρίων Πώλησης & Ποσοστό Εγγυημένης



Διάγραμμα 64: Σύγκριση Penalty Εγγυημένης για 8ώρη πώληση.

Στα παραπάνω διαγράμματα τα οποία αποτυπώνουν την σύγκριση των penalty εγγυημένης για κάθε πόλη και κάθε πιθανό σενάριο λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης, προκύπτουν τα εξής σχόλια:

- Αρχικά αυτό που παρατηρήθηκε σε όλα τα διαγράμματα των επιβαρύνσεων της εγγυημένης, είναι ότι με την μείωση του ποσοστού εγγυημένης, μειώνονται και οι τιμές των penalties (σε Ευρώ).
- Στη συνέχεια, με βάση και τις τιμές της ηλεκτρικής παραγωγής, διαπιστώνουμε ότι τα χαμηλότερα penalty τα εμφανίζει η πόλη της Θεσσαλονίκης, η οποία εγγυάται και μικρότερα ποσά εγγυημένης ενέργειας ως προς το δίκτυο, εξ ου και παρουσιάζει και τις μικρότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες δύο πόλεις.
- Τέλος, όσον αφορά στη σύγκριση μεταξύ Ηρακλείου και Αθηνών παρατηρούμε ότι στα σενάρια πώλησης 12ώρου και 8ώρου το Ηράκλειο παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές επιβαρύνσεων, γεγονός το οποίο περιμέναμε καθώς τα ποσά εγγυημένης είναι μεγαλύτερα λόγω και της παραγωγής. Παρόλα αυτά, εξαίρεση αποτελεί η 24ώρη πώληση, όπου η πόλη των Αθηνών διαθέτει μεγαλύτερες τιμές από του Ηρακλείου. Αυτό πιθανά οφείλεται σε αστοχίες ικανοποίησης της εγγυημένης κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής τιμής ηλεκτρικής ενέργειας, και έτσι παρατηρούνται σημαντικά αυξημένες τιμές επιβαρύνσεων εγγυημένης.

## Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της επίδρασης των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τεχνοοικονομική συμπεριφορά των υβριδικών σταθμών ενέργειας στην ελληνική επικράτεια, η οποία διεξήχθη κατά την τετραετία 2019-2022, οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα αναφορικά με τις δυνατότητες αυτών των συστημάτων και του ρόλου τους στη διαμόρφωση ενός βιώσιμου ενεργειακού τοπίου. Η εστίαση σε τρεις διαφορετικές περιοχές - Αθήνα, Ηράκλειο και Θεσσαλονίκη- αποκάλυψε τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ των γεωγραφικών ανισοτήτων στο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της απόδοσης του συστήματος, ρίχνοντας φως στην ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες της περιοχής κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή των υβριδικών συστημάτων.

Το μετρούμενο αιολικό και ηλιακό δυναμικό για ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, αντίστοιχα, υπογράμμισε τη δυναμική φύση των ανανεώσιμων πόρων. Η ενσωμάτωση αυτών των πηγών στο υβριδικό σύστημα όχι μόνο αντιμετώπισε την ασυνέχεια που συνδέεται με τις μεμονωμένες τεχνολογίες, αλλά δημιούργησε επίσης ένα πιο αξιόπιστο και συνεπές ενεργειακό προφίλ. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν τόνισαν την προσαρμοστικότητα των υβριδικών συστημάτων σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, με την υβριδική προσέγγιση να χρησιμεύει ως μια ανθεκτική λύση ικανή να αντιμετωπίσει την εγγενή μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε μπαταρίες αναδείχθηκε ως κρίσιμη πτυχή της λειτουργικότητας του συστήματος, επιτρέποντας την απρόσκοπτη μετάβαση από περιόδους πλεονάσματος σε περιόδους αυξημένης ζήτησης. Αυτή η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας όχι μόνο διευκόλυνε τις εφαρμογές αυτοπαραγωγής, αλλά έθεσε επίσης τα θεμέλια για τον πρωταρχικό στόχο της εμπορίας ενέργειας με το δίκτυο. Η δυνατότητα ενεργούς συμμετοχής στην αγορά ενέργειας ανέδειξε σημαντικά οικονομικά κίνητρα για παρόμοιους δρώντες - αυτοπαραγωγούς.

Πιο συγκεκριμένα από τα αποτελέσματα της μελέτης μας, προκύπτει μια ολοκληρωμένη οπτική ενός υβριδικού συστήματος στις περιοχές στις οποίες μελετάμε. Αρχικά για το σταθμισμένο κόστος παραγωγής της ενέργειας, ο οποίος είναι και ο πιο σημαντικός δείκτης για την αξιολόγηση της επένδυσης, παρατηρούμε διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή. Σε περιοχές με πολύ καλό δυναμικό, όπως είναι η περίπτωση του Ηρακλείου, διαπιστώνουμε ότι τα περιθώρια κέρδους είναι αρκετά μεγάλα, καθώς ο δείκτης λαμβάνει πολύ καλές τιμές, αλλά και το ρίσκο απωλειών σε ορισμένες περιπτώσεις είναι και αυτό σημαντικό, γεγονός το οποίο είναι απολύτως φυσιολογικό στην αξιολόγηση μια επένδυσης όπως της συγκεκριμένης.

Από άποψη σεναρίων, το πιο συμφέρον σενάριο αποτελεί η 24ωρη πώληση εγγυημένης ενέργειας προς το δίκτυο με τα κυρίαρχα ποσοστά να αποτελούν, πρώτα το 75% και στην συνέχεια το 50%. Αυτό οφείλεται στα μεγάλα ποσά παραγωγής ενέργειας τα οποία μπορούν να καλύψουν και να προσφέρουν σημαντικά έσοδα στην 24ωρη πώληση.

Στη συνέχεια σε περιοχές με αξιόλογο δυναμικό, όπως η περιοχή της Αθήνας, παρατηρούμε ότι ο συγκεκριμένος δείκτης παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις παρουσιάζοντας καλύτερα αποτελέσματα στην 12ωρη πώληση και για τα ποσοστά πρώτα των 50% και έπειτα των 75%. Αυτό συμβαίνει γιατί σε μια περιοχή όπως αυτή των Αθηνών που η παραγωγή είναι αξιόλογη η πώληση της ενέργειας δεν μπορεί να διατηρηθεί όλο το 24ώρο καθώς υπάρχουν αρκετές στιγμές στις οποίες δεν επιτυγχάνεται η απόδοση αυτής προς το δίκτυο και έτσι προκύπτουν οι επιβαρύνσεις, οι οποίες αυξάνουν τα έξοδα του συστήματος μας και συνεπώς και την οικονομική του απόδοση.

Παράλληλα σε περιοχές με μέτριο δυναμικό, όπως είναι αυτή της Θεσσαλονίκης, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στο σταθμισμένο κόστος, γεγονός το οποίο φανερώνει πως δεν υπάρχουν και μεγάλα περιθώρια, είτε κέρδους είτε απώλειας από ένα τέτοιο σύστημα. Συνεπώς το ρίσκο σε τέτοιες περιοχές είναι πολύ μικρότερο, καθώς οι μεταβολές μπορούν να αξιολογηθούν πολύ πιο εύκολα. Παρόλα αυτά, το καλύτερο σενάριο σε τέτοιες περιοχές είναι η δωρη πώληση, με πολύ μικρές διαφορές, και σε ποσοστό 100% και 75% με σχεδόν αμελητέες διαφορές. Αυτό οφείλεται στο μέτριο δυναμικό της περιοχής, το οποίο ευνοεί τις λιγότερες ώρες πώλησης ενέργειας προς το δίκτυο.

Αναφορικά με το penalty εγγυημένης παρατηρείται ότι όσο περισσότερη ενέργεια παραχθεί από τις ΑΠΕ, τόσο μεγαλύτερο ποσό ενέργειας θα πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο, συνεπώς ανάλογα υψηλότερη θα είναι και η επιβάρυνση του φορτίου που δεν ικανοποιήθηκε. Βέβαια στην προκειμένη περίπτωση σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα σενάρια πώλησης και τα ποσοστά εγγυημένης, με τα ποσοστά να ακολουθούν την αναμενόμενη τάση, η οποία είναι πως όσο υψηλότερα είναι τα ποσοστά εγγυημένης που υποσχόμαστε προς το δίκτυο τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι αστοχίες κάλυψης αυτών και συνεπώς τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι επιβαρύνσεις.

Η παραγόμενη ενέργεια βέβαια επηρεάζει σημαντικά και τον συνολικό Συντελεστή Κάλυψης ο οποίος όσο μεγαλύτερη παραγωγή εμφανίζει μια περιοχή, λόγω του δυναμικού της, τόσο μεγαλύτερα ποσοστά συντελεστή κάλυψης θα παρουσιάζει. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συνολικός συντελεστής κάλυψης αποτελεί συνδυασμό δύο μεγεθών, το οποίο έχει αποδοθεί και παραπάνω.

Επιπλέον ένα μέγεθος το οποίο επιδρά στα αποτελέσματα μας, είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, για την οποία, όπως αποτυπώνεται και στα διαγράμματα, όσο μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζει, τόσο μεγαλύτερα είναι τα ρίσκα αλλά και τα περιθώρια κέρδους ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος, εφόσον αυτό στοχεύει στην εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος κοιτάζοντας μπροστά, τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης επεκτείνονται πέρα από τα όρια της ελληνικής επικράτειας. Η προσαρμοστικότητα των υβριδικών συστημάτων, σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης, τα τοποθετεί ως βασικές λύσεις στη μετάβαση προς ένα πιο ανθεκτικό, οικονομικά βιώσιμο και περιβαλλοντικά αειφόρο ενεργειακό μέλλον. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας συμβάλλουν όχι μόνο στον ακαδημαϊκό διάλογο γύρω από τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά παρέχουν επίσης συμπεράσματα για φορείς της βιομηχανίας και τις κοινότητες που επιδιώκουν να αξιοποιήσουν πλήρως το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



# Βιβλιογραφία

- [1] D. K. Alexopoulos, A. G. Anastasiadis, G. A. Vokas, S. D. Kaminaris, και C. S. Psomopoulos, ‘A review of flexibility options for high RES penetration in power systems — Focusing the Greek case’, *Energy Reports*, τ. 7, σσ. 33–50, Νοεμβρίου 2021, doi: [10.1016/j.egy.2021.09.050](https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.050).
- [2] G. A. Barzegkar-Ntovom κ.ά., ‘Assessing the viability of battery energy storage systems coupled with photovoltaics under a pure self-consumption scheme’, *Renewable Energy*, τ. 152, σσ. 1302–1309, Ιουνίου 2020, doi: [10.1016/j.renene.2020.01.061](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.061).
- [3] G. N. D. de Doile, P. Rotella Junior, L. C. S. Rocha, I. Bolis, K. Janda, και L. M. Coelho Junior, ‘Hybrid Wind and Solar Photovoltaic Generation with Energy Storage Systems: A Systematic Literature Review and Contributions to Technical and Economic Regulations’, *Energies*, τ. 14, τχ. 20, σ. 6521, Οκτωβρίου 2021, doi: [10.3390/en14206521](https://doi.org/10.3390/en14206521).
- [4] F. Jin, X. Huang, και C. Shao, ‘Efficient utilization of demand side resources behind the meter: Assessment, profiling and scheduling’, *The Electricity Journal*, τ. 35, τχ. 5, σ. 107123, Ιουνίου 2022, doi: [10.1016/j.tej.2022.107123](https://doi.org/10.1016/j.tej.2022.107123).
- [5] F. A. Khan, N. Pal, και Syed. H. Saeed, ‘Review of solar photovoltaic and wind hybrid energy systems for sizing strategies optimization techniques and cost analysis methodologies’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τ. 92, σσ. 937–947, Σεπτεμβρίου 2018, doi: [10.1016/j.rser.2018.04.107](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.107).
- [6] J. Lian, Y. Zhang, C. Ma, Y. Yang, και E. Chaima, ‘A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems’, *Energy Conversion and Management*, τ. 199, σ. 112027, Νοεμβρίου 2019, doi: [10.1016/j.enconman.2019.112027](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112027).
- [7] M. S. Symiakakis και F. D. Kanellos, ‘Towards the detailed modeling of deregulated electricity markets comprising Smart prosumers and peer to peer energy trading’, *Electric Power Systems Research*, τ. 217, σ. 109158, Απριλίου 2023, doi: [10.1016/j.epsr.2023.109158](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109158).
- [8] S. Tampakis, G. Arabatzis, G. Tsantopoulos, και I. Rerras, ‘Citizens’ views on electricity use, savings and production from renewable energy sources: A case study from a Greek island’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τ. 79, σσ. 39–49, Νοεμβρίου 2017, doi: [10.1016/j.rser.2017.05.036](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.036).
- [9] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas, και M. Kay, ‘Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τ. 91, σσ. 109–125, Αυγούστου 2018, doi: [10.1016/j.rser.2018.03.047](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047).
- [10] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas, και M. Kay, ‘Modelling and optimal energy management for battery energy storage systems in renewable energy systems: A review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τ. 167, σ. 112671, Οκτωβρίου 2022, doi: [10.1016/j.rser.2022.112671](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112671).
- [11] ‘California’s 'Duck Curve' Arrives Well Ahead of Schedule’, *The Electricity Journal*, τ. 29, τχ. 6, σσ. 71–72, Ιουλίου 2016, doi: [10.1016/j.tej.2016.07.010](https://doi.org/10.1016/j.tej.2016.07.010).
- [12] H. M. Usman, R. ElShatshat, και A. H. El-Hag, ‘A novel non-intrusive framework for real-time disaggregation of behind-the-meter solar generation from smart meter data’, *Electric Power Systems Research*, τ. 225, σ. 109831, Δεκεμβρίου 2023, doi: [10.1016/j.epsr.2023.109831](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109831).

- [13] Στεφανίδη Ηλιάνα, ‘Investigation of energy management strategies for hybrid RES & energy storage stations towards the promotion of modern prosumer applications at the end-consumer level’, Μάρτιος 2023, doi: <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/4129>.
- [14] Νίκος Βέττας, Svetoslav Danchev, Γιώργος Μανιάτης, Νίκος Παρατσιώκας και Κώστας Βαλάσκας, ‘Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, Προοπτικές και Προκλήσεις’, διαΝΕΟσις, Απρίλιος 2021, doi: <https://www.dianeosis.org/wp-content/uploads/2021/07/Energy-VERSION-30.06.2021.pdf>.
- [15] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ‘Εθνικό σχέδιο ενέργειας και κλίματος’, Οκτώβριος 2023, doi: <https://commission.europa.eu/system/files/2023-11/GREECE%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20EL.pdf>.
- [16] ΔΑΠΕΕΠ, ‘Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2019’, Ιούλιος 2020, doi: <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/energeiako/energeiako-meigma/%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%A0%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91%202019.pdf>
- [17] ΔΑΠΕΕΠ, ‘Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2020’, Ιούνιος 2021, doi: <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2021/06/%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%A0%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91%202020.pdf?t=1624011847>.
- [18] ΔΑΠΕΕΠ, ‘Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2021’, Ιούλιος 2022, doi: <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2022/09/%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%A0%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91%202021.pdf?t=1662359066>.
- [19] ΔΑΠΕΕΠ, ‘Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2022’, Ιούνιος 2023, doi: <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2023/07/%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F-%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91-2022.pdf>.
- [20] enel, ‘What does behind the meter (BTM) mean?’, Ιούλιος 2023, doi: <https://www.enelnorthamerica.com/insights/blogs/what-does-btm-behind-the-meter-mean>.
- [21] Eurostat, 2021, doi: <https://ec.europa.eu/eurostat>.