

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Υπολογιστική Διερεύνηση Διαμόρφωσης Βέλτιστων  
Ομότιμων (P2P) Σχημάτων στη Βάση Φωτοβολταϊκής  
Παραγωγής και Αποθήκευσης Ενέργειας



Διπλωματική Εργασία της:

Ασβεστά Σμαράγδας-Ευαγγελίας

Επιβλέπων:

Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης  
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Υπολογιστική Διερεύνηση Διαμόρφωσης Βέλτιστων  
Ομότιμων (P2P) Σχημάτων στη Βάση Φωτοβολταϊκής  
Παραγωγής και Αποθήκευσης Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία της:

Ασβεστά Σμαράγδας-Ευαγγελίας

Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Ζαφειράκης, Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 21η Μαρτίου 2024

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Δρ. Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής  
Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ. Κων/νος Μουστρής

Καθηγητής  
Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ. Γεώργιος Σπυρόπουλος

ΕΔΙΠ Α'  
Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



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.

## Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ασβεστά Σμαράγδα Ευαγγελία του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 47302 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Η Δηλούσα  
(Υπογραφή)

.....  
Ασβεστά Σμαράγδα Ευαγγελία

## Περίληψη

Στην προτεινόμενη διπλωματική εργασία θα μελετηθούν σύγχρονες στρατηγικές εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας με ανάπτυξη ομότιμων (Peer-to-peer), σχημάτων παραγωγής και διανομής μεταξύ αυτοπαραγωγών-καταναλωτών (κόμβων) ηλεκτρικής ενέργειας με γεωγραφική εγγύτητα. Για τη μελέτη του προβλήματος θα δημιουργηθεί υπολογιστικό πλαίσιο ενεργειακής προσομοίωσης και ανάλυσης παραδείγματος αλληλεπίδρασης μεταξύ ομότιμων κόμβων στη βάση αξιοποίησης συνδυασμένων συστημάτων ΑΠΕ-αποθήκευσης ενέργειας οικιακής κλίμακας και υπό την εφαρμογή τεχνικοοικονομικών δεικτών αξιολόγησης.

### Λέξεις Κλειδιά

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά, Αποθήκευση ενέργειας, Peer-to-peer, Αυτοπαραγωγή ενέργειας

## **Abstract**

The proposed thesis aims to explore modern electricity trading strategies, focusing on the development of peer-to-peer (P2P) and bilateral production and distribution schemes among geographically proximate self-producers-consumers (nodes) of electricity. This research will involve creating a comprehensive computer framework for simulating and analyzing the bilateral P2P interaction paradigm, leveraging residential-scale renewable energy sources (RES) and energy storage systems (ESS). Established economic and technical evaluation indicators will be employed to compare the proposed scheme.

### **Key Words**

Renewable Energy Sources, Photovoltaics, Energy Storage, Peer-to-Peer, Energy Prosumers

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την βοήθεια και καθοδήγηση του επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Δημητρίου Ζαφειράκη. Του εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ για όλη την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, που ήταν δίπλα μου και με τον τρόπο τους με βοήθησαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Θέλω, επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς τον σύντροφο μου Γιώργο, για την αμέριστη αγάπη και την πολύτιμη βοήθεια του. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου Δημήτρη και Μαριάνθη, καθώς και τον αδερφό μου Κυριάκο, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα, και δεν έπαψαν ποτέ να με πιστεύουν και να με αγαπούν άνευ όρων.



*Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στη μνήμη του  
πατέρα μου, Δημήτρη.*



# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1	Επισκόπηση . . . . .	2
<b>2</b>	<b>ΑΠΕ &amp; Διεσπαρμένη παραγωγή</b>	<b>3</b>
2.1	Στόχοι ΑΠΕ σε Ευρωπαϊκό/εθνικό επίπεδο . . . . .	4
2.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ . . . . .	5
2.3	Διεσπαρμένη παραγωγή ΑΠΕ : Έννοια και σημασία . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Αυτοπαραγωγή Ενέργειας</b>	<b>7</b>
3.1	Πρόβλημα υψηλών τιμών ενέργειας . . . . .	8
3.2	Η ανάγκη για θωράκιση των καταναλωτών/ Ενεργειακή Φτώχεια . . . . .	9
3.2.1	Καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών στους οργανισμούς κοινής ωφελείας 2018-2022 . . . . .	11
3.2.2	Αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης στις κατοικίες 2018-2022 . . . . .	14
3.3	Η αυτοπαραγωγή ενέργειας ως εναλλακτική πρόταση . . . . .	16
3.4	Πλαίσιο αυτοπαραγωγής στην Ελλάδα . . . . .	16
3.4.1	Ορισμοί . . . . .	17
3.4.2	Βασικό Πλαίσιο . . . . .	18
3.4.3	Net Metering – Net Billing . . . . .	19
3.4.4	Ενεργειακές Κοινότητες . . . . .	20
3.5	Σχήματα Ομότιμων Κόμβων (P2P) . . . . .	22
3.5.1	Περιγραφή σχημάτων P2P στον οικιακό τομέα / Microgrid Markets . . . . .	22
3.5.2	Καλές πρακτικές από το διεθνές περιβάλλον . . . . .	23
3.5.2.1	The Brooklyn Microgrid (BMG) . . . . .	23
3.5.2.2	Piclo . . . . .	24
3.5.2.3	sonnenCommunity . . . . .	24

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

3.5.2.4	SunContract . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Μεθοδολογία</b>	<b>27</b>
4.1	Δέντρο Αναδρομής - Ορισμός Μεταβλητών Προβλήματος . . . . .	28
4.2	Δεδομένα Εισόδου . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Ανάλυση Αποτελεσμάτων</b>	<b>35</b>
5.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων - Κατανάλωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α-ΠΕ) . . . . .	36
5.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων - Εξισορροπημένο Κόστος Ενέργειας (LCOE) . . . . .	42
5.3	Ανακαιφαλαίωση - Συζήτηση . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα - Προτάσεις</b>	<b>51</b>
	<b>Πηγές &amp; Βιβλιογραφία</b>	<b>55</b>

# Κατάλογος Σχημάτων

3.1	Εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας και μερίδιο των εισαγωγών από τη Ρωσία (%) . . . . .	8
3.2	Κατανομή απαντήσεων ανά περιφέρεια . . . . .	10
3.3	Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών . . . . .	12
3.3	Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών . . . . .	13
3.4	Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης . . . . .	14
3.4	Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης . . . . .	15
3.5	Παράδειγμα αγοράς ενέργειας μικροδικτύων . . . . .	23
4.1	Πιθανοί συνδυασμοί - εξεταζόμενοι κόμβοι . . . . .	29
4.2	Χρονοσειρές ωριαίας ζήτησης φορτίου για τις 4 οικίες . . . . .	31
4.3	Ωριαία Φωτοβολταϊκή παραγωγή (Capacity Factor) . . . . .	32
5.1	Κατανάλωση ΑΠΕ για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	36
5.1	Κατανάλωση ΑΠΕ για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	37
5.2	Διείσδυση ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	38
5.2	Διείσδυση ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	39
5.3	Διακύμανση LCOE για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	42
5.3	Διακύμανση LCOE για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	43
5.4	LCOE (€/MWh) για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	44
5.4	LCOE (€/MWh) για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	45
5.5	LCOE (€/MWh) & ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες) . . . . .	46

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

5.5	LCOE (€/MWh) & ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες)	47
-----	--	----

# Κατάλογος Πινάκων

2.1	Σύγκριση Αναθεωρημένων Στόχων ΕΣΕΚ για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με υφιστάμενη κατάσταση και προηγούμενο ΕΣΕΚ . . . . .	5
3.1	Σύγκριση Net Metering – Net Billing . . . . .	20
3.2	Μορφές κοινοτήτων . . . . .	21
4.1	Βασικά στοιχεία εκτίμησης του LCOE . . . . .	29
4.2	Βασικά ενεργειακά στοιχεία των εξεταζόμενων κόμβων . . . . .	33

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η επιτακτική ανάγκη για μετάβαση σε πρακτικές βιώσιμης ενέργειας έχει ωθήσει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα, στο κύριο ενεργειακό τοπίο. Συγχρόνως, η εξέλιξη των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας έχει ανοίξει νέους δρόμους για την ενίσχυση της αξιοπιστίας και της ευελιξίας των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέσα σε αυτό το δυναμικό πλαίσιο, τα μοντέλα εμπορίας ενέργειας peer-to-peer (P2P)) έχουν αναδειχθεί ως ένας πολλά υποσχόμενος μηχανισμός για την αποκεντρωμένη και διεσπαρμένη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των καταναλωτών εντός τοπικών κοινοτήτων. Τα πλαίσια P2P επιτρέπουν άμεσες συναλλαγές μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας, ενισχύοντας ένα πιο δυναμικό και αποδοτικό ενεργειακό οικοσύστημα. Ωστόσο, η βέλτιστη διαμόρφωση των σχημάτων (peer-to-peer) με φωτοβολταϊκή παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας απαιτεί κατανόηση διαφόρων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της αρχιτεκτονικής του συστήματος, των προφίλ ζήτησης ενέργειας και των οικονομικών παραγόντων.

Στην παρούσα υπολογιστική έρευνα, εξετάζουμε και διερευνούμε τους τρόπους διαμόρφωσης των πιο αποδοτικών και αποτελεσματικών σχημάτων P2P με φωτοβολταϊκή παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας. Αξιοποιώντας προηγμένο υπολογιστικό αλγόριθμο εμβαθύνουμε σε διάφορα σενάρια και εντοπίζουμε τους συνδυασμούς που προσφέρουν υψηλότερη απόδοση και οικονομικότερα οφέλη.

### 1.1 Επισκόπηση

Το υπόλοιπο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι δομημένο ως εξής: Στα Κεφάλαια 2 & 3 εμπεριέχεται όλο το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο και γίνεται επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 2 αναλύουμε τους στόχους, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και εισάγουμε την έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής ΑΠΕ. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται λόγος για την αυτοπαραγωγή ενέργειας, το πλαίσιο αυτής στην Ελλάδα και περιγράφονται τα βασικά στοιχεία σχετικά με τα σχήματα ομότιμων κόμβων (P2P). Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4 παραθέτουμε την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την δημιουργία και διερεύνηση της διαμόρφωσης βέλτιστων ομότιμων σχημάτων-κόμβων (peer-to-peer), ενώ στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε και αναλύουμε εκτενώς τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Τέλος το Κεφάλαιο 6 συνοψίζει την παρούσα διπλωματική εργασία και περιγράφει τις σκέψεις μας για μελλοντικές εργασίες.

## Κεφάλαιο 2

### ΑΠΕ & Διεσπαρμένη παραγωγή

### 2.1 Στόχοι ΑΠΕ σε Ευρωπαϊκό/εθνικό επίπεδο

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια σαν εναλλακτική λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενάντια στην αλόγιστη χρήση ορυκτών πόρων που καταστρέφει το περιβάλλον. Σήμερα η ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος, τη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής και ενεργειακής κρίσης, ανάγκασαν την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να αναπτύξει νέες ενεργειακές πολιτικές και μέτρα.

Αναλυτικότερα, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το 2019 παρουσιάστηκε από την ΕΕ η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (Green Deal), βασικότερος στόχος της οποίας είναι, να γίνει η Ευρώπη η πρώτη ενεργειακά ουδέτερη ήπειρος μέχρι το 2050. Κύρια δράση του εν λόγω εγχειρήματος αποτελεί η μείωση κατά 55% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030, συγκριτικά με το 1990, η οποία και κατοχυρώθηκε ως νομοθέτημα με το πρόγραμμα Fit for 55, μετατρέποντας την φιλοδοξία σε νομική υποχρέωση [1].

Επιπρόσθετα, γνωρίζοντας ότι ο τομέας της ενέργειας έχει το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης (75%) στην παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου της Ευρώπης [2], η μείωση αυτών επιτυγχάνεται μέσω δεσμευτικών στόχων για τη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική ακαθάριστη ενεργειακή κατανάλωση. Ως εκ τούτου, το Σεπτέμβριο του 2023 υπερψηφίστηκε από την ΕΕ η νέα οδηγία για τις ΑΠΕ, που θέτει ως ελάχιστο μερίδιο στην τελική κατανάλωση ενέργειας το 42,5% έως το 2030, σε αντιπαράβολή με τον έως τώρα στόχο του 32% [3].

Αντίστοιχα σε εθνικό επίπεδο εκπονήθηκε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και Κλίμα (ΕΣΕΚ) τον Δεκέμβριο του 2019, όπου η ελληνική κυβέρνηση θέτει τους νέους στόχους που καλείται να πετύχει η χώρα μας σε κοινή γραμμή με την Ευρώπη για αυτή την πράσινη μετάβαση [4]. Ωστόσο, λόγω των νέων φιλοδοξιών στόχων της ΕΕ, έγινε αναθεώρηση του ΕΣΕΚ το 2023, με σκοπό να προσαρμοστεί στους νέους αυτούς στόχους [5].

Ειδικά , για την συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ προβλέπει αύξηση του μεριδίου συμμετοχής τους σε 44% μέχρι το 2030, σημαντικά υψηλότερο από το 35% που είχε δηλωθεί στο αρχικό ΕΣΕΚ [5]. Για το 2022 ο μέσος όρος για την Ελλάδα ήταν 22,68% με τον μέσο όρο της ΕΥ-27 να είναι στο 23,03%, που μας δείχνει ότι απέχουμε αρκετά από τους στόχους που έχουν τεθεί. Ως εκ τούτου η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ κρίνεται απαραίτητη [6].

Ο ανωτέρω στόχος εξειδικεύεται ανά τομέα, με επί μέρους δεσμευτικούς στόχους, οι οποίοι φαίνονται στον πίνακα 2.1. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί την κύρια προτεραιότητα πολιτικής για την επίτευξη του στόχου. Επο-

## 2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ

μένως, δίνεται προτεραιότητα στον ενεργειακό μετασχηματισμό στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για τον οποίο το μερίδιο συμμετοχής των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, καλείται να ανέλθει στο 80% το 2030 (σημαντικά υψηλότερος από το 61% που είχε τεθεί στο υφιστάμενο ΕΣΕΚ) με απώτερο σκοπό να πλησιάσει το 95% από το 2035 και έπειτα [5].

Πίνακας 2.1: Σύγκριση Αναθεωρημένων Στόχων ΕΣΕΚ για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με υφιστάμενη κατάσταση και προηγούμενο ΕΣΕΚ<sup>1</sup>

ΕΣΕΚ για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	2021 (εκτίμηση ΥΠΕΝ)	Στόχοι ΕΣΕΚ (Δεκέμβριος 2019)	Αναθεώρηση Στόχων ΕΣΕΚ (2023)
Μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας	22%	35%	45%
- Μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	36%	60%	80%
- Μερίδιο των ΑΠΕ για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης	31%	40%	47%
- Μερίδιο των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών	4%	14%	32%

## 2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), με κυριότερο όλων την ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Αναλυτικότερα, η παραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ενέργειας δεν επιβαρύνει σχεδόν καθόλου το περιβάλλον με ρύπους και μειώνει μακροπρόθεσμα την χρήση ορυκτών καυσίμων. Επιπρόσθετα, ανεξαρτητοποιούν τις χώρες που είναι αναγκασμένες να στηρίζονται σε τρίτους για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι πρόκειται για εγχώριες πηγές ενέργειας και ενισχύουν κυρίως τις μικρές και αναπτυσσόμενες χώρες. Συγχρόνως, οι ΑΠΕ μπορούν να οδηγήσουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, καθώς οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο από τις ίδιες.

Τα πλεονεκτήματα όμως συμπληρώνονται από μία σειρά μειονεκτημάτων και περιορισμών στην καθημερινή τους χρήση. Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, στηρίζονται στην γεωγραφική τοποθεσία τους και στις καιρικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, προκαλώντας έτσι μία αστάθεια στη συνεχή παραγωγή ενέργειας. Το οποίο όμως μπορεί να λυθεί με

<sup>1</sup>Πηγή

## 2. ΑΠΕ & ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

---

σωστή διαστασιολόγηση/ υβριδοποίηση, όπως επίσης και με τη χρήση κάποιας μορφής αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. συσσωρευτές, υδρογόνο, κλπ). Ουσιώδη ρόλο παίζει επίσης και το υψηλό κόστος δημιουργίας ενός σταθμού ανανεώσιμης ενέργειας συγκριτικά με τους συμβατικούς σταθμούς, όμως το λειτουργικό κόστος είναι συνήθως χαμηλό και δεν επηρεάζεται από την παγκόσμια οικονομία και τις τιμές των συμβατικών καυσίμων [7] [8].

### 2.3 Διεσπαρμένη παραγωγή ΑΠΕ : Έννοια και σημασία

Μέχρι σήμερα ο πιο διαδεδομένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι από κεντρικές μονάδες παραγωγής χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα. Σε αυτό το μοντέλο όλο το δίκτυο ενέργειας εξαρτάται από τον κεντρικό σταθμό, αφού μέσα από αυτόν γίνεται η διανομή στο υπόλοιπο δίκτυο.

Σε αντίθεση με τα συνηθισμένα και συμβατικά μοντέλα παραγωγής ενέργειας, η διεσπαρμένη παραγωγή δίνει λύση σε αυτήν την εξάρτηση παρέχοντας αυτάρκεια στους καταναλωτές, δεδομένου ότι η παραγωγή γίνεται κοντά στο σημείο ζήτησης από τοπικούς, μικρής κλίμακας σταθμούς όπου οι παραγωγοί είναι συνήθως και οι καταναλωτές. Τέτοια μεγέθη σταθμών δύναται να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή και την κάλυψη των αναγκών ποσών ενέργειας διότι η ζήτηση είναι μικρότερη. Ένα τέτοιο σύστημα είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα κεντρικά συστήματα παραγωγής με ορυκτά καύσιμα καθώς και χαρακτηρίζεται από:

- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Μειωμένες απώλειες
- Χαμηλότερους κινδύνους
- Βελτιωμένη ικανότητα αντιμετώπισης βλαβών

Σημαντικότερο πλεονέκτημα αποτελεί βέβαια η αξιοπιστία και ανθεκτικότητα τους, διότι λόγω της διεσπαρμένης αρχιτεκτονικής τους, ο κάθε καταναλωτής θα μπορεί να εξυπηρετηθεί από διαφορετικούς σταθμούς σε περίπτωση βλάβης σε έναν από αυτούς, ενώ μία βλάβη στο κεντρικό σταθμό θα επηρέαζε όλο το σύστημα και αυτό είναι που τοποθετεί αυτό τον τρόπο παραγωγής ενέργειας πολύ ψηλά στην λίστα με τους εναλλακτικούς και πιο βιώσιμους τρόπους παραγωγής ενέργειας [9] [10].

## Κεφάλαιο 3

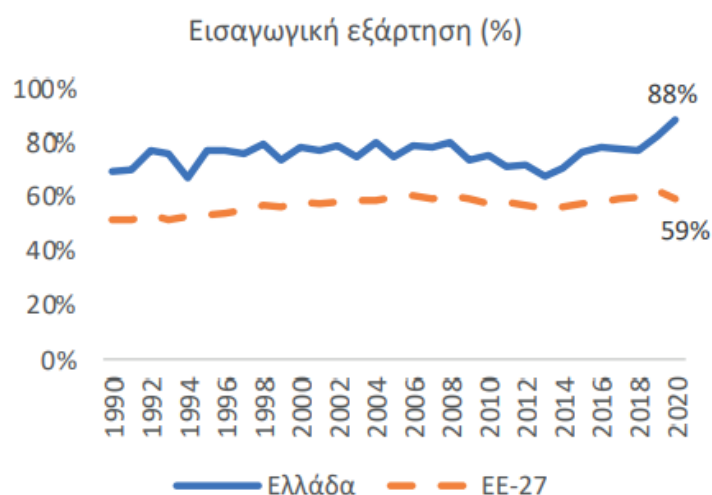
# Αυτοπαραγωγή Ενέργειας

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 3.1 Πρόβλημα υψηλών τιμών ενέργειας

Η άνοδος των τιμών ενέργειας αποτελεί σημαντική πρόκληση της σημερινής κοινωνίας και αυτό γιατί έχει άμεση επίπτωση στη καθημερινή ζωή των πολιτών. Οι αλληπάλληλες παγκόσμιες κρίσεις, όπως ο πόλεμος, οι πολιτικές εντάσεις/συγκρούσεις και πανδημίες επηρεάζουν τον ενεργειακό τομέα και ειδικότερα τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, -φανερώνοντας πόσο ασταθής μπορεί να γίνει η αγορά ενέργειας. Τέτοια γεγονότα σε χώρες που εφοδιάζουν και ελέγχουν τους ορυκτούς πόρους, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας σε άλλες χώρες, επηρεάζουν την παροχή τους, καθιστώντας έτσι τις χώρες που εξαρτώνται από αυτές τις εισερχόμενες πηγές, ευάλωτες [11]. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα οι ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονταν κυρίως από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας και στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται αυτή η ιδιαίτερα υψηλή εξάρτηση να είναι στο 88% έναντι του 59% της EU-27, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.1.

Σε περίπτωση που αυτή η παροχή διακοπεί τελείως, θα οδηγήσει σε έλλειψη παραγωγής άρα και σε αύξηση της ζήτησης και αύξηση των τιμών ενέργειας. Είναι σαφές οπότε ότι η μετάβαση σε ΑΠΕ έχει και στρατηγικά οφέλη όπως και προσφέρει μείωση της ενεργειακής εξάρτησης των κρατών από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και σαν αποτέλεσμα θα αποφευχθούν οι μεταβλητότητες και οι ακραίες τιμές ενέργειας που οφείλονται σε γεωπολιτικούς παράγοντες.



Σχήμα 3.1: Εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας και μερίδιο των εισαγωγών από τη Ρωσία (%)<sup>1</sup>



## 3.2 Η ανάγκη για θωράκιση των καταναλωτών/ Ενεργειακή Φτώχεια

Με τους καταναλωτές να είναι οι πρώτοι που επηρεάζονται από τις ραγδαίες αυξήσεις στην τιμή της ενέργειας δημιουργείται η ανάγκη για την άμεση θωράκιση τους. Οι αλληπάλληλες κρίσεις που επηρεάζουν άμεσα τις τιμές ενέργειας ασκούν μη βιώσιμες και πληθωριστικές πιέσεις στους καταναλωτές και ειδικά στις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, οι οποίες χαρακτηρίζονται κυρίως από χαμηλό εισόδημα. Ένα μείζον ζήτημα που έχει δημιουργηθεί από τις γενικά υψηλές τιμές ενέργειας είναι αυτό της ενεργειακής φτώχειας.

Η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα φαινόμενο που ορίζεται από τον αποκλεισμό ή την ανεπαρκή πρόσβαση των νοικοκυριών στην ενέργεια, ωστόσο στην Ελλάδα δεν υπάρχει ακόμα επίσημος ορισμός και προς το παρόν, η προσπάθεια αντιμετώπισής της δεν είναι οργανωμένη και συστηματική [13]. Από έρευνα που έκανε το INZEB, σε συνεργασία με το Ίδρυμα Χάινριχ Μπελ Ελλάδας σε 691 νοικοκυριά σχετικά με το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας παρουσιάστηκαν τέσσερα βασικά ευρήματα που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.2).

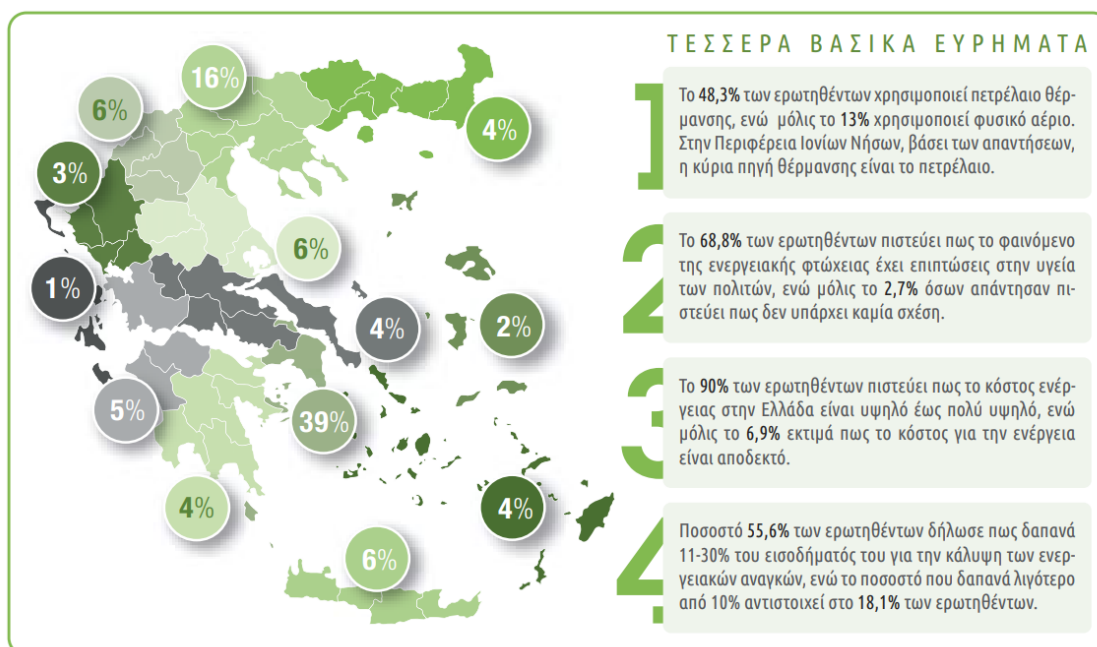
Είναι αξιοσημείωτο το πόσοι πολίτες θεωρούν συνδεδεμένο το φαινόμενο με την υγεία τους, γεγονός που κρίνει την αντιμετώπισή του αρκετά σημαντική. Επιπλέον, όσον αφορά την αίσθηση άνεσης και ευεξίας των πολιτών στην κατοικία τους, ένα σημαντικό 30,2% των ερωτηθέντων ανέφερε ότι βιώνει πολύ συχνά έως συχνά δυσφορία λόγω του κρύου και της ζέστης τον χειμώνα και το καλοκαίρι. Οι οικονομικοί περιορισμοί, ιδιαίτερα η αδυναμία να αγοράσουν πετρέλαιο, αναδείχθηκαν ως πρωταρχικός παράγοντας, παράλληλα με τους μειωμένους οικιακούς προϋπολογισμούς που διατίθενται για υπηρεσίες ενέργειας λόγω του κόστους πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, πολλές απαντήσεις ανέφεραν την ανεπαρκή κατάσταση των κατοικιών ως παράγοντα που συμβάλει, συμπεριλαμβανομένης της ανεπαρκούς μόνωσης, της κακής ποιότητας κουφωμάτων και της ανεπαρκούς συντήρησης συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, όπως καυστήρες και κλιματιστικά. Όσον αφορά τις δαπάνες που σχετίζονται με τις ενεργειακές υπηρεσίες, η συντριπτική πλειοψηφία των ερωτηθέντων, που αντιστοιχεί στο 90%, θεωρεί ότι είναι είτε υψηλές είτε πολύ υψηλές [13].

---

<sup>1</sup>Πηγή: σελ.47 του άρθρου [12]

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Σχήμα 3.2: Κατανομή απαντήσεων ανά περιφέρεια<sup>1</sup>

Στη συνέχεια, με βάση στοιχεία που αντλήθηκαν από την Eurostat, δύο από τους πιο σημαντικούς δείκτες της ενεργειακής φτώχειας σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας είναι οι ακόλουθοι [13]:

- Η καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών στους οργανισμούς κοινής ωφελείας (Arrears on utility bills)
- Η αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης στις κατοικίες (Inability to keep home adequately warm)

<sup>1</sup>Πηγή: σελ.31 του άρθρου [13].

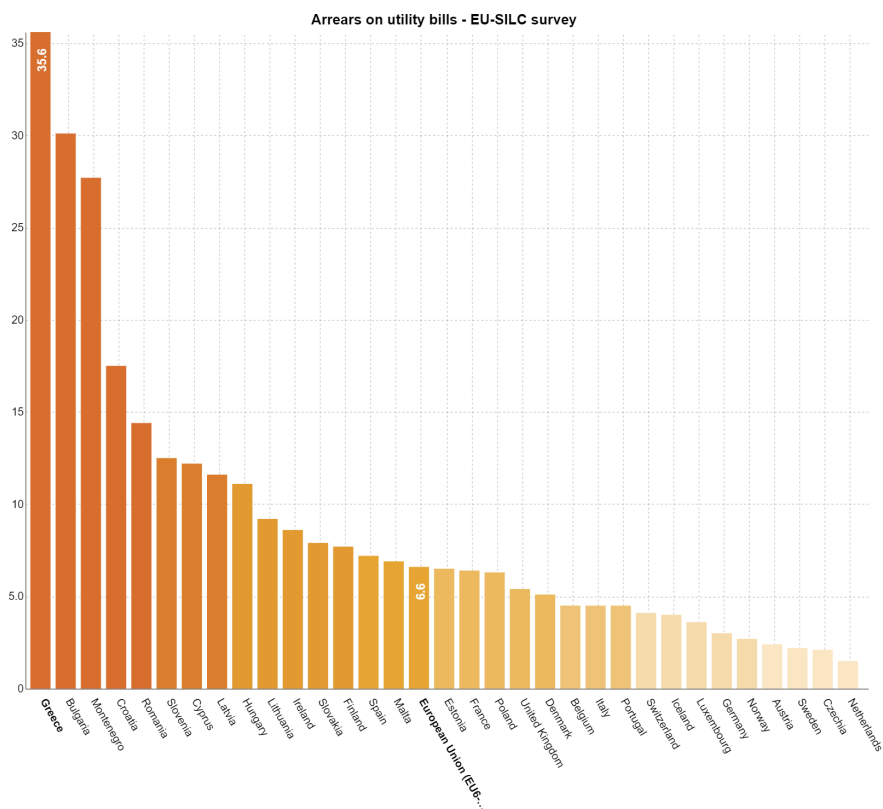
## 3.2 Η ανάγκη για θωράκιση των καταναλωτών/ Ενεργειακή Φτώχεια

### 3.2.1 Καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών στους οργανισμούς κοινής ωφελείας 2018-2022

Το 2018 η Ελλάδα εμφάνιζε το μεγαλύτερο ποσοστό επί του πληθυσμού της χώρας αναφορικά με καθυστερήσεις αποπληρωμής οφειλών σε λογαριασμούς κοινής ωφέλειας, με 35,6%, έναντι μέσου όρου της Ευρωπαϊκής Ένωσης ίσο με το 7,3% όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.4(α').

Το 2022 η Ελλάδα συνεχίζει να είναι στην κορυφή της λίστας με μικρή μείωση, της τάξης του 1,5% του, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.4(β')), με τη διαφορά της από το μέσο όρο της ΕΕ να παραμένει υπερβολικά μεγάλη. Γνωρίζοντας επίσης ότι το μεγαλύτερο μέρος των λογαριασμών κοινής ωφέλειας αποτελείται από λογαριασμούς ενέργειας, γίνεται αντιληπτό ότι το πρόβλημα υψηλών τιμών ενέργειας παραμένει ένα μείζον ζήτημα για τους περισσότερους καταναλωτές.

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



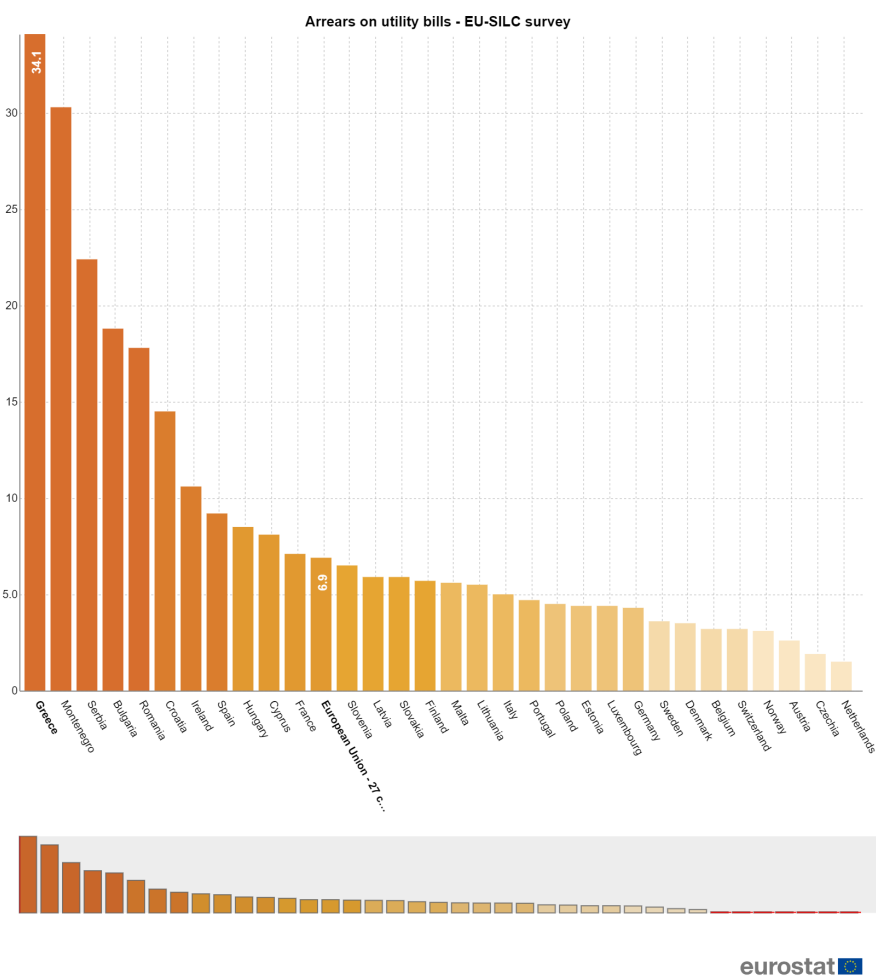
This graph has been created automatically by ESTAT/EC software according to external user specifications for which ESTAT/EC is not responsible.  
General disclaimer of the EC website: [https://ec.europa.eu/info/legal-notice\\_en.html](https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en.html)



(α') 2018

Σχήμα 3.3: Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών

### 3.2 Η ανάγκη για θωράχιση των καταναλωτών/ Ενεργειακή Φτώχεια



This graph has been created automatically by ESTAT/EC software according to external user specifications for which ESTAT/EC is not responsible.  
General disclaimer of the EC website: [https://ec.europa.eu/info/legal-notice\\_en.html](https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en.html)

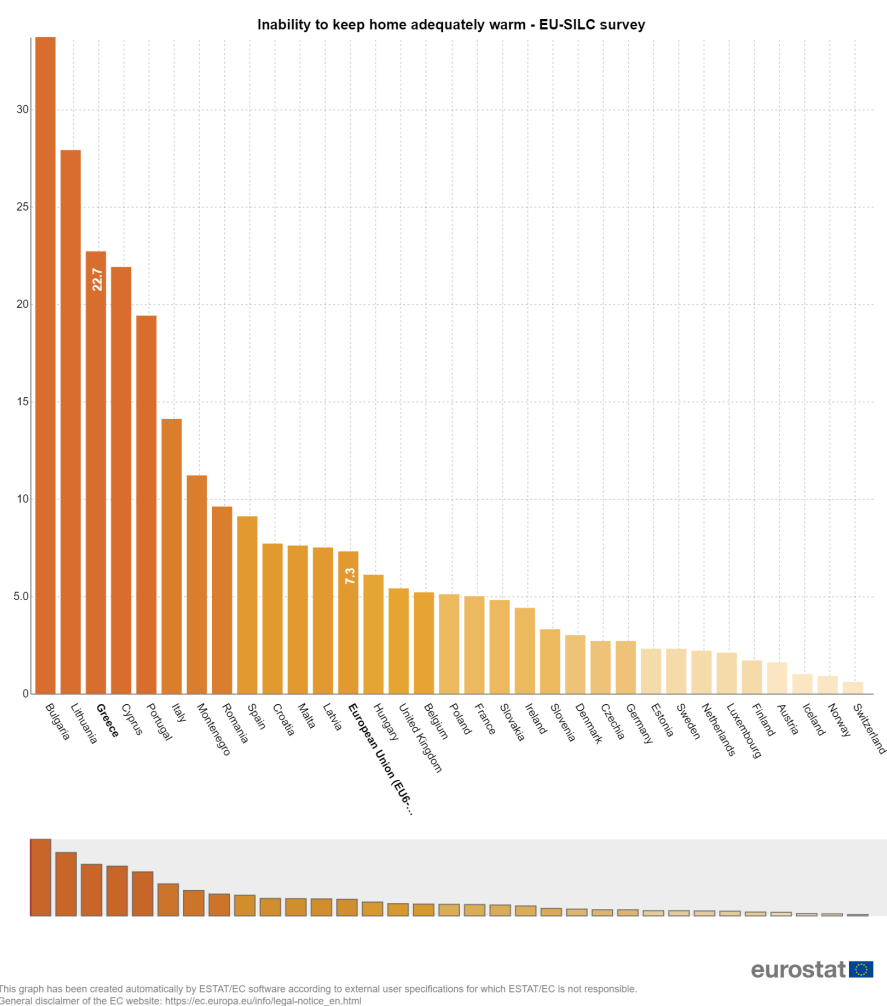
(β') 2022

Σχήμα 3.3: Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με καθυστέρηση αποπληρωμής οφειλών

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 3.2.2 Αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης στις κατοικίες 2018-2022

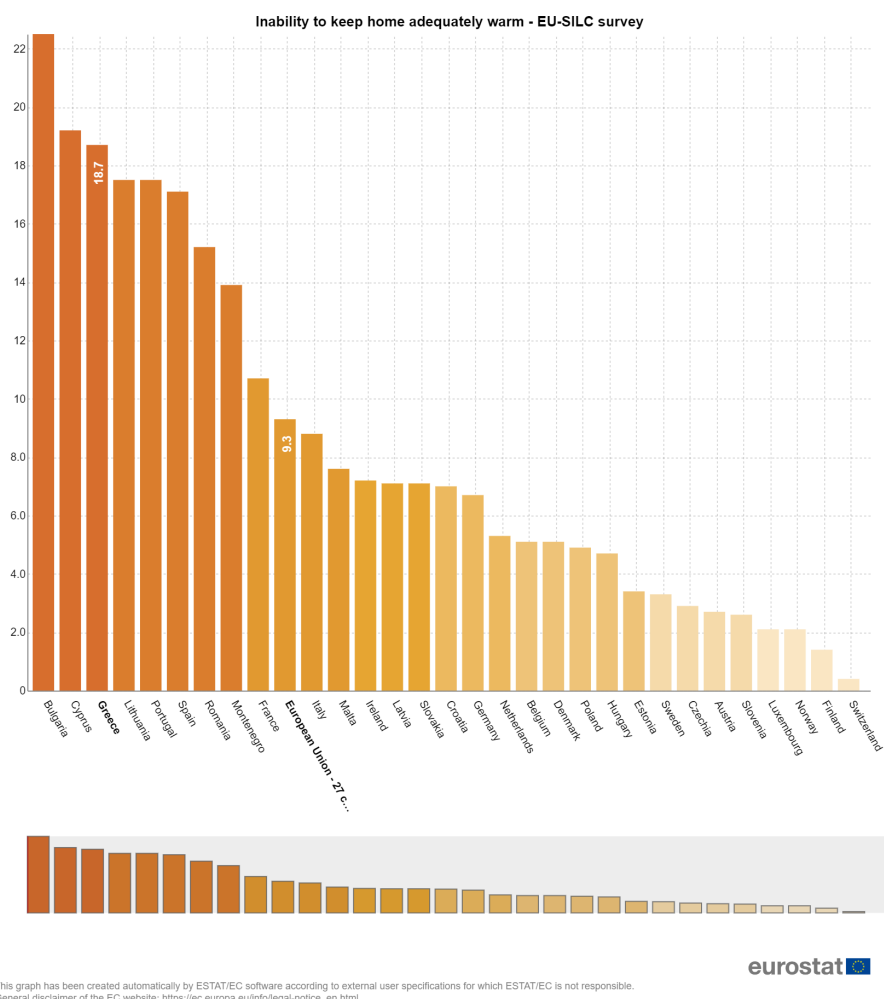
Στο επόμενο διάγραμμα παρατηρείται ότι η Ελλάδα κατέχει την τρίτη θέση το 2018, με ποσοστό 22,7% επί του πληθυσμού της να μην μπορεί να διατηρήσει επαρκή θέρμανση στην οικία του, με το αντίστοιχο ποσοστό της ΕΕ να είναι στο 7,3%.



(α') 2018

Σχήμα 3.4: Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης

### 3.2 Η ανάγκη για θωράχιση των καταναλωτών/ Ενεργειακή Φτώχεια



(β') 2022

Σχήμα 3.4: Ποσοστό του πληθυσμού, ανά χώρα της ΕΕ, με αδυναμία διατήρησης επαρκούς θέρμανσης

Το ποσοστό της Ελλάδας μειώθηκε κατά 4% το έτος 2022 και έφτασε το 18,7%, αλλά ακόμα η διαφορά με το μέσο όρο της ΕΕ παραμένει σημαντική, παρά το γεγονός ότι ο τελευταίος σημείωσε μερική αύξηση, στο 9,3%.

Μέσο για την αντιμετώπιση αυτής της ενεργειακής φτώχειας και την προστασία των καταναλωτών από την αστάθεια και τα μεταβλητότητα της αγοράς αποτελεί, η δημιουργία τοπικών λύσεων παραγωγής ενέργειας, ευνοώντας την πλήρη ή μερική αποσύνδεση των καταναλωτών από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μία τέτοια περίπτωση οι καταναλωτές

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

μετατρέπονται σε αυτοπαραγωγούς, αφενός απολαμβάνοντας τη δυνατότητα ενεργειακής αυτονόμησης και αφετέρου αναλαμβάνοντας την ευθύνη επένδυσης και λειτουργίας παρόμοιων ενεργειακών λύσεων.

#### 3.3 Η αυτοπαραγωγή ενέργειας ως εναλλακτική πρόταση

Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, η αυτοπαραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εκτός του ότι είναι η εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση των υπεραυξημένων τιμών ρεύματος, είναι και ισχυρός σύμμαχος απέναντι στην μείωση του περιβαλλοντικού μας αποτυπώματος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στις οροφές των σπιτιών ή σε κοινόχρηστους χώρους προσφέρουν τη δυνατότητα παραγωγής καθαρής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο ο αυτοπαραγωγός (prosumer) αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, μπορεί να παράγει, να καταναλώνει και να αποθηκεύει την παραχθείσα ενέργεια και τυχόν πλεόνασμα να το διοχετεύσει στο εθνικό δίκτυο.

Υπάρχουν δύο τύποι αυτοπαραγωγών: Στην πρώτη περίπτωση, ο αυτοπαραγωγός και καταναλωτής παραμένει συνδεδεμένος στο κεντρικό δίκτυο και παράγει μόνο ένα μέρος των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια. Πρακτικές όπως το net metering έχουν ενθαρρύνει τους καταναλωτές προς αυτό το μοντέλο. Στη δεύτερη περίπτωση, ο αυτοπαραγωγός και καταναλωτής αποσυνδέεται εξ ολοκλήρου από το κεντρικό δίκτυο, που αυτό συμβαίνει κυρίως σε αγροτικές περιοχές ή σε περιοχές με πολύ υψηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας [14].

Με αυτόν τον τρόπο ο ρόλος των αυτοπαραγωγών είναι εξίσου σημαντικός για την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την επίτευξη των ενεργειακών στόχων που έχει θέσει η Πολιτεία. Επίσης, στρέφοντας την παραγωγή ενέργειας σε ιδιοκατανάλωση, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποσυμφορείται, διότι η χρήση του net metering ήταν επιτυχημένη έως τώρα αλλά δεν είναι μόνιμη λύση. Έτσι, δημιουργώντας μοντέλα συνεργασίας μεταξύ των καταναλωτών και χρησιμοποιώντας την οικιακή αποθήκευση μπορούμε να υποστηρίξουμε το δίκτυο και τον καταναλωτή [15].

#### 3.4 Πλαίσιο αυτοπαραγωγής στην Ελλάδα

Η ελληνική κυβέρνηση δημοσίευσε στο ΦΕΚ Α'78/28.03.2023 τον Ν.5037/2023 που επικυρώθηκε από τη Βουλή στις 20.03.2023. Αυτή τη νομοθεσία ευθυγραμμίζεται με το



ευρωπαϊκό πλαίσιο πολιτικής που αποσκοπεί στην εκπλήρωση των στόχων της Ελλάδας για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030. Επιπλέον, υποστηρίζει την πρωταρχική φιλοδοξία της χώρας για μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών έως το 2050. Αυτός ο νόμος είναι ο τελευταίος που εκδίδεται μετά από μία σειρά υπουργικών αποφάσεων και οδηγιών, με την πρώτη αναφορά για πλαίσιο αυτοπαραγωγής να γίνεται στο άρθρο 14Α του νόμου 3468/2006.

#### 3.4.1 Ορισμοί

Για την καλύτερη κατανόηση του νομικού πλαισίου αυτοπαραγωγής στην Ελλάδα, όπως αυτό προβλέπεται από τον ν.5037/2023, δίνονται κάποιοι ορισμοί:

1. **Ενεργειακός συμψηφισμός (net metering):** Ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από σταθμούς Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. αυτοκαταναλωτή, με την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκατάσταση του αυτοκαταναλωτή, η οποία συνδέεται ηλεκτρικά με αποκλειστική γραμμή διασύνδεσης. Οι σταθμοί Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. συνδέονται στο Δίκτυο, μέσω της παροχής της εγκατάστασης καταπόνησης.
2. **Εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός:** Ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. αυτοκαταναλωτή, με την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις του αυτοκαταναλωτή, από τις οποίες τουλάχιστον η μία, είτε δεν βρίσκεται στον ίδιο ή όμορο χώρο με τους σταθμούς είτε, αν βρίσκεται, τροφοδοτείται από διαφορετική παροχή.
3. **Αυτόνομος Παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.:** Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε. και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.
4. **Αυτοπαραγωγός ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού - Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α) ή αυτοπαραγωγός ή αυτοκαταναλωτής:** Ο τελικός πελάτης, ο οποίος λειτουργεί, εντός των εγκαταστάσεών του, που βρίσκονται στον ίδιο ή όμορο, με τους σταθμούς παραγωγής, ή άλλο χώρο, αλλά συνδέεται ηλεκτρικά με αποκλειστική γραμμή διασύνδεσης με τους σταθμούς παραγωγής και παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

για τις δικές του ανάγκες, έχοντας τη δυνατότητα να αποθηκεύει ή να πωλεί αυτοπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α., εφόσον οι δραστηριότητες αυτές δεν αποτελούν την κύρια εμπορική ή επαγγελματική του δραστηριότητα.

5. **Αυτοκαταναλωτές που ενεργούν από κοινού:** Ομάδα τουλάχιστον δύο (2) αυτοκαταναλωτών, σύμφωνα με την παρ. 6, που βρίσκονται στο ίδιο κτήριο.
6. **Αυτοκαταναλωτής με εικονικό ταυτοχρονισμένο συμφητισμό:** Ο αυτοκαταναλωτής της παρ. 6, του οποίου οι εγκαταστάσεις κατανάλωσης δεν βρίσκονται στον ίδιο χώρο με τους σταθμούς παραγωγής Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α., και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται και εγχέεται στο Δίκτυο ή στο Σύστημα συμφητίζεται ταυτοχρονισμένα με την αντίστοιχη ενέργεια που απορροφάται από το Δίκτυο ή το Σύστημα και καταναλώνεται στις εγκαταστάσεις του. Οι σταθμοί παραγωγής μπορούν να εγκαθίστανται σε οποιαδήποτε περιφέρεια ανεξαρτήτως του τόπου στον οποίο βρίσκονται οι εγκαταστάσεις κατανάλωσης. Ειδικά για τις Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών ή τις Κοινότητες Ανανεώσιμης Ενέργειας ή τις Ενεργειακές Κοινότητες του ν. 4513/2018 (Α' 9), οι σταθμοί παραγωγής μπορούν να εγκαθίστανται σε οποιαδήποτε περιφέρεια, ανεξαρτήτως πού βρίσκονται οι εγκαταστάσεις κατανάλωσης και η έδρα της Κοινότητας και επιπλέον οι εγκαταστάσεις κατανάλωσης δεν υποχρεούνται να βρίσκονται όλες στην ίδια περιφέρεια.
7. **Κοινότητα Ανανεώσιμης Ενέργειας (Κ.Α.Ε.):** Η νομική οντότητα, η οποία:
  - α) στηρίζεται σε ανοικτή και εθελοντική συμμετοχή, έχει αυτονομία και τελεί υπό τον ουσιαστικό έλεγχο των μελών που βρίσκονται κοντά στα έργα ανανεώσιμης ενέργειας που ανήκουν και αναπτύσσονται από αυτή, β) έχει ως πρωταρχικό σκοπό να παρέχει περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη σε επίπεδο κοινότητας για τα μέλη της ή τις τοπικές περιοχές όπου δραστηριοποιείται, και όχι το οικονομικό κέρδος.

#### 3.4.2 Βασικό Πλαίσιο

Σύμφωνα με το Ν.5037/2023 Ελλάδα το βασικό πλαίσιο της αυτοπαραγωγής ορίζει ότι οι καταναλωτές έχουν το δικαίωμα να ενεργούν ως αυτοκαταναλωτές ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, είτε ατομικά είτε από κοινού, επιτρέποντάς τους να παράγουν και να καταναλώνουν ενέργεια, να αποθηκεύουν περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια και να πωλούν την πλεονάζουσα ενέργεια χωρίς μεσάζοντες μέσω συμβάσεων με προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας ή εμπορικών συμφωνιών. Δικαιούνται επίσης να εγκαθιστούν και να λειτουργούν

συστήματα αποθήκευσης ενέργειας παράλληλα με εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Επιπρόσθετα, οι καταναλωτές διατηρούν τα δικαιώματα και τις ευθύνες τους ως τελικοί χρήστες και ενδέχεται να λαμβάνουν αποζημίωση για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν από ανανεώσιμες πηγές και διοχετεύουν στο δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη την αγορά και τη μακροπρόθεσμη αξία της για το περιβάλλον και την κοινωνία. Επιπλέον, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να εγκαταστήσουν σταθμούς παραγωγής ενέργειας χωριστά από τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης, αντισταθμίζοντας την παραγόμενη ενέργεια με την αντίστοιχη ποσότητα που καταναλώνουν στις εγκαταστάσεις τους. Μπορούν επίσης να εγκαταστήσουν σταθμούς παραγωγής μόνο για αυτοκατανάλωση, εγκατεστημένης ισχύος έως και 100% της συμφωνημένης παροχής κατανάλωσης.

Σημαντική είναι και η προσπάθεια για να διευκολυνθεί η προώθηση και η ανάπτυξη της αυτοκατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές αφού η νομοθεσία αντιμετωπίζει διάφορα εμπόδια διασφαλίζοντας καθολική πρόσβαση, άρση οικονομικών εμποδίων και παρέχοντας κίνητρα στους ιδιοκτήτες κτηρίων. Επιπρόσθετα, εφαρμόζονται μέτρα για την εξάλειψη των φραγμών για την αυτοκατανάλωση και την παροχή πρόσβασης χωρίς διακρίσεις σε συστήματα υποστήριξης και αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 3.4.3 Net Metering – Net Billing

Η νομοθεσία έχει προβλέψει την πολιτική του ενεργειακού συμψηφισμού (net metering) (βλ. Ενότητα 3.4.1-ορισμός νο.1) για τον τρόπο λειτουργίας της αυτοπαραγωγής όπου ουσιαστικά οποιαδήποτε πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται αλλά δεν καταναλώνεται αμέσως από τους αυτοπαραγωγούς, τροφοδοτείται στο δίκτυο, όπου παραμένει αποθηκευμένη για μέγιστο χρονικό διάστημα τριών ετών. Μετά την περίοδο αυτή, τυχόν εναπομείνουσα πλεονάζουσα ενέργεια δεν αποζημιώνεται για τον καταναλωτή [16].

Επιπρόσθετα, τέθηκε από τον νόμο 5037/2023 ανώτατο όριο ισχύς φωτοβολταϊκού ανά παροχή κατανάλωσης. Ειδικότερα για τις οικιακές χρήσεις το ανώτατο όριο ισχύς φωτοβολταϊκού δεν μπορεί να ξεπερνά τα 10,8 kW ανά παροχή κατανάλωσης και για τις επιχειρήσεις δεν μπορεί να ξεπερνά τα 100 kW ανά παροχή κατανάλωσης. Η τελευταία νομοθεσία όμως, έθεσε ένα καινούργιο μοντέλο συμψηφισμού ενέργειας, το οποίο έρχεται να αντικαταστήσει τον ενεργειακό συμψηφισμό όπως τον ξέρουμε μέχρι σήμερα. Ο λόγος για τον ταυτοχρονισμένο ενεργειακό συμψηφισμό, όπου ουσιαστικά πλέον συμψηφίζονται λογαριασμοί ρεύματος και όχι κιλοβατώρες [16].

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ουσιαστικά, ο συμψηφισμός γίνεται πλέον μεταξύ του κόστους της ενέργειας που αντλείται από το δίκτυο, όταν η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών, και του ποσού που αντιστοιχεί στην πλεονάζουσα ενέργεια που πωλείται<sup>1</sup>. Η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται μέσω συμβάσεων αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και εμπορικών συμφωνιών απευθείας, χωρίς να χρειάζονται μεσάζοντες. Οι τρέχουσες τιμές πώλησης έχουν ως εξής: για φωτοβολταϊκά ισχύς έως 1 MWp, η τιμή πώλησης είναι 65,74€/MWh, μέχρι τον Αύγουστο του 2024. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με ισχύ άνω του 1 MWp έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε διαγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών ή εισέρχονται στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Φορέα Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦοΣΕ) ή διμερών συμφωνιών (PPAs). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος άνω του 1 MW, εάν η ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο είναι μικρότερη από 1.500 MWh ετησίως, η συμμετοχή σε διαγωνισμό δεν είναι υποχρεωτική και παρέχεται αποζημίωση στην τιμή των 65,74 €/MWh<sup>2</sup>.

Οι βασικότερες διαφορές του εικονικού συμψηφισμού με τον ταυτοχρονισμένο ενεργειακό συμψηφισμό παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Σύγκριση Net Metering – Net Billing<sup>2</sup>

NET METERING	NET BILLING
Συμψηφισμός Ενέργειας	Συμψηφισμός Κόστους Ενέργειας
10,8kW όριο ισχύος Φ/Β για οικίες	Δεν έχει τεθεί όριο
100kW όριο ισχύος Φ/Β για επιχειρήσεις	Δεν έχει τεθεί όριο
Δεν επιτρέπεται εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός για επιχειρήσεις (βλ. Ενότητα 3.4.1-ορισμός νο.1)	Επιτρέπεται εικονικός ταυτοχρονισμένος ενεργειακός συμψηφισμός για επιχειρήσεις (βλ. Ενότητα 3.4.1-ορισμός νο.1)

#### 3.4.4 Ενεργειακές Κοινότητες

Στην Ελλάδα το πρώτο βήμα προς τη δημιουργία ενεργειακών κοινοτήτων έχει επιτευχθεί με τον νόμο 4313/2018 που ορίζει τις ενεργειακές κοινότητες ως εξής<sup>3</sup>

**Η Ενεργειακή Κοινότητα (Ε.Κοιν.)** είναι αστικός συνεταιρισμός αποκλειστικού σκοπού με στόχο την προώθηση της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας, όπως ορίζεται στην παρ. 1 του άρθρου 2 του ν. 4430/2016 (Α' 205), και της καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, την αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδεια και την προαγωγή της ενεργ-

<sup>1</sup>Πηγή

<sup>2</sup>Πηγή

<sup>3</sup>Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 23 Ιανουαρίου 2018, Τεύχος Πρώτο, Αρ.Φύλλου 9

### 3.4 Πλαίσιο αυτοπαραγωγής στην Ελλάδα

γειακής αιεφορίας, την παραγωγή, αποθήκευση, ιδιοκατανάλωση, διανομή και προμήθεια ενέργειας, την ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και ασφάλειας σε νησιωτικούς δήμους, καθώς και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην τελική χρήση σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, μέσω της δραστηριοποίησης στους τομείς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.), της ορθολογικής χρήσης ενέργειας, της ενεργειακής αποδοτικότητας, των βιώσιμων μεταφορών, της διαχείρισης της ζήτησης και της παραγωγής, διανομής και προμήθειας ενέργειας.

Από τότε και με τον Ν.5037/2023 εισήλθαν δύο νέες μορφές κοινοτήτων που θα αντικαταστήσουν της ενεργειακές κοινότητες του Ν.4513/2018, οι Κοινότητες Ανανεώσιμης Ενέργειας (Κ.Α.Ε.) και οι Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών (Ε.Κ.Π.), τα βασικά χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Σημαντικό είναι ότι αυτά τα δύο νέα πλαίσια ανοίγουν τον δρόμο για την αξιοποίηση του θεσμού από οικιακούς καταναλωτές, επιχειρήσεις και οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης, ενώ στις Κ.Α.Ε δικαίωμα θα έχουν να συμμετέχουν και αγροτικοί συνεταιρισμοί , κάτι που δεν ισχύει για τις Ε.Κ.Π<sup>1</sup>.

Πίνακας 3.2: Μορφές κοινοτήτων<sup>2</sup>

	Κοινότητες Ανανεώσιμης Ενέργειας	Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών
Χώρος Δραστηριότητας	Σε μία περιφέρεια Τουλάχιστον το πενήντα τοις εκατό (50%)	Σε μία ή περισσότερες περιφέρειες
Σταθμοί παραγωγής	συν ένα (1) των μελών έχουν εγγύτητα στην περιοχή όπου η Κ.Α.Ε. ασκεί τις δραστηριότητές της και αναπτύσσει το έργο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	Σε οποιαδήποτε περιφέρεια
Υποχρεωτικώς ένα από τα ακόλουθα αντικείμενα δραστηριότητας	Παραγωγή, κατανάλωση, αποθήκευση και πώληση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	Παραγωγή, κατανάλωση, αποθήκευση και πώληση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αλλά και διανομή και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας, σωρευτική εκπροσώπηση, παροχή ευελιξίας και εξισορρόπησης, καθώς και παροχή υπηρεσιών ενεργειακής απόδοσης, φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και άλλων υπηρεσιών ενέργειας στα μέλη της.

<sup>1</sup>Πηγή

<sup>2</sup>Πηγή

## 3.5 Σχήματα Ομότιμων Κόμβων (P2P)

### 3.5.1 Περιγραφή σχημάτων P2P στον οικιακό τομέα / Microgrid Markets

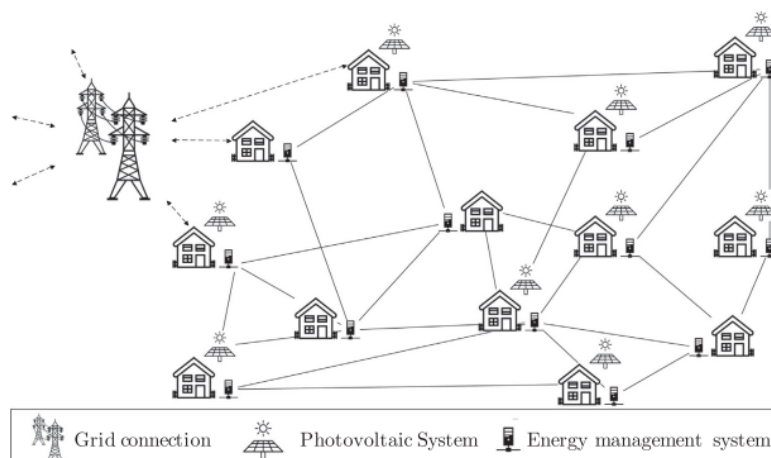
Σε συνέχεια του προβλήματος του αυξημένου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και σε συνδυασμό με την αυτοπαραγωγή δημιουργείται ένα πρόγραμμα που οραματίζεται την δυνατότητα συναλλαγής και ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των αυτοπαραγωγών και των καταναλωτών. Το σχήμα ομότιμων κόμβων (Peer-to-Peer) έχει ως κύριο στόχο του, την ουσιαστική αποκοπή από το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος και τη μετάβαση στην απόλυτη αυτονομία των μικρών και διεσπαρμένων κοινωνιών και όχι μόνο. Σε αυτό το σχήμα μπορούν να συνυπάρχουν οι παραγωγοί που κάνουν και ιδιοκατανάλωση με δυνατότητα αποθήκευσης αλλά και οι καταναλωτές που προμηθεύονται αποκλειστικά από τους παραγωγούς του κόμβου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται μικρότερης κλίμακας δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Microgrids) που στοχεύουν στην ύπαρξη ισορροπίας, σταθερότητας και αξιοπιστίας ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση.

Οι αγορές ενέργειας μικροδικτύων χρησιμεύουν ως πλατφόρμες για μικρής κλίμακας προμηθευτές και καταναλωτές για να ανταλλάσσουν τοπικά παραγόμενη ενέργεια εντός της κοινότητάς τους, προάγοντας την κατανάλωση κοντά στην πηγή της και ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την αποτελεσματική χρήση των πόρων. Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζεται ένα υποθετικό σενάριο μιας αγοράς ενέργειας μικροδικτύων που περιλαμβάνει οικιακούς καταναλωτές και καταναλωτές εξοπλισμένους με φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι συμμετέχοντες δεν χρειάζεται να συνδέονται φυσικά. Τα εικονικά μικροδίκτυα περιλαμβάνουν τον συντονισμένο έλεγχο πολλαπλών παραγωγών ενέργειας, προμηθευτών και καταναλωτών σε μια εικονική κοινότητα.

Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση εικονικών συμμετεχόντων με φυσικά μικροδίκτυα μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τις δυνατότητες εσόδων. Χρησιμοποιώντας τοπικούς ενεργειακούς πόρους για την κάλυψη της ζήτησης, οι αγορές μικροδικτύων ελαχιστοποιούν την ανάγκη για δαπανηρή και αναποτελεσματική μεταφορά ενέργειας, μειώνοντας τις απώλειες και βελτιώνοντας την ανταπόκριση σε σφάλματα συμφόρησης και διανομής. Αυτές οι αγορές ενδυναμώνουν τις τοπικές κοινωνίες, ενισχύοντας την αυτάρκεια και μειώνοντας ενδεχομένως το ενεργειακό κόστος. Τα κέρδη που παράγονται από τοπικές συναλλαγές κυκλοφορούν εντός της κοινότητας, τονώνοντας την επανεπένδυση σε πρόσθετη παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατά συνέπεια, οι αγορές ενέργειας μικροδικτύων εισάγουν μια νέα κατη-

### 3.5 Σχήματα Ομότιμων Κόμβων (P2P)

γορία περιουσιακών στοιχείων και παρέχουν στα μέλη της κοινότητας άνευ προηγουμένου άμεση πρόσβαση σε τοπικά παραγόμενη ενέργεια από τους γείτονές τους, ενισχύοντας έτσι τη συνδεσιμότητα και την ανθεκτικότητα της κοινότητας.



Σχήμα 3.5: Παράδειγμα αγοράς ενέργειας μικροδικτύων<sup>1</sup>

#### 3.5.2 Καλές πρακτικές από το διεθνές περιβάλλον

##### 3.5.2.1 The Brooklyn Microgrid (BMG)

Το πρόγραμμα του Brooklyn Microgrid (BMG) από την LCO3 Energy ξεκίνησε σαν πιλοτικό πρόγραμμα από το 2016 με την χρήση πλατφόρμας για peer-to-peer εμπορία ενέργειας. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα επιδεινώνουν τα λειτουργικά προβλήματα των ήδη απαρχαιωμένων ηλεκτρικών δικτύων στο Μπρούκλιν, προκαλώντας ανησυχίες για την ανθεκτικότητά τους. Το BMG στοχεύει να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις αναπτύσσοντας ένα φυσικό μικροδίκτυο που μπορεί να μετριάσει τα προβλήματα του δικτύου μέσω της πλήρους αποσύνδεσης και επιτρέποντας τον τοπικό έλεγχο της διανομής ενέργειας εντός της κοινότητας [17].

Η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας τοπικής αγοράς ενέργειας για τους χρήστες, όπου μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα σε peer-to-peer συναλλαγές ενέργειας, αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε μπαταρίες για ιδιοκατανάλωση. Ουσιαστικά, οι καταναλωτές με εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και να έχουν τη

<sup>1</sup>Πηγή: [17]

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

δυνατότητα να πουλήσουν την πλεονάζουσα ενέργεια σε άλλους καταναλωτές της κοινότητας. Αυτές οι ενεργειακές συναλλαγές μεταξύ γειτόνων παρακολουθούνται από ένα δίκτυο blockchain, με έξυπνους οικιακούς μετρητές που παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τις δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

#### 3.5.2.2 Piclo

Το Piclo είναι η πρώτη πλατφόρμα αγοράς ενέργειας peer-to-peer για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο και ιδρύθηκε ως απάντηση στην αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των εμπορικών καταναλωτών και τον ταχέως αυξανόμενο αριθμό ανεξάρτητων προμηθευτών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [18]. Χρησιμοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους, η πλατφόρμα διευκολύνει τις άμεσες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας από τοπικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τους επαγγελματίες καταναλωτές, αντιστοιχίζοντας τη ζήτηση των χρηστών με κοντινές πηγές παραγωγής βάσει προτιμήσεων και τοποθεσιών [19]. Το συγκεκριμένο project έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ευέλικτες σχέσεις μεταξύ των πελατών και των προμηθευτών. Για παράδειγμα, έχουν την δυνατότητα να κρατήσουν τον ίδιο προμηθευτή αν το επιλέξουν [20].

Παράλληλα το Piclo παρέχει στους πελάτες απεικονίσεις και αναλύσεις δεδομένων σε διαστήματα μισής ώρας. Αντίστοιχα η Good Energy, ο προμηθευτής ενέργειας, χειρίζεται συμβόλαια, μετρήσεις, τιμολόγηση, εξυπηρέτηση πελατών και πληροφορίες αγοράς. Αυτά τα δεδομένα διευκολύνουν την αλληλεπίδραση με τους πελάτες, επιδεικνύουν βιωσιμότητα και προσφέρουν ανταμοιβές για την αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

#### 3.5.2.3 sonnenCommunity

Το sonnenCommunity αναπτύχθηκε το 2016 από την sonnenBatterie, με έδρα τη Γερμανία. Η κοινότητα αυτή είναι ένα peer-to-peer δίκτυο που περιλαμβάνει ιδιοκτήτες μονάδων sonnenBatterie (έξυπνο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας) που μοιράζονται ενεργά την αυτοπαραγόμενη ενέργεια μεταξύ τους δημιουργώντας τεράστιες εικονικές δεξαμενές αποθήκευσης ενέργειας [19]. Σαν αποτέλεσμα, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποσυμφορείται και σταθεροποιείται.

Επιπλέον, τις ημέρες με άφθονη ηλιακή παραγωγή, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ικανοποιήσουν πλήρως την ενεργειακή του ζήτηση μέσω της χρήσης του sonnenBatterie και του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται αποθηκεύεται σε μια εικονική μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, προσβάσιμη σε άλλα μέλη, π.χ. κατά



### 3.5 Σχήματα Ομότιμων Κόμβων (P2P)

---

τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών, αντί να τροφοδοτείται αυτό το πλεόνασμα στο κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, με τη ενσωμάτωση της εμπορίας ενέργειας με την τεχνολογία αποθήκευσης μπαταριών, η SonnenCommunity διευκολύνει την παραγωγή πλεονάζουσας ενέργειας, η οποία μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες για σενάρια έκτακτης ανάγκης ή για μεταγενέστερη πώληση [20]. Συμπληρωματικά υπάρχει μία κεντρική πλατφόρμα λογισμικού που συνδέει και επιβλέπει όλα τα μέλη της SonnenCommunity, διασφαλίζοντας μια ισορροπημένη προσφορά και ζήτηση ενέργειας [19].

#### 3.5.2.4 SunContract

Η SunContract, που ιδρύθηκε στις 13 Απριλίου 2018, στη Σλοβενία, είναι μια ενεργή πλατφόρμα peer-to-peer (P2P) που βασίζεται σε blockchain και λειτουργεί σε εθνικό επίπεδο, διευκολύνοντας την απρόσκοπτη αγορά, πώληση ή ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ καταναλωτών. Ο πρωταρχικός της στόχος είναι να προωθήσει την ενισχυμένη ενεργειακή αυτονομία και βιωσιμότητα καλλιεργώντας μια αυτοδύναμη κοινότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Για την υλοποίηση αυτού του οράματος, η εταιρεία έχει δημιουργήσει μια δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας που περιλαμβάνει τόσο τους παραγωγούς όσο και τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, ενθαρρύνοντας το εμπόριο ενέργειας εντός του δικτύου. Μέσω αυτής της ομάδας, οι συμμετέχοντες έχουν την αυτονομία να επιλέγουν πωλητές και αγοραστές ενέργειας με βάση τις ατομικές τους προτιμήσεις χωρίς μεσάζοντες [20].

### 3. ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

# Κεφάλαιο 4

## Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία στόχος μας είναι η διερεύνηση της διαμόρφωσης βέλτιστων ομότιμων σχημάτων-κόμβων (peer-to-peer), αναπτύσσοντας ένα μοντέλο σχεδιασμού και διαστασιολόγησης των τελευταίων. Στο πλαίσιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, το πρόβλημα αποκτά χαρακτηριστικά προκαταρκτικής αξιολόγησης, με περιορισμένη αριθμητικά δεξαμενή δρώντων (ομότιμων κόμβων). Ειδικότερα, αξιοποιούνται προφίλ ωριαίας κατανάλωσης για τέσσερις διαφορετικούς καταναλωτές οικιακής κλίμακας, με ενσωματωμένη τυχαιότητα ως προς τις ωριαίες τιμές, ενώ ως βασικές μεταβλητές του προβλήματος αντιμετωπίζονται η εγκατεστημένη  $\Phi/B$  ισχύς και η αποθηκευτική ικανότητα συσσωρευτών για καθέναν από τους πιθανούς συνδυασμούς που δύνανται να συγκροτηθούν στη βάση της εξεταζόμενης δεξαμενής καταναλωτών.

Ειδικότερα, το σύνολο των τεσσάρων (4) οικιών της περίπτωσης μας δημιουργεί δεκαπέντε (15) συνολικά συνδυασμούς μεταξύ των αρχικών κόμβων, συμπεριλαμβανομένων των μεμονωμένων περιπτώσεων (4 διακριτοί κόμβοι χωρίς δυνατότητα ομαδοποίησης). Μέσω επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου για καθέναν από τους εξεταζόμενους συνδυασμούς αξιολογούνται οι διαστάσεις των συνιστωσών της  $\Phi/B$  ισχύος και της αποθηκευτικής ικανότητας, αξιοποιώντας ως δείκτες αξιολόγησης αφενός την επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ, αφετέρου το σταθμισμένο κόστος παραγωγής της ενέργειας (levelized cost of electricity – LCOE).

Αναλύοντας και αξιολογώντας τα εν λόγω αποτελέσματα που περιλαμβάνουν όλους του πιθανούς συνδυασμούς, καθίσταται εφικτός ο προσδιορισμός βέλτιστων ομότιμων σχημάτων καθώς και η κατάταξή τους, όπως και οι πιθανές ομαδοποιήσεις τους ανάλογα τα κριτήρια που επιλέγονται κάθε φορά.

### 4.1 Δέντρο Αναδρομής - Ορισμός Μεταβλητών Προβλήματος

Για την εύρεση των βέλτιστων ομοτίμων σχημάτων εξετάζεται το σύνολο των πιθανών συνδυασμών με βάση το δέντρο του Σχήματος 4.2, ανάλογα με το πλήθος των εξεταζόμενων τελικών χρηστών. Στο Σχήμα ;; αναγράφονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ των εξεταζόμενων οικιών, και κατέπεκταση όλοι οι πιθανοί κόμβοι. Για την εύρεση όλων των πιθανών κόμβων χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$nC_r = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

Όπου:

- $n$ : ο αριθμός των τελικών χρηστών, και
- $r$ : το πλήθος των χρηστών στον κόμβο, με  $1 \leq r \leq$  μέγιστο πλήθος χρηστών

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα προκύπτουν οι τελικές λύσεις:

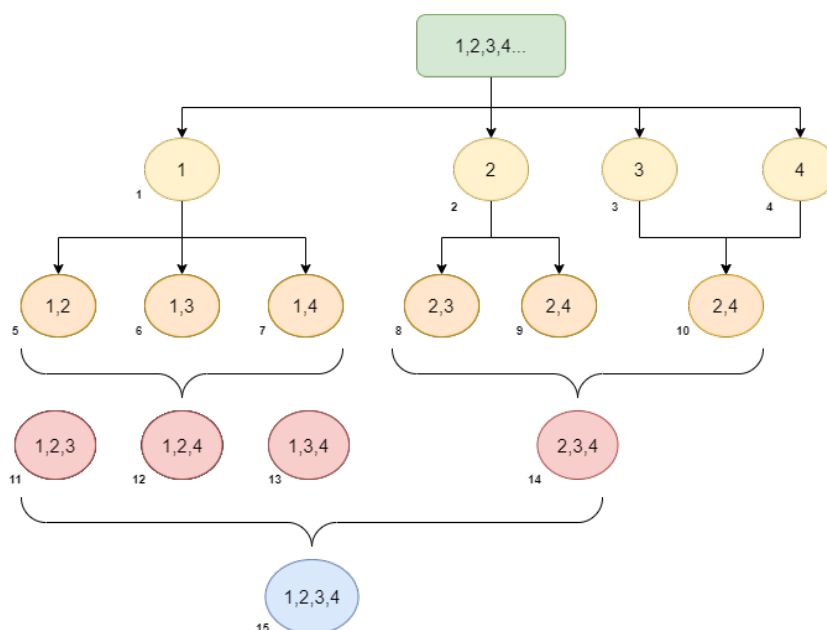
$$\Sigma_{sol} = \frac{n!}{1!(n-1)!} + \frac{n!}{2!(n-2)!} + \dots + \frac{n!}{n!(n-n)!}$$

Στο στάδιο του σχεδιασμού των βέλτιστων σχημάτων υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην πρώτη περίπτωση όλα τα κύρια στοιχεία του συστήματος (π.χ. εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς, μέγεθος συσσωρευτή κοινότητας, δεξαμενή καταναλωτών κλπ.), θεωρούνται ως ανοιχτές μεταβλητές με αποτέλεσμα μια υπερβολικά διεξοδική παραμετρική ανάλυση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση υποθέτουμε κάποια ήδη υπάρχοντα στοιχεία ως μέρος της μελέτης (π.χ. εγκατεστημένη Φ/Β ισχύ) και αναζητούμε τα βέλτιστα μεγέθη για ένα μικρότερο σύνολο παραμέτρων.

Με αυτόν τον τρόπο οι κύριες μεταβλητές εκφράζονται σε σχέση με τα χαρακτηριστικά καταναλώσεων των εμπλεκόμενων καταναλωτών. Συγκεκριμένα:

- Η Φ/Β ισχύς δίνεται ως ποσοστό επί του απαιτούμενου φορτίου αιχμής των καταναλωτών:  $N_{pv} = \% \cdot N_{peak} \quad (W)$
- Η αυτονομία των συσσωρευτών δίνεται ως ποσοστό επί της μέσης ζήτησης φορτίου των καταναλωτών:  $h_o = hours \cdot N_{ave} \quad (Wh)$

## 4.1 Δέντρο Αναδρομής - Ορισμός Μεταβλητών Προβλήματος



Σχήμα 4.1: Πιθανοί συνδυασμοί - εξεταζόμενοι κόμβοι

Για την χρηματοοικονομική ανάλυση και την εκτίμηση του κόστους (LCOE) χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1: Βασικά στοιχεία εκτίμησης του LCOE

Ανοιγμένες Δαπάνες Φ/Β	500	E/kW
Ανοιγμένες Δαπάνες Συσσωρευτών(Energy)	250	E/kWh
Προσαύξηση	0.1	
Κόστος κιλοβατώρας δικτύου	0.2	E/kWh
Ανοιγμένες Δαπάνες Συσσωρευτών(Power)	200	E/kW
Συντήρηση	0.03	
Συνολική Ενέργεια	14013120	kWh
Επιτόκιο	0.05	
Επενδυτικός Ορίζοντας	20	χρόνια

### 4.2 Δεδομένα Εισόδου

Για την συλλογή των δεδομένων αξιοποιήθηκε βάση δεδομένων από το εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για τις τιμές ζήτησης/κατανάλωσης των οικιών (οικίες 1,2,7,8) ανά πέντε (5) λεπτά και για περίοδο άνω των εννέα (9) μηνών. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά μετατράπηκαν σε ωριαίες καταναλώσεις.

Ωστόσο, επειδή τέτοιου είδους δεδομένα περιέχουν ιδιωτικές και ευαίσθητες πληροφορίες που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια, χρησιμοποιήσαμε συνθετικά δεδομένα, τα οποία προέρχονται από μοντέλα με σχέσεις που αποτυπώνουν επαρκώς τις ιδιότητες των συνόλων δεδομένων του πραγματικού κόσμου. Ουσιαστικά μέσω της γεννήτριας δεδομένων που έχουν δημιουργήσει οι συγγραφείς στο άρθρο [21], χρησιμοποιήσαμε ως δεδομένα εισόδου τις ωριαίες καταναλώσεις/ζητήσεις των οικιών 1,2,7,8 και δημιουργήσαμε, νέα συνθετικά δεδομένα, που δεν είναι πανομοιότυπα με τα δεδομένα εισόδου, αλλά διέπονται από τις ίδιες αρχές και σχέσεις.

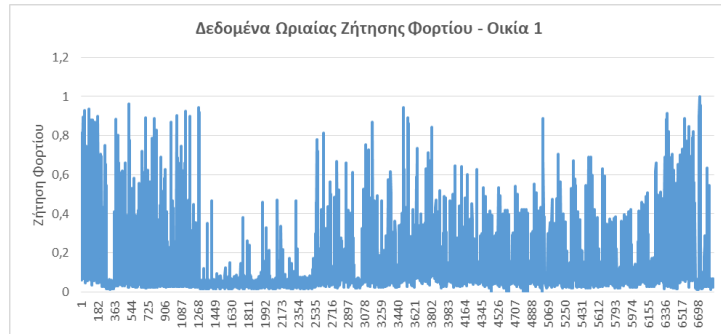
Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται τα δεδομένα μας, έπειτα από μία μορφή κανονικοποίησης (Normalization) ώστε να είναι συγκρίσιμα. Η κανονικοποίηση των δεδομένων κάθε οικίας έγινε μέσω της εξίσωσης:

$$x_{norm_i} = \frac{x_i}{\max(x_1, x_2 \dots x_n)}$$

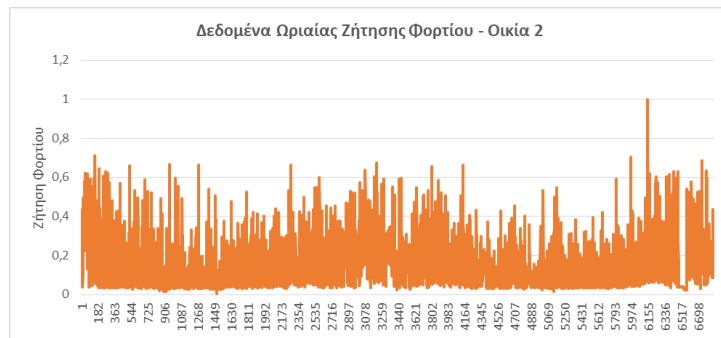
Όπου:

- $x_{norm_i}$ : η κανονικοποιημένη τιμή
- $\max(x_1, x_2 \dots x_n)$ : η μέγιστη τιμή του διανύσματος  $x_i$
- $x_i$ : τα δεδομένα εισόδου - δεδομένα κάθε οικίας

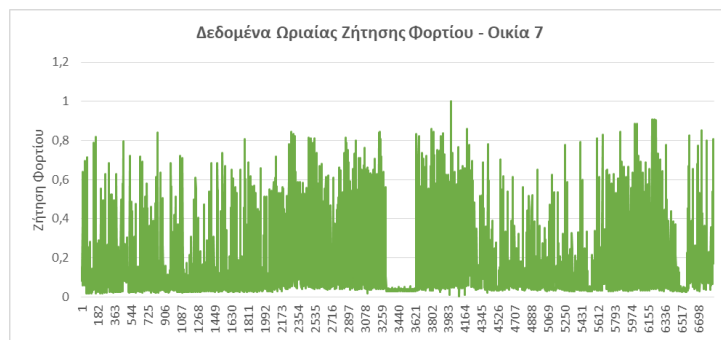
## 4.2 Δεδομένα Εισόδου



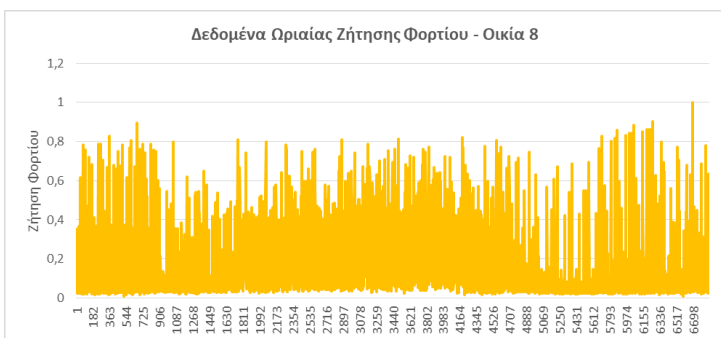
(α') Ωριαία ζήτηση φορτίου-Οικία 1



(β') Ωριαία ζήτηση φορτίου-Οικία 2



(γ') Ωριαία ζήτηση φορτίου-Οικία 7



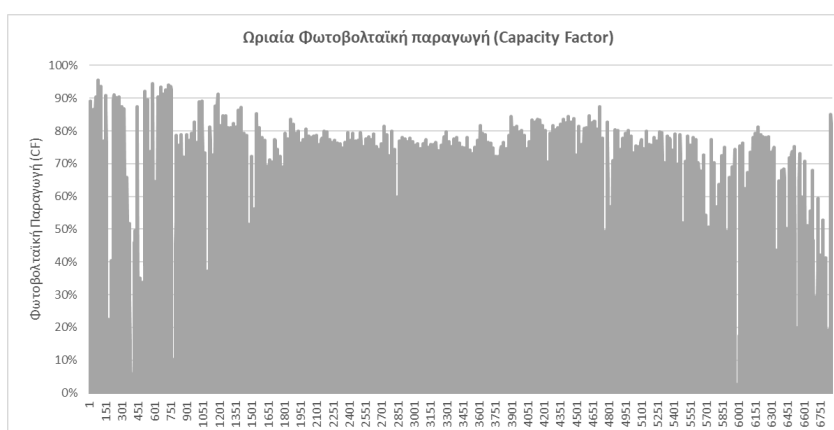
(δ') Ωριαία ζήτηση φορτίου-Οικία 8

Σχήμα 4.2: Χρονοσειρές ωριαίας ζήτησης φορτίου για τις 4 οικίες

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

---

Για τα δεδομένα της φωτοβολταϊκής παραγωγής χρησιμοποιήθηκε το προφίλ που δίνεται στο διάγραμμα 4.3. Ειδικότερα, στο διάγραμμα βλέπουμε το capacity factor του φωτοβολταϊκού σταθμού.



Σχήμα 4.3: Ωριαία Φωτοβολταϊκή παραγωγή (Capacity Factor)

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 τα κύρια στοιχεία των κόμβων προς μελέτη. Αναλυτικότερα:

- $E_c$ : συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε οικία/κόμβο
- $N_{peak}$ : μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε οικία/κόμβο
- $N_{ave}$ : μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε οικία/κόμβο
- $STDEV$ : τυπική απόκλιση (Standard Deviation) της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε οικία/κόμβο



## 4.2 Δεδομένα Εισόδου

Πίνακας 4.2: Βασικά ενεργειακά στοιχεία των εξεταζόμενων κόμβων

Συνδυασμός Οικιών	Κόμβος	Ec (kWh)	Npeak (W)	Nave (W)	STDEV (W)	Npeak/Nave
Οικία 1	1	1925,42	2368,21	280,51	356,99	8,44
Οικία 2	2	5348,55	5609,38	779,22	660,70	7,20
Οικία 7	3	2369,14	2201,33	345,15	363,39	6,38
Οικία 8	4	4370,01	3629,59	636,66	638,39	5,70
Οικία 1&2	5	7273,97	6052,43	1059,73	798,54	5,71
Οικία 1&7	6	4294,56	3799,73	625,66	512,01	6,07
Οικία 1&8	7	6295,43	4944,36	917,17	733,22	5,39
Οικία 2&7	8	7717,69	6878,08	1124,37	829,18	6,12
Οικία 2&8	9	9718,56	7088,19	1415,87	1040,39	5,01
Οικία 7&8	10	6739,15	4892,25	981,81	803,89	4,98
Οικία 1&2&7	11	9643,12	7094,67	1404,88	944,11	5,05
Οικία 1&2&8	12	11643,98	8084,87	1696,38	1134,10	4,77
Οικία 1&7&8	13	8664,57	6197,36	1262,32	882,59	4,91
Οικία 2&7&8	14	12087,70	8356,90	1761,03	1200,03	4,75
Οικία 1&2&7&8	15	14013,12	8573,49	2041,54	1283,17	4,20

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

---

## Κεφάλαιο 5

### Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας μας, η οποία και περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Τα αποτελέσματα που θα αναλύσουμε χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) Τα διαγράμματα που αφορούν τη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), και β) Τα διαγράμματα που σχετίζονται με το Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας (LCOE). Κάθε μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες χωρίζεται εκ νέου σε δύο διαφορετικά σεντ διαγραμμάτων.

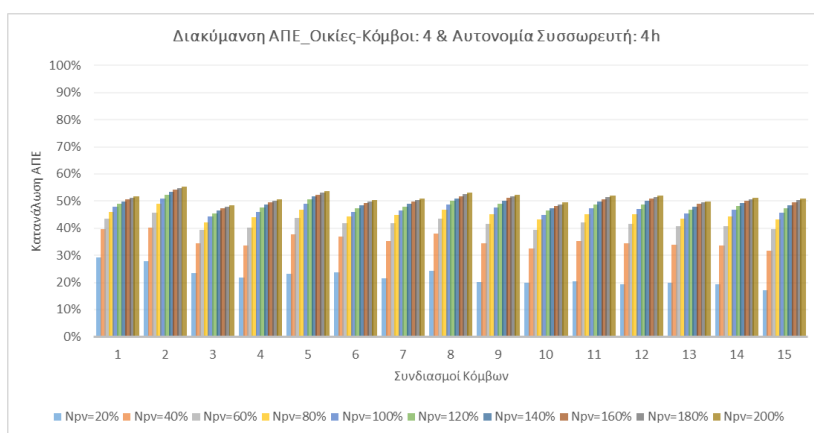
Στο πρώτο σεντ παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα μας για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς οικιών, για  $N_{pv}=20\%, 40\%, \dots, 200\%$ , και για  $h=4,8,12,16$  και 20 ώρες, ενώ στο δεύτερο σεντ παρουσιάζουμε όλους τους κόμβους για επιλεγμένες τιμές  $N_{pv}$  και  $h$ . Η επιλογή των  $N_{pv}$  και  $h$  στο δεύτερο σεντ διαγραμμάτων έγινε με σκοπό τη βαθύτερη ανάλυση και σχολιασμό, καθώς και την καλύτερη ανάδειξη των αποτελεσμάτων μας.

Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μας χρησιμοποιήσαμε ραβδογράμματα, σε διαφορετικές μορφές και για κάθε σεντ διαγραμμάτων. Στη συνέχεια αναλύουμε λεπτομερώς τα αποτελέσματα μας για κάθε μία από τις κατηγορίες που προαναφέραμε.

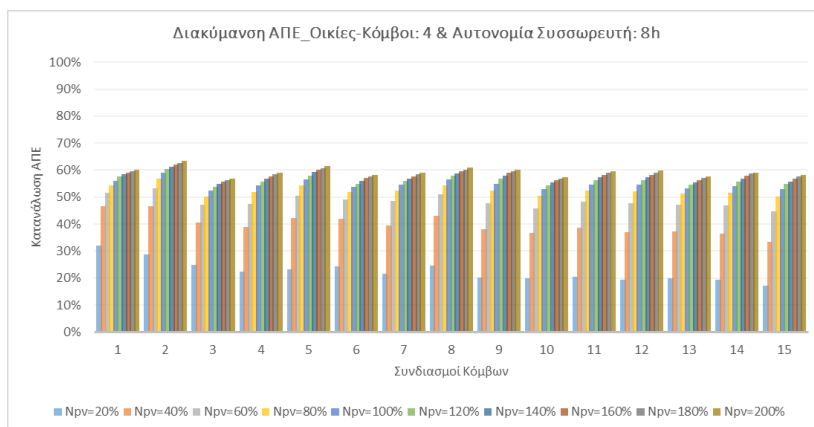
## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Κατανάλωση Ανα-νεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται τα διαγράμματα κατανάλωσης ΑΠΕ για κάθε πιθανό συνδυασμό οικιών (κόμβο), για διάφορες τιμές ισχύος των φωτοβολταϊκών ( $N_{pv}$ ) και αυτονομίας συσσωρευτή (h).



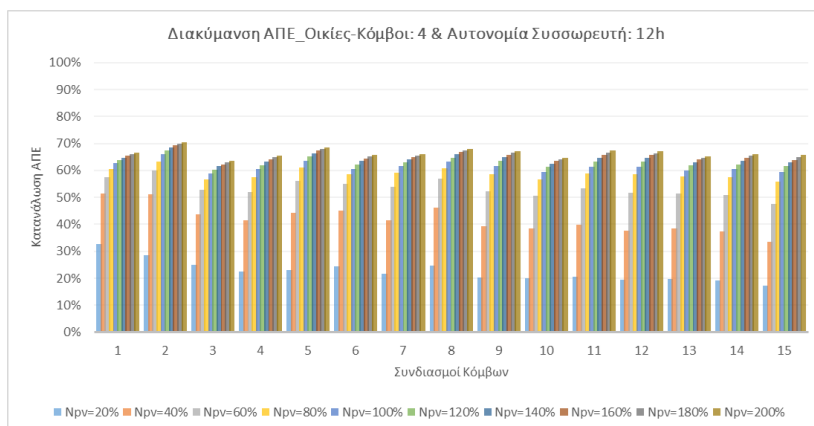
(α') Κατανάλωση ΑΠΕ - h=4 ώρες



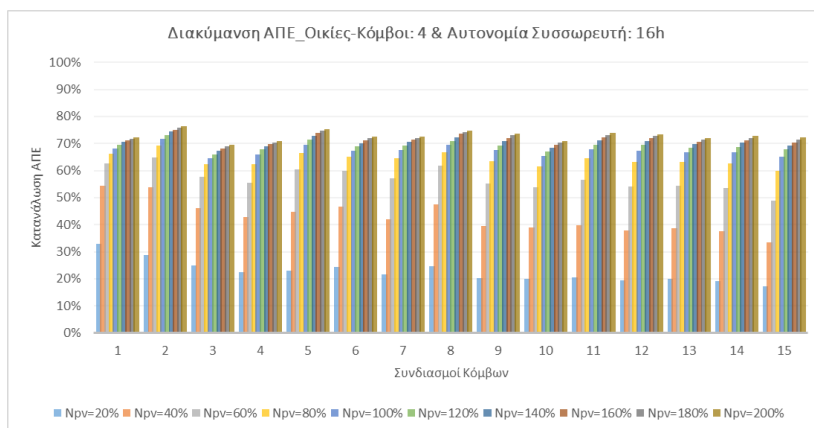
(β') Κατανάλωση ΑΠΕ - h=8 ώρες

Σχήμα 5.1: Κατανάλωση ΑΠΕ για 15 κόμβους (4 οικίες)

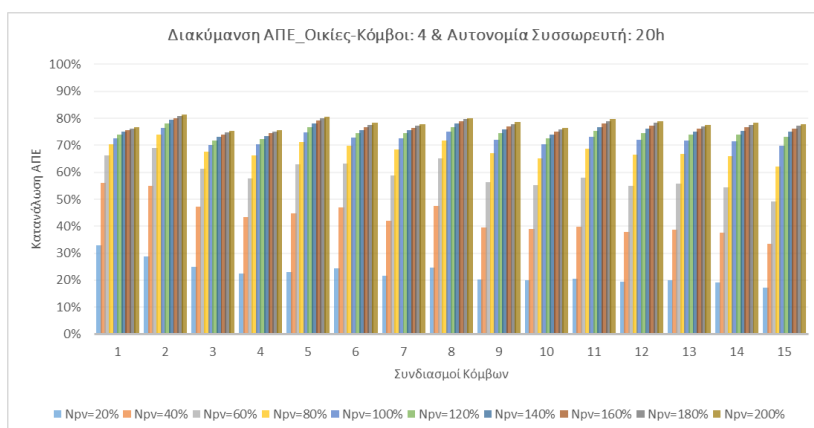
## 5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Κατανάλωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)



(γ') Κατανάλωση ΑΠΕ - h=12 ώρες



(δ') Κατανάλωση ΑΠΕ - h=16 ώρες



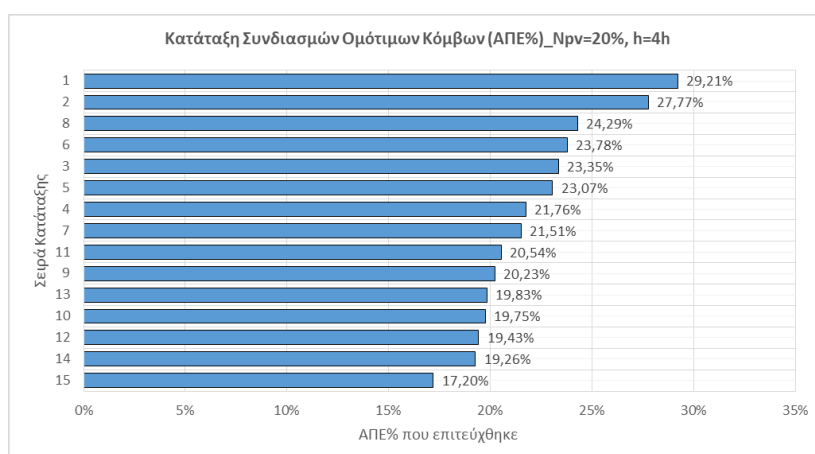
(ε') Κατανάλωση ΑΠΕ - h=20 ώρες

Σχήμα 5.1: Κατανάλωση ΑΠΕ για 15 κόμβους (4 οικίες)

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρατηρώντας το σχήμα 5.1, γίνεται εμφανές ότι για κάθε κόμβο, όσο αυξάνεται το  $N_{pv}$ , αυξάνεται και η συνολική απορρόφηση ΑΠΕ, ανεξαρτήτως της συνολικής αυτονομίας του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 5.1(α'), στην περίπτωση του κόμβου 2 για παράδειγμα, για  $N_{pv}=20\%$  επιτυγχάνεται διείσδυση περίπου 30% και με τη σταδιακή αύξηση του  $N_{pv}$ , καταλήγουμε για  $N_{pv}=200\%$  να έχουμε κατανάλωση της τάξεως του 51%. Το ίδιο παρατηρούμε και σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

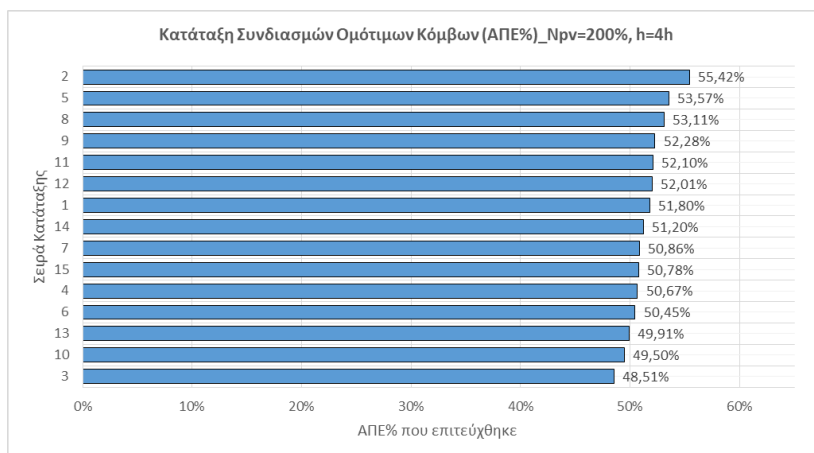
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, απεικονίζεται η κατάταξη των συνδυασμών ομότιμων κόμβων, ως προς την κατανάλωση ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε, σε 4 διαφορετικές περιπτώσεις. Στα σχήματα 5.2(α') και 5.2(β') βλέπουμε τη σειρά κατάταξης για  $h=4$  ώρες και  $N_{pv}=20\%$  και 200%, ενώ στα σχήματα 5.2(γ') και 5.2(δ') διακρίνουμε τους συνδυασμούς των οικιών για  $h=20$  ώρες και  $N_{pv}=20\%$  και 200% αντίστοιχα.



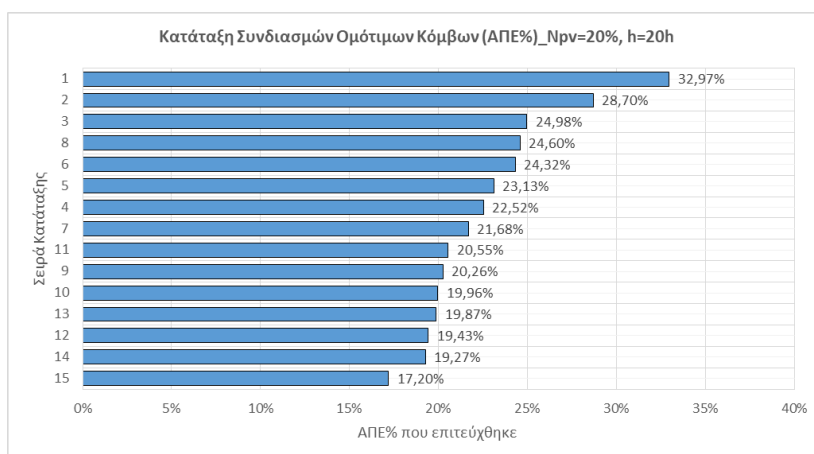
(α') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=20\%$ ,  $h=4$  ώρες

Σχήμα 5.2: Διείσδυση ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες)

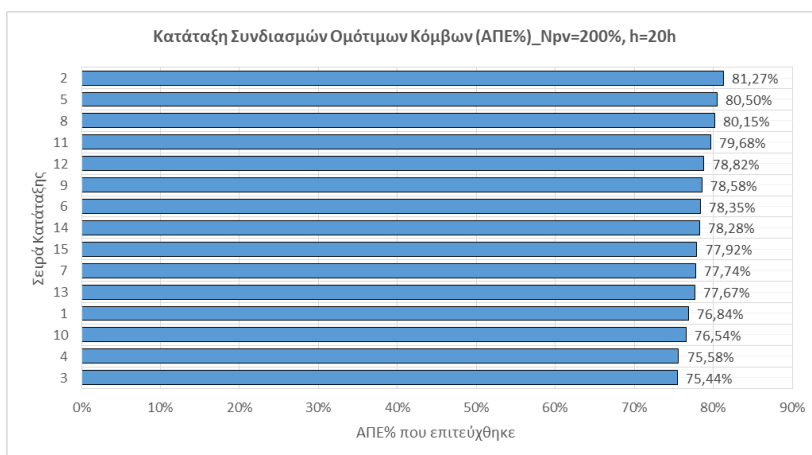
## 5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Κατανάλωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)



(β') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=200\%$ ,  $h=4$  ώρες



(γ') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=20\%$ ,  $h=20$  ώρες



(δ') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=200\%$ ,  $h=20$  ώρες

Σχήμα 5.2: Διείσδυση ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες)

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

---

Αρχικά παρατηρούμε ότι υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των κόμβων όταν έχουμε μικρό Διείδυση (=20%) (σχήματα 5.2(α') και 5.2(γ')), ενώ αντίθετα για μεγάλο  $N_{pv}$ (=200%) οι διαφορές αυτές μικραίνουν και οριακά εξαλείφονται. Πιο συγκεκριμένα στα σχήματα 5.2(α') και 5.2(γ'), η διαφορά μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου κόμβου είναι περίπου 12% και 15,7% αντίστοιχα, ενώ στις περιπτώσεις όπου  $N_{pv}$ =200% (σχήματα 5.2(β') και 5.2(δ')) η διαφορά μειώνεται στο 6,9% και 5,8% αντίστοιχα. Η μείωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στην δεύτερη περίπτωση αυξάνει κατά πολύ η Φ/Β παραγωγή, επομένως έχουμε διαθέσιμη ενέργεια, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται η αποθήκευση και να μικραίνουν κατά μεγάλο ποσοστό οι διαφορές.

Επιπλέον αλλάζει σημαντικά και η σειρά κατάταξης. Ορισμένοι κόμβοι, κυρίως σε περιπτώσεις που συνδυάζονται 2 και 3 οικίες (π.χ. οι κόμβοι 11,12,14,15) και στην περίπτωση χαμηλής Φ/Β παραγωγής δεν πετυχαίνουν υψηλά αποτελέσματα, ενώ φαίνεται να βελτιώνουν σημαντικά την κατανάλωση ΑΠΕ στις περιπτώσεις υψηλής Φ/Β παραγωγής.

Όσον αφορά τα διαγράμματα 5.2(α') και 5.2(γ') παρατηρούμε ότι είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, τόσο από πλευράς κατάταξης όσο και από πλευράς κατανάλωσης ΑΠΕ. Για παράδειγμα και στις δύο περιπτώσεις καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνει ο κόμβος 1, 29,21% για  $h=4$  ώρες και 32,97% για  $h=20$  ώρες. Παρά την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας από 4 σε 20 ώρες η κατανάλωση αυξάνεται ελάχιστα. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς όπως προαναφέραμε έχουμε πολύ μικρή Φ/Β παραγωγή, επομένως η αύξηση της αποθήκευσης δεν συνεισφέρει ιδιαίτερα.

Αντίθετα, στα σχήματα 5.2(β') και 5.2(δ'), ενώ διακρίνουμε παρόμοια σειρά κατάταξης, έχουμε πολύ μεγάλες διαφορές στην κατανάλωση ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση όπου  $h=4$  έχουμε ποσοστά κατανάλωσης της τάξεως του 48-55%, ενώ για  $h=20$  τα ποσοστά αυτά εκτοξεύονται στο 75-81%. Παρατηρούμε μία αύξηση δηλαδή κατά περίπου 50%, καθώς έχουμε μεγαλύτερη αποθήκευση, επομένως αξιοποιείται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό η κατανάλωση ΑΠΕ για κάθε κόμβο.

Στη συνέχεια, εξετάζοντας πιο ενδελεχώς το σχήμα 5.2, βλέπουμε ότι ο κόμβος 2 (όπου η οικία 2 είναι μόνη της) έχει την καλύτερη ή την 2η καλύτερη απόδοση συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Βέβαια το γεγονός αυτό δεν αρκεί για να συμπεράνουμε ότι ο κόμβος 2 είναι και ο αποδοτικότερος. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται ότι όσον αφορά την οικία 2, είναι αποδοτικότερο από πλευράς κατανάλωσης ΑΠΕ, το να λειτουργεί μεμονωμένα, χωρίς δηλαδή να συνδυαστεί με κάποια άλλη οικία. Το γεγονός αυτό, δηλαδή η μεμονωμένα καλύτερη απόδοση, οφείλεται κυρίως στην σχέση κατανάλωσης ενέργειας και Φ/Β παραγωγής μίας συγκεκριμένης οικίας. Αν δηλαδή ένα σπίτι καταναλώνει ενέργεια



## 5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Κατανάλωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

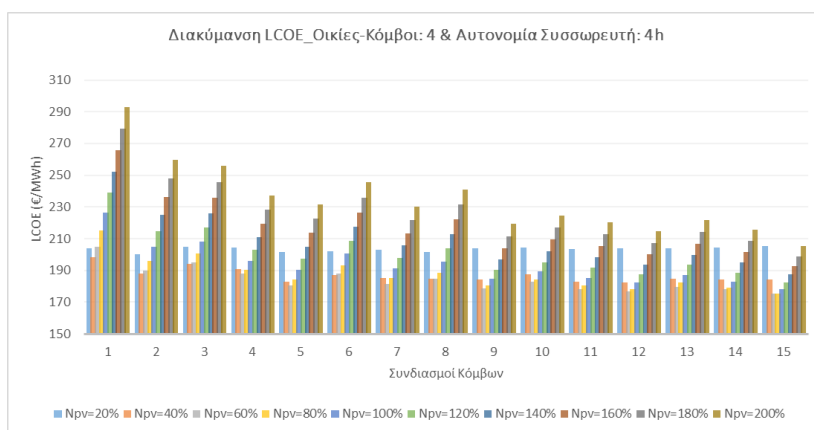
---

κυρίως τις μεσημεριανές ώρες, τις ώρες δηλαδή που παράγει και το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, τότε είναι λογικό να έχει και την καλύτερη απόδοση-υψηλότερη κατανάλωση ΑΠΕ. Γενικότερα όσο μεγαλύτερη δεξαμενή παικτών-οικιών έχουμε στο πρόβλημα μας τόσο καλύτερα αποτελέσματα συνδυασμών αναμένουμε να προκύψουν.

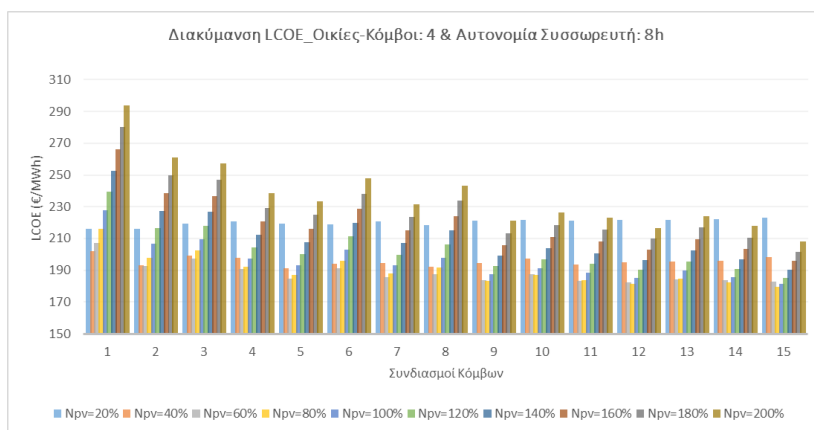
## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Εξισορροπημένο Κόστος Ενέργειας (LCOE)

Στην ακόλουθη σειρά διαγραμμάτων αποτυπώνεται η διακύμανση του κόστους ενέργειας (LCOE) για κάθε πιθανό συνδυασμό οικιών (κόμβο), για διάφορες τιμές  $N_{pv}$  και αυτονομίας συσσωρευτή (h).



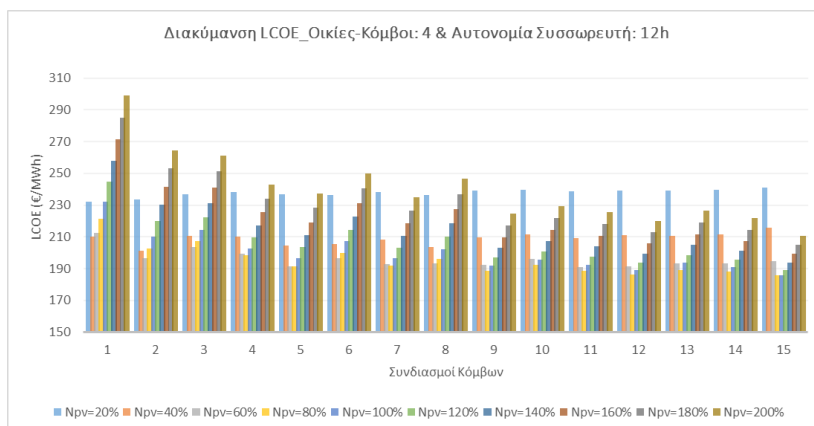
(α') Διακύμανση LCOE - h=4 ώρες



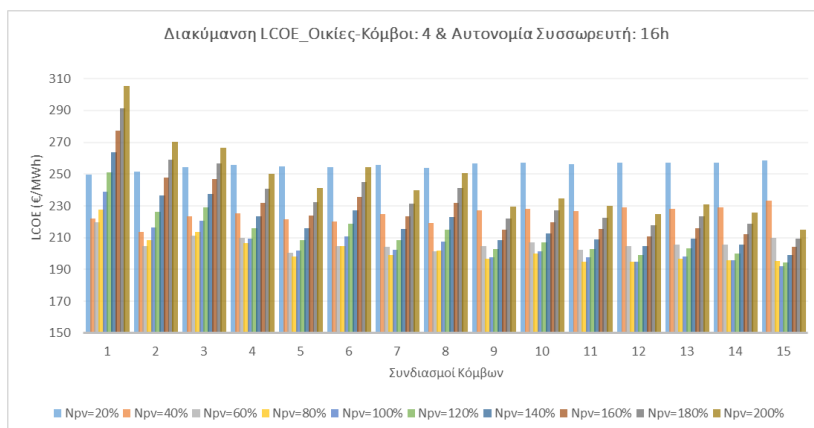
(β') Διακύμανση LCOE - h=8 ώρες

Σχήμα 5.3: Διακύμανση LCOE για 15 κόμβους (4 οικίες)

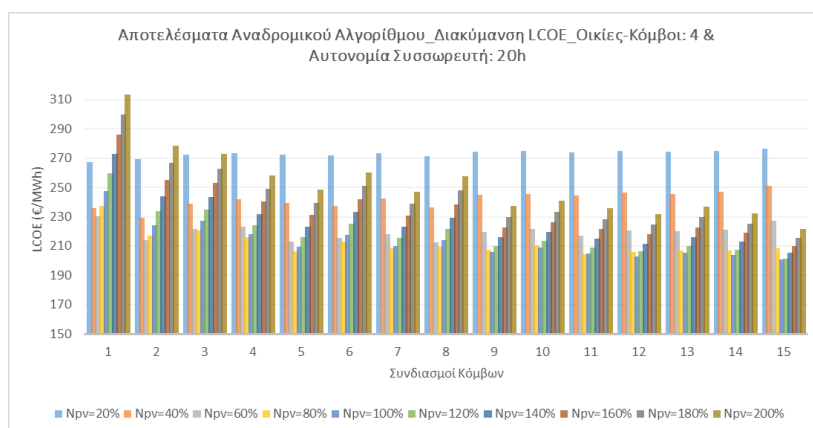
## 5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Εξισορροπημένο Κόστος Ενέργειας (LCOE)



(γ') Διακύμανση LCOE - h=12 ώρες



(δ') Διακύμανση LCOE - h=16 ώρες



(ε') Διακύμανση LCOE - h=20 ώρες

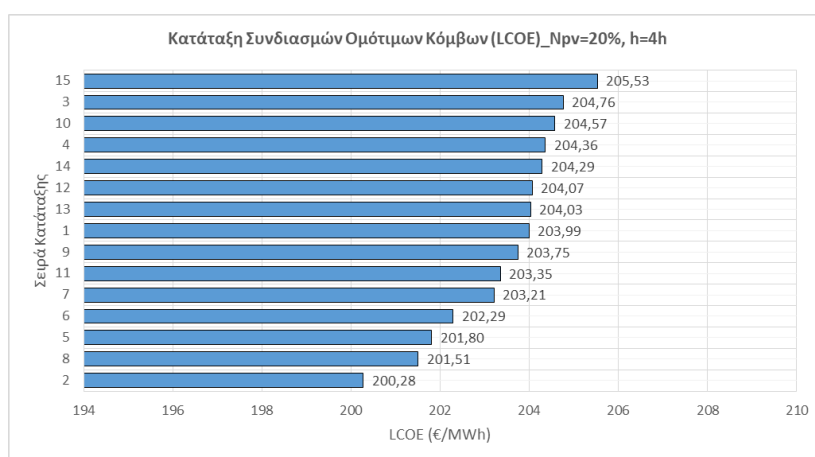
Σχήμα 5.3: Διακύμανση LCOE για 15 κόμβους (4 οικίες)

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εδώ, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα διαγράμματα κατανάλωσης ΑΠΕ (βλ. σχήμα 5.1) που αναλύσαμε παραπάνω, το LCOE φαίνεται να αυξάνεται κατά κύριο λόγο εκθετικά. Στο σχήμα 5.1, αυξάνουμε σταδιακά το  $N_{pv}$  (από 20% σε 200%) χωρίς ωστόσο να παρατηρείται δραματική αύξηση του ποσοστού κατανάλωσης των κόμβων, ενώ αντίθετα στο σχήμα 5.3 παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταβαίνοντας από το 20% στο 200%, ιδιαίτερα στον κόμβο 1. Επομένως φαίνεται ότι η ενέργεια κοστίζει περισσότερο, χωρίς να κερδίζουμε σημαντικά σε κατανάλωση ΑΠΕ.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι και στα τέσσερα παραπάνω διαγράμματα ο κόμβος 15 φαίνεται να παρουσιάζει την καλύτερη συνολική απόδοση, να πετυχαίνει δηλαδή το μικρότερο LCOE, ενώ όσον αφορά την κατανάλωση ΑΠΕ είδαμε ότι τα ποσοστά του δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλά. Αντίθετα οι κόμβοι 1 και 2 που είχαν αρκετά υψηλή κατανάλωση ΑΠΕ, φαίνεται να είναι υπερβολικά ακριβές λύσεις συγκριτικά με τον 15. Από ένα σημείο και μετά ουσιαστικά φαίνεται πως η αυξημένη διυσείδουση προϋποθέτει και αυξημένο κόστος.

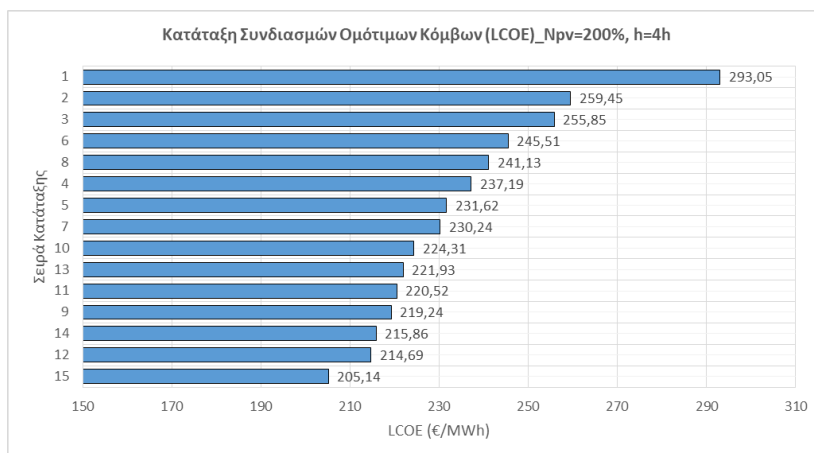
Στα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζεται η κατάταξη των συνδυασμών ομότιμων κόμβων, ως προς το LCOE (€/MWh) που επιτεύχθηκε, σε 4 διαφορετικές περιπτώσεις. Στα σχήματα 5.4(α') και 5.4(β') βλέπουμε την σειρά κατάταξης για  $h=4$  ώρες και  $N_{pv}=20$  και 200, ενώ στα σχήματα 5.4(γ') και 5.4(δ') διακρίνουμε τους συνδυασμούς των οικιών για  $h=20$  ώρες και  $N_{pv}=20\%$  και 200% αντίστοιχα.



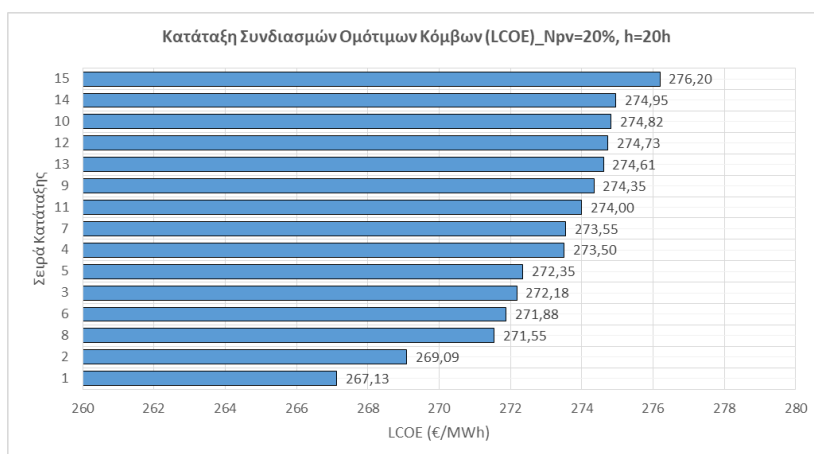
(α') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=20\%$ ,  $h=4$  ώρες

Σχήμα 5.4: LCOE (€/MWh) για 15 κόμβους (4 οικίες)

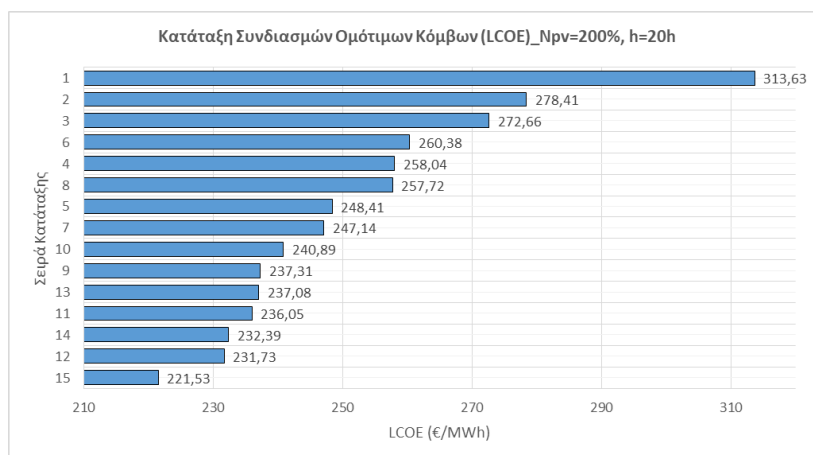
## 5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Εξισορροπημένο Κόστος Ενέργειας (LCOE)



(β') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=200\%$ , h=4 ώρες



(γ') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=20\%$ , h=20 ώρες



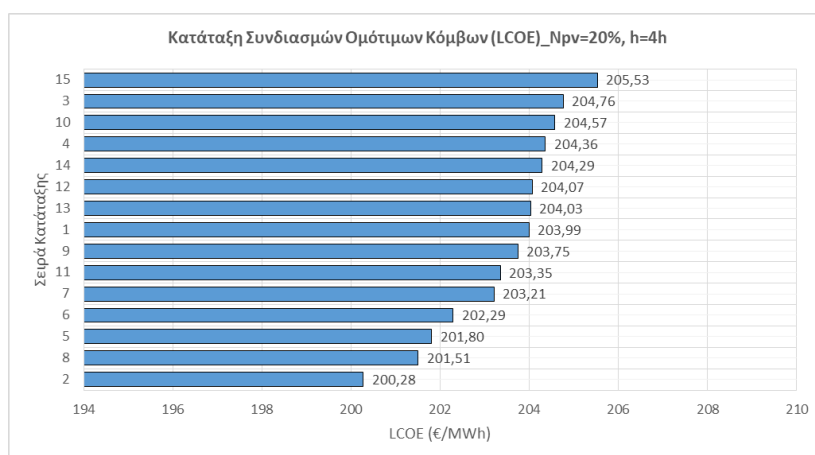
(δ') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=200\%$ , h=20 ώρες

Σχήμα 5.4: LCOE (€/MWh) για 15 κόμβους (4 οικίες)

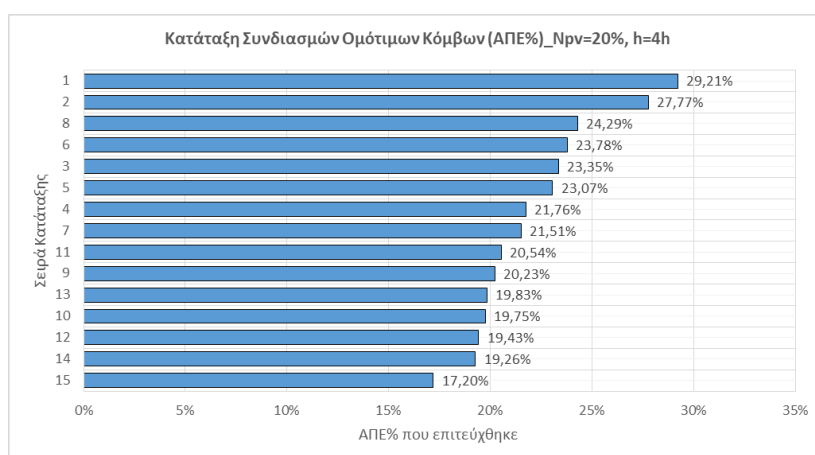
## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρατηρώντας το σχήμα 5.4, διακρίνουμε ότι στις περιπτώσεις με μεγάλο  $N_{pv}$  (Σχήματα 5.4(β') και 5.4(δ')) έχουν καλύτερα αποτελέσματα οι κόμβοι που συνδυάζουν πολλές οικίες (κόμβοι 10 & 15), ενώ αντίθετα οι κόμβοι που αποτελούνται από τα σπίτια μεμονωμένα ή συνδυασμό το πολύ 2 οικιών έχουν αρκετά μεγαλύτερο LCOE.

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα συνδυασμό των σχημάτων 5.2 και 5.4, ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε την κατανάλωση ΑΠΕ και το Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας για όλους τους κόμβους σε δύο συγκεκριμένα σενάρια, με σκοπό να αποκτήσουμε μία πιο σφαιρική εικόνα των αποτελεσμάτων μας και να εξάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα.



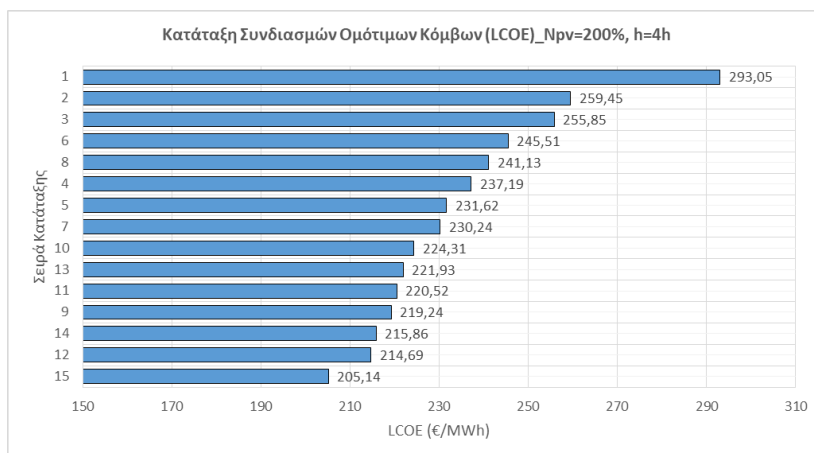
(α') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=20\%$ , h=4 ώρες



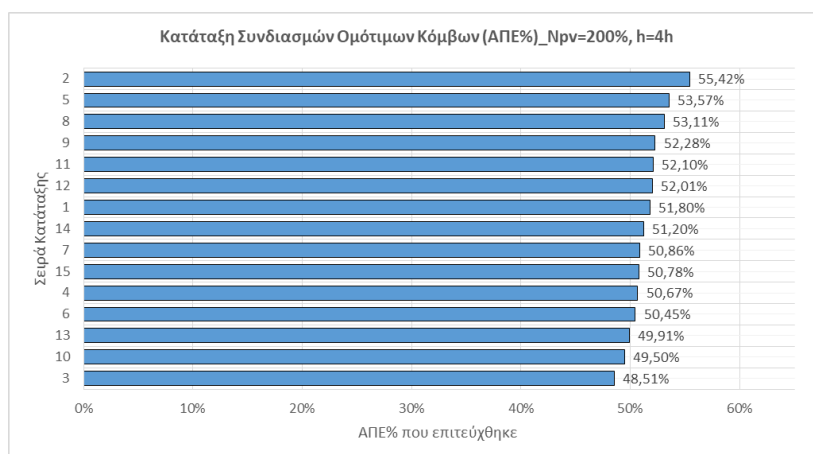
(β') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=20\%$ , h=4 ώρες

Σχήμα 5.5: LCOE (€/MWh) & ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες)

## 5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων - Εξισορροπημένο Κόστος Ενέργειας (LCOE)



(γ') LCOE (€/MWh) -  $N_{pv}=200\%$ ,  $h=4$  ώρες



(δ') ΑΠΕ (%) -  $N_{pv}=200\%$ ,  $h=4$  ώρες

Σχήμα 5.5: LCOE (€/MWh) & ΑΠΕ (%) που επιτεύχθηκε για 15 κόμβους (4 οικίες)

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

---

Στα σχήματα 5.5(α') και 5.5(β'), όπου  $N_{pv}=20\%$  και  $h=4$  ώρες, έχουμε παρόμοια κατάταξη των κόμβων τόσο ως προς την συνολική κατανάλωση ΑΠΕ, όσο και ως προς το LCOE. Παρατηρούμε ότι στην πλειοψηφία τους οι κόμβοι με σχετικά μικρή κατανάλωση έχουν μεγαλύτερο LCOE, και το αντίστροφο. Αυτό συμβαίνει διότι για μικρό  $N_{pv}$  (=20%) πρακτικά χρησιμοποιείται ενέργεια από το δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών του κόμβου, επομένως μεγαλώνει το κόστος. Στο σημείο αυτό να επισημάνουμε ότι την τιμή της MWh στο δίκτυο την έχουμε θέσει στα 20 ευρώ.

Στα σχήματα 5.5(γ') και 5.5(δ'), όπου έχουμε την μέγιστη τιμή για το  $N_{pv}$ , παρατηρούμε ότι ο κόμβος 15, ο συνδυασμός δηλαδή και των τεσσάρων οικιών, έχει μία μέση κατανάλωση ΑΠΕ – όπου βέβαια οι διαφορές μεταξύ των κόμβων είναι πολύ μικρές – και συγχρόνως έχει τη χαμηλότερη τιμή LCOE. Αντίθετα ο κόμβος 2, η περίπτωση δηλαδή που η οικία 2 είναι μόνη της, ενώ έχει την καλύτερη κατανάλωση ΑΠΕ, έχει το δεύτερο υψηλότερο LCOE. Ουσιαστικά δηλαδή πετυχαίνει μια κατανάλωση της τάξεως 55% με περίπου 260 €/MWh, ενώ ο κόμβος 15 έχει κατανάλωση περίπου 51% με 205 €/MWh, πετυχαίνοντας έτσι το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, από άποψη συνδυασμού κατανάλωσης ΑΠΕ - Κόστους Ενέργειας, υπό αυτές τις συνθήκες.



### 5.3 Ανακαιφαλαίωση - Συζήτηση

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι όσον αφορά την κατανάλωση ΑΠΕ, πιθανόν οι συνδυασμοί παραπάνω της μίας οικίας να μην αποδίδουν τόσο καλά σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. για μικρό  $N_{pv}$ ), ενώ από πλευράς κόστους ο συνδυασμός τριών ή/και των τεσσάρων οικιών μας δίνει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Επομένως, καταλήγουμε σε διαφορετικά συμπεράσματα χρησιμοποιώντας ως δείκτη την κατανάλωση ΑΠΕ και σε διαφορετικά χρησιμοποιώντας ως δείκτη το LCOE. Επομένως ανάλογα με το που θέλουμε να εστιάσουμε επιλέγουμε και τον αντίστοιχο δείκτη. Ωστόσο συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα στο σύνολο τους, πιθανόν να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την καθολική συμπεριφορά των κόμβων, όπως στην περίπτωση του κόμβου 15 που αναλύσαμε σε προηγούμενη παράγραφο.

Συμπεραίνουμε ότι έχει αξία να ελέγχουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς οικιών, καθώς μπορούν να δώσουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα και ενδεχομένως το να διευρύνουμε τη δεξαμενή των δρώντων, προσθέτοντας ακόμα περισσότερες οικίες, να μας εξυπηρετεί σε πολλές περιπτώσεις.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

---

# Κεφάλαιο 6

## Συμπεράσματα - Προτάσεις

Μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία υπογραμμίζεται η σημασία της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και την επίτευξη των στόχων που έχει θέσει όπως και του αυξανόμενου ενεργειακού κόστους τα τελευταία χρόνια και της αστάθειας της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας, η ανάγκη για εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις δεν ήταν ποτέ πιο επιτακτική.

Για αυτόν τον λόγο προτάσσουμε νέα μοντέλα όπου η παραγωγή ενέργειας θα γίνεται από τοπικούς μικρότερης κλίμακας σταθμούς κοντά στο σημείο ζήτησης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά, που θα ενισχύεται η ανεξαρτησία των καταναλωτών από τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και μειώνεται η ευπάθεια τους σε βλάβες και διακοπές του δικτύου. Επιπλέον με αυτόν τον τρόπο γίνεται και αποσυμφόρηση του δικτύου αφού πλέον με τον συνδυασμό κάποιας μορφής αποθήκευσης ενέργειας μειώνεται δραστικά η περισευούμενη ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο. Σε συνδυασμό με τη διεσπαρμένη παραγωγή, προτείνεται και η αυτοπαραγωγή ενέργειας όπου οι καταναλωτές είναι και οι παραγωγοί.

Ειδικότερα στην Ελλάδα το νομοσχέδιο 5037/2023 αναφέρει εκτεταμένα τον τρόπο λειτουργίας τέτοιων πρακτικών και κάνει λόγο και για νέες ενεργειακές κοινότητες όπου διευκολύνουν την αξιοποίηση της αυτοπαραγωγής εκτός από τους οικιακούς καταναλωτές και για τις επιχειρήσεις και από αγρότες. Μέσα από τις ενεργειακές κοινότητες δημιουργούνται μοντέλα συνεργασίας με τους καταναλωτές να μπορούν να συναλλάσσουν και ανταλλάσσουν ενέργεια συντάσσοντας έτσι peer-to-peer σχήματα. Στα peer-to-peer σχήματα οι καταναλωτές μπορούν είτε να είναι και παραγωγοί, κάνοντας και ιδιοκατανάλωση με τη δυνατότητα

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

---

αποθήκευσης, είτε να προμηθεύονται μόνο από τους παραγωγούς το σχήματος, είτε να είναι μόνο παραγωγοί.

Για την καλύτερη κατανόηση του κατά πόσο τέτοια σχήματα προσφέρουν οικονομία στους καταναλωτές συνδυάζοντας τα προφίλ κατανάλωσης τους ερευνήθηκε στην παρούσα εργασία. Ειδικά, έχουμε αναπτύξει μια μεθοδολογία μέσω της οποίας μπορούμε σχετικά γρήγορα να κατατάξουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς οικιών τόσο ως προς την συνολική διείσδυση ΑΠΕ, όσο και ως προς το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας. Τα βασικά ευρήματα που διαπιστώθηκαν μετά από ανάλυση αποτελεσμάτων για τέσσερις (4) οικίες παρατίθενται στις επόμενες παραγράφους.

Αρχικά, όσον αφορά την διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση των οικιών παρατηρήθηκε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα τα είχαμε σε συνδυασμούς που την μεγαλύτερη ζήτηση την είχαν τις μεσημεριανές ώρες. Αυτό συμβαίνει καθώς η ιδιοκατανάλωση ισορροπεί με την παραγωγή εκείνες τις ώρες. Επίσης στις περιπτώσεις που είχαμε συνδυασμό από τουλάχιστον τρεις (3) οικίες είναι απαραίτητη η μεγάλη ισχύς φωτοβολταϊκών για να υπάρξει επαρκής διείσδυση τους στους κόμβους. Πρόσθετα η αποθήκη ενέργειας έχει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς όταν αυτή έχει μικρή αυτονομία, δεν παίζει ρόλο η αύξηση της ισχύος των φωτοβολταϊκών αφού μετά από το σημείο μέγιστης αποθήκευσης δημιουργείται περίσσια ενέργεια. Αντίστοιχα όταν έχουμε μικρή φωτοβολταϊκή ισχύ, το να αυξήσουμε κατά πολύ την αυτονομία της αποθήκευσης ενέργειας δεν συνεισφέρει στην απορρόφηση των ΑΠΕ.

Στη συνέχεια, από την αξιολόγηση του σταθμισμένου κόστους παραγωγής ενέργειας (LCOE) για κάθε κόμβο το κύριο συμπέρασμα μας δείχνει ότι ο κόμβος με την υψηλότερη διείσδυση ΑΠΕ δεν εμφανίζει απαραίτητα το χαμηλότερο LCOE. Ειδικότερα έπειτα από ένα ορισμένο σημείο η αύξηση της διείσδυσης σε κάθε κόμβο συνοδεύεται και από υπερβολική αύξηση του κόστους. Ενώ γενικά περιπτώσεις κόμβων όπου είχαν μία μέση διείσδυση παρατηρήσαμε ότι είχε το χαμηλότερο κόστος. Από αυτά τα αποτελέσματα καταλήγουμε ότι για την περίπτωση μας οι βέλτιστοι ομότιμοι κόμβοι είναι αυτοί που συνδυάζουν τουλάχιστον τρεις (3) οικίες.

Μελλοντικά εξελίσσοντας την εργασία θα μπορούσαμε να διευρύνουμε το πλήθος των χρηστών-καταναλωτών έτσι ώστε να καταλήξουμε σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ευρέως. Επίσης χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία θα μπορούσαμε να κάνουμε το πρόβλημα ακόμα πιο δυναμικό, προσαρμόζοντας ουσιαστικά την μεθοδολογία μας στα δεδομένα κάθε ημέρας. Θα μπορούσαμε δηλαδή να κατατάσσουμε τους κόμβους εκ νέου κάθε ημέρα, επιλέγοντας πιθανότατα διαφορετικό κόμβο κάθε φορά, ως τον βέλτιστο, βελτιστοποιώντας έτσι το συνολικό μας αποτέλεσμα.

## Πηγές & Βιβλιογραφία

- [1] Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/> Διαδυκτιακή Επίσκεψη: 1 Απρίλιος 2024. 4
- [2] European Commission: Renewable energy targets. [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets\\_en#the-2030-targets](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en#the-2030-targets) Διαδυκτιακή Επίσκεψη: 1 Απρίλιος 2024. 4
- [3] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Ευρώπη θέτει φιλόδοξους στόχους. <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20171124ST088813/ananeosimes-piges-energeias-i-europi-thetei-filodoxous-stochous> Διαδυκτιακή Επίσκεψη: 1 Απρίλιος 2024. 4
- [4] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως: ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ, Αρ.Φύλλου 4893, 31 Δεκεμβρίου 2019 4
- [5] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Προστασίας: Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος- Προσχέδιο αναθεωρημένης έκδοσης, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023 4, 5
- [6] European Environment Energy: Share of energy consumption from renewable sources in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from> Διαδυκτιακή Επίσκεψη: 1 Απρίλιος 2024. 4
- [7] Maradin, D.: Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy* **11**(3) (2021) 176–183 6

## ΠΗΓΕΣ & ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [8] Τζητηρίδου Χριστίνα: Διπλωματική Εργασία: Στατιστική Ανάλυση Φ/Β Πάρκων στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη 2019 [6](#)
- [9] Ha, Y.H., Kumar, S.S.: Investigating decentralized renewable energy systems under different governance approaches in Nepal and Indonesia: how does governance fail?. *Energy Research & Social Science* **80** (2021) 102214 [6](#)
- [10] Nadeem, Talha Bin and Siddiqui, Mubashir and Khalid, Muhammad and Asif, Muhammad: Distributed energy systems: A review of classification, technologies, applications, and policies: Current Policy, targets and their achievements in different countries (continued). *Energy Strategy Reviews* **48** (2023) 101096 [6](#)
- [11] Khan, K., Khurshid, A., Cifuentes-Faura, J.: energy security analysis in a geopolitically volatile world: A causal study. *Resources Policy* **83** (2023) 103673 [8](#)
- [12] Γιάννης Μανιάτης: Η ενεργειακή κρίση και η ελληνική οικονομία. Οικονομικό Επιμελητήριο της Ελλάδος (Σεπτέμβριος 2022) [9](#)
- [13] Γιάννης Μανιάτης: Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα-Πολιτικές Εξελίξεις και προτάσεις κοινωνικής καινοτομίας για την αντιμετώπισή της. Ίδρυμα Χάινριχ Μπελ, Θεσσαλονίκη. (2019) [9](#), [10](#)
- [14] Kotilainen, K.: energy prosumers' role in the sustainable energy system. Iv: Affordable and Clean Energy. Springer (2019) 1–14 [16](#)
- [15] Leal Filho, W., Trevisan, L.V., Salvia, A.L., Mazutti, J., Dibbern, T., de Maya, S.R., Bernal, E.F., Eustachio, J.H.P.P., Sharifi, A., Kushnir, I., others: prosumers and sustainable development: An international assessment in the field of renewable energy. *Sustainable Futures* **7** (2024) 100158 [16](#)
- [16] ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ: Αυτοκατανάλωση Ενέργειας για ιδιώτες, επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες με ή χωρίς αποθήκευση. (Νοέμβριος 2023) [19](#)
- [17] Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., Weinhardt, C.: designing microgrid energy markets: A case study: The brooklyn microgrid. *Applied energy* **210** (2018) 870–880 [23](#)

- [18] Shan, S., Yang, S., Becerra, V., Deng, J., Li, H.: a case study of existing peer-to-peer energy trading platforms: Calling for integrated platform features. *Sustainability* **15**(23) (2023) 16284 [24](#)
- [19] Zhang, C., Wu, J., Long, C., Cheng, M.: review of existing peer-to-peer energy trading projects. *Energy Procedia* **105** (2017) 2563–2568 [24](#), [25](#)
- [20] Gunarathna, C.L., Yang, R.J., Jayasuriya, S., Wang, K.: reviewing global peer-to-peer distributed renewable energy trading projects. *Energy Research & Social Science* **89** (2022) 102655 [24](#), [25](#)
- [21] Charalambidis Georgios, Akasiadis Charilaos, Rigas Emmanouil S. & Chalkiadakis Georgios: A realistic dataset generator for smart grid ecosystems with electric vehicles. Iv: Proceedings of the Thirteenth ACM International Conference on Future Energy Systems. (2022) 432–433 [30](#)