



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ο Ρόλος των Ενεργειακών Κοινοτήτων και των
Μηχανισμών Απόκρισης Ζήτησης στη Βιώσιμη
Ενεργειακή Μετάβαση: Νομοθετικό Πλαίσιο,
Προκλήσεις και Προοπτικές στην Ελλάδα και
την Ευρώπη

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΛΕΒΕΝΤΗ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων
και Συστημάτων Αποφάσεων

Ο Ρόλος των Ενεργειακών Κοινοτήτων και των Μηχανισμών Απόκρισης Ζήτησης στη Βιώσιμη Ενεργειακή Μετάβαση: Νομοθετικό Πλαίσιο, Προκλήσεις και Προοπτικές στην Ελλάδα και την Ευρώπη

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΛΕΒΕΝΤΗ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24/02/2025.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π. Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων
και Συστημάτων Αποφάσεων

Copyright ©–All rights reserved Δήμητρα Λεβέντη, 2025.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται...

(Υπογραφή)

.....

Δήμητρα Λεβέντη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τον μετασχηματιστικό ρόλο των ενεργειακών κοινοτήτων στην προώθηση της βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης, με έμφαση στην ενσωμάτωση μηχανισμών απόκρισης ζήτησης (DR) στο ευρωπαϊκό και ελληνικό πλαίσιο. Οι ενεργειακές κοινότητες, οριζόμενες ως πρωτοβουλίες πολιτών για την αποκεντρωμένη παραγωγή και διαχείριση ανανεώσιμης ενέργειας, εξετάζονται μέσα από το πρίσμα νομοθετικών πλαισίων, λειτουργικών μοντέλων και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο Πακέτο Καθαρής Ενέργειας της ΕΕ και στις βασικές οδηγίες για τη δημιουργία Κοινοτήτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Ενεργειακών Κοινοτήτων Πολιτών, αναδεικνύοντας τον ρόλο τους στον εκδημοκρατισμό των ενεργειακών συστημάτων, στη μείωση του κόστους και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας του δικτύου. Ειδικότερα για ελληνικό πλαίσιο, αναλύεται διεξοδικά το νομοθετικό περιβάλλον, ενώ επιπλέον διερευνάται η μετάβαση από το Net Metering στο Net Billing, στοχεύοντας στην ευθυγράμμιση με τους στόχους της ΕΕ. Παράλληλα, εξετάζονται οι μηχανισμοί DR, όπως τα προγράμματα δυναμικής τιμολόγησης και τιμολόγησης βάσει κινήτρων, αξιολογώντας τη συμβολή τους στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης, την εξισορρόπηση της ζήτησης στο δίκτυο και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, παρουσιάζονται εφαρμογές της DR σε διάφορους τομείς του ενεργειακού συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην εφαρμογή της DR στις ενεργειακές κοινότητες, μέσω της μελέτης δύο ευρωπαϊκών κοινοτήτων που το έχουν υιοθετήσει. Παράλληλα, η ελληνική μελέτη περίπτωσης αναδεικνύει τις προκλήσεις που σχετίζονται με τον διαμοιρασμό ενέργειας και τη διαχείριση του δικτύου. Τέλος, παρουσιάζονται οι προκλήσεις εφαρμογής της DR στο ελληνικό ενεργειακό τοπίο, συνοδευόμενες από τις αναγκαίες ρυθμιστικές και τεχνολογικές προσαρμογές που απαιτούνται για την αντιμετώπισή τους.

Λέξεις Κλειδιά

Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών, Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Δυναμική τιμολόγηση, Τιμολόγηση Βάσει Κινήτρων, CEC, REC, DR

Abstract

This thesis explores the transformative role of energy communities in promoting sustainable energy transition, with emphasis on the integration of Demand Response mechanisms in the European and Greek context. Energy communities, defined as citizen initiatives for decentralized renewable energy production and management, are examined through the prism of legislative frameworks, operational models and socio-economic impacts. Particular emphasis is given to the EU Clean Energy Package and the key directives for the creation of Renewable Energy Communities and Citizens' Energy Communities, highlighting their role in democratising energy systems, reducing costs and enhancing grid resilience. In the Greek context, the legislative environment is analysed in detail, The transition from Net Metering to Net Billing is also explored, aiming at the alignment with EU objectives. In parallel, DR mechanisms such as dynamic and incentive-based pricing schemes are examined, assessing their contribution to optimising energy use, balancing demand on the grid and integrating renewable energy sources. In addition, applications of DR in different sectors of the energy system are presented. Particular emphasis is placed on the application of DR in energy communities, through a study of two European communities that have adopted it. At the same time, the Greek case study highlights the challenges related to energy sharing and grid management. Finally, the challenges of implementing DR in the Greek energy landscape are presented, along with the necessary regulatory and technological adjustments required to address them.

Keywords

Citizen Energy Community, Renewable Energy Community, Explicit Demand Response, Implicit Demand Response, CEC, REC, DR

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Μαρινάκη για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο εργαστήριο Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων και Διοίκησης. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τους υποψήφιους διδάκτορες Β. Μιχαλακόπουλο και Ν. Ματσάγκο για την καθοδήγησή τους και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Πλαισίων	14
1 Ορισμός και Σκοπός των Ενεργειακών Κοινοτήτων	17
1.1 Η Ανάγκη για Ενεργειακή Μετάβαση στην Ευρωπαϊκή Ένωση	17
1.2 Ορισμός Ενεργειακών Κοινοτήτων	18
1.3 Στόχοι Ενεργειακών Κοινοτήτων	19
1.3.1 Αποκέντρωση των Ενεργειακών Συστημάτων	19
1.3.2 Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	20
1.3.3 Μείωση του Κόστους Κατανάλωσης Ενέργειας και Αντιμετώπιση της Ενεργειακής Φτώχειας	20
1.3.4 Ανάπτυξη της Τοπικής Οικονομίας	20
1.4 Οικονομικά, Περιβαλλοντικά και Κοινωνικά Οφέλη	21
2 Δομή και Λειτουργία των Ενεργειακών Κοινοτήτων	25
2.1 Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (REC)	25
2.1.1 Παράδειγμα Κοινότητας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Enercoop France	26
2.2 Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών (CEC)	27
2.2.1 Παράδειγμα Ενεργειακής Κοινότητας Πολιτών: Brupower Brussels . .	27
2.3 Ομοιότητες και Διαφορές CECs και RECs	28
2.4 Μηχανισμοί Αντιστάθμισης Περίσσειας Ενέργειας	30
2.5 Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο και Πολιτικές	33
2.5.1 Πρωτοβουλίες της ΕΕ για την Ενίσχυση των Ενεργειακών Κοινοτήτων και την Αειφόρο Ανάπτυξη	35
2.6 Πλαίσιο Λειτουργίας ανά Κράτος-Μέλος της ΕΕ	37
2.7 Οι Ενεργειακές Κοινότητες στην Ελλάδα	39

2.7.1	Νόμος Υπ' Αριθμό 4513/2018	39
2.7.2	Νόμος Υπ' Αριθμό 5037/2023	41
2.7.3	Μετάβαση από το Net Metering στο Net Billing	44
2.7.4	Παραδείγματα Ενεργειακών Κοινοτήτων στην Ελλάδα	46
2.7.5	ΔΕΣΜΗ: Πανελλαδικό Δίκτυο Ενεργειακών Κοινοτήτων	48
3	Ορισμός, Σκοπός, και Τρόπος Λειτουργίας του Μηχανισμού	
	Απόκρισης-Ζήτησης	51
3.1	Εισαγωγή στον Μηχανισμό Απόκρισης-Ζήτησης	51
3.2	Ορισμός της Απόκρισης-Ζήτησης	52
3.2.1	Προγράμματα DR: Άμεση και Έμμεση DR	53
3.2.2	Στρατηγικές Εξομάλυνσης Καμπύλης Ζήτησης	57
3.3	Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο και Πολιτικές	60
3.3.1	Κανονισμός 2019/943 και Οδηγία 2019/944	60
3.3.2	Κανονισμός 2024/1711 και Οδηγία 2024/1747	62
3.3.3	Επόμενα βήματα: Νέος Κώδικας Δικτύου για την Απόκριση-Ζήτηση	63
3.4	Η Απόκριση-Ζήτηση στην Ελλάδα	65
3.5	Πρακτική Χρήση DR	67
3.6	Χρήση DR στις Ενεργειακές Κοινότητες	82
3.6.1	Εφαρμογή της DR στο Πλαίσιο των Ενεργειακών Κοινοτήτων	83
4	Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες	85
4.1	Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες της Ευρώπης	85
4.1.1	Η περίπτωση της ενεργειακής κοινότητας στο Røverkollen της Νορβηγίας	85
4.1.2	Η περίπτωση της ενεργειακής κοινότητας Schoonschip της Ολλανδίας .	86
4.2	Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες της Ελλάδας	88
4.2.1	MINOAN: Εφαρμογή Μηχανισμών Διαχείρισης Φορτίου σε Ελληνική Ενεργειακή Κοινότητα	90
5	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις	93

Κατάλογος Πινάκων

2.1	Συγκεντρωτικά Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Κοινοτήτων	30
2.2	Μηχανισμοί Αποζημίωσης Πλεονάζουσας Παραγόμενης Ενέργειας	33
3.1	Βιβλιογραφική ανασκόπηση πρακτικών εφαρμογών DR	69

Κατάλογος Πλαισίων

1. Ιδιοκατανάλωση: Ατομική και Συλλογική.....	28
2. Επιδότηση κατά Πιγκού	31
3. Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα και Δίκτυα Τηλεθέρμανσης και Τηλεψύξης	34
4. Σύμφωνο των Δημάρχων	37
5. ΣΗΘ και ΣΗΘΥΑ.....	40
6. Οι Επτά Συνεταιριστικές Αρχές.....	49
7. Βραχυπρόθεσμες Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας στην ΕΕ.....	59
8. Οντότητες Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην ΕΕ.....	61

Κεφάλαιο 1

Ορισμός και Σκοπός των Ενεργειακών Κοινοτήτων

1.1 Η Ανάγκη για Ενεργειακή Μετάβαση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ο επιταχυνόμενος ρυθμός της κλιματικής αλλαγής έχει τοποθετήσει τα ενεργειακά συστήματα, τα οποία αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στο επίκεντρο των παγκόσμιων προσπαθειών μετασχηματισμού. Στην Ευρώπη, η ανάγκη για ενεργειακή μετάβαση έχει τις ρίζες της σε πολλαπλές αλληλένδετες προκλήσεις που απαιτούν άμεση και ολοκληρωμένη δράση, μεταξύ των οποίων, πρωταρχική είναι η κλιματική αλλαγή και δευτερεύουσα, αλλά εξόχως σημαντική, η ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Τόσο οι ραγδαίες εξελίξεις που αφορούν στην κλιματική αλλαγή όσο και οι γεωπολιτικές περιπλοκές που καθιστούν εμφανή την εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) από το ρωσικό φυσικό αέριο, κάνουν επιτακτική την ανάγκη για ενεργειακή μετάβαση.

Καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση αγωνίζεται να επιτύχει ουδετερότητα ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 [1], μια αθόρυβη επανάσταση εκτυλίσσεται σε επίπεδο βάσης στο ενεργειακό τοπίο: οι ενεργειακές κοινότητες επαναπροσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι κοινωνίες παράγουν, μοιράζονται και διαχειρίζονται την ενέργεια. Αυτές οι πρωτοβουλίες που καθοδηγούνται από τους πολίτες αντιπροσωπεύουν κάτι περισσότερο από απλές τεχνικές λύσεις. Ενσαρκώνουν μια θεμελιώδη στροφή προς τη συμμετοχική ενεργειακή δημοκρατία. Η λειτουργία των κοινοτήτων (ως πυλώνες αυτόνομης παραγωγής και ανακύκλωσης ενέργειας) με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές και κυρίως τον ηλεκτρισμό, τις τοποθετεί στο κέντρο των πολιτικών περί ενεργειακής μετάβασης της ΕΕ και τις καθιστά ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της.

Παρόλα αυτά, μόνο ο μεταμετασχηματισμός της παροχής ενέργειας δεν είναι αρκετός. Τα ενεργειακά αποθέματα είναι περιορισμένα και η ενεργειακή κατανάλωση επιβλαβής για το περιβάλλον. Οι καταναλωτές καλούνται να αλλάξουν συμπεριφορά και να προσαρμοστούν σε ένα νέο καθεστώς κατανάλωσης, με επίκεντρο την εφαρμογή μηχανισμών απόκρισης στη

ζήτηση. Η πιο ελεγχόμενη και κατευθυνόμενη κατανάλωση, στο πλαίσιο ενός μηχανισμού απόκρισης-ζήτησης, διευκολύνεται σημαντικά από την ύπαρξη ενεργειακών κοινοτήτων και, αντίστροφα, τα μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων επωφελούνται περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά από την εφαρμογή μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση. Οι δύο έννοιες είναι παρακείμενες και η εξέλιξή τους κοινή.

Σε ένα συνεχώς εξελισσόμενο νομικό τοπίο, το οποίο καθορίζει απόλυτα την λειτουργία, την εμβέλεια και τις δυνατότητες των ενεργειακών κοινοτήτων καθώς και την εφαρμογή μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση, η παρούσα εργασία παραθέτει τις τελευταίες νομοθετικές εξελίξεις σχετικά με τις ενεργειακές κοινότητες και την απόκριση στη ζήτηση στην ΕΕ και την Ελλάδα. Ακόμα παρουσιάζει τα ευρήματα πρόσφατων ερευνών σχετικά με την εφαρμογή μηχανισμών απόκριση στη ζήτηση. Διερευνά την συμβίωση των δύο αυτών εννοιών και τη δυνατότητα εφαρμογής μηχανισμών απόκρισης-ζήτησης στις ελληνικές ενεργειακές κοινότητες σήμερα και παραθέτει τις προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ελληνικές ενεργειακές κοινότητες καθώς και τα εμπόδια που δυσχεραίνουν την ομαλή λειτουργία τους.

1.2 Ορισμός Ενεργειακών Κοινοτήτων

Οι ενεργειακές κοινότητες είναι συνεργατικές πρωτοβουλίες μη εμπορικού σκοπού, οι οποίες επιτρέπουν στους πολίτες, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τις τοπικές αρχές να παράγουν, να διαχειρίζονται και να καταναλώνουν συλλογικά ενέργεια, κατά κύριο λόγο ανανεώσιμων πηγών (ΑΠΕ).

Συγκεντρώνοντας πόρους και τεχνογνωσία, τα μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, είτε αυτά είναι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, τοπικές αρχές ή απλοί πολίτες, συμμετέχουν σε διάφορες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης συστημάτων παραγωγής ενέργειας, της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και της ανάπτυξης τοπικών ενεργειακών υποδομών.

Παρακάτω, αναφέρονται μερικοί από τους κύριους τομείς δραστηριότητας των ενεργειακών κοινοτήτων στην ΕΕ, σύμφωνα με το Κοινό Κέντρο Ερευνών (Joint Research Centre JRC) της ΕΕ [2]:

- **Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές:** Τα μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, συνεργάζονται για τη δημιουργία έργων ανανεώσιμης ενέργειας, όπως ηλιακά πάνελ σε στέγες ή κοινοτικά αιολικά πάρκα. Οι εγκαταστάσεις αυτές επιτρέπουν στην κοινότητα να παράγει ενέργεια τοπικά, με σκοπό την κατανάλωση από τα μέλη της.
- **Διαχείριση ενέργειας:** Οι ενεργειακές κοινότητες φροντίζουν για τη διαχείριση και την παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας μεταξύ των μελών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει στρατηγικές απόκρισης-ζήτησης που βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας με βάση τη διαθεσιμότητα και την τιμολόγηση.
- **Διαμοιρασμός πόρων:** Οι κοινότητες ασχολούνται με τον διαμοιρασμό πόρων, όπως εργαλεία, εξοπλισμό ή τεχνογνωσία, για να διευκολύνουν την εγκατάσταση και τη συντήρηση συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Αυτή η συνεργατική προσέγγιση

ενισχύει την αποτελεσματικότητα των ενεργειακών κοινοτήτων και μειώνει το κόστος λειτουργίας τους.

- **Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση:** Η διεξαγωγή εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων με στόχο την αύξηση της ευαισθητοποίησης των πολιτών σχετικά με τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις βιώσιμες πρακτικές αποτελεί έναν ακόμα άξονα δραστηριότητας των ενεργειακών κοινοτήτων. Οι κοινότητες μπορούν να διοργανώσουν τόσο εργαστήρια όσο και εκπαιδευτικές συνεδρίες, προκειμένου να προσελκύσουν νέα μέλη, αλλά και να εξοπλίσουν τα υπάρχοντα μέλη με τις απαραίτητες δεξιότητες για την αποτελεσματική διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων της κοινότητας.
- **Έργα τοπικής ανάπτυξης:** Εκτός από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι ενεργειακές κοινότητες συμμετέχουν και σε έργα που υποστηρίζουν την τοπική ανάπτυξη, όπως η δημιουργία σταθμών φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα ή η δημιουργία αλυσίδων εφοδιασμού βιομάζας με σκοπό τη θέρμανση. Η δραστηριότητα αυτή συνάδει απόλυτα με τη φιλοσοφία μη-εμπορικού χαρακτήρα των κοινοτήτων.

1.3 Στόχοι Ενεργειακών Κοινοτήτων

Οι ενεργειακές κοινότητες συνιστούν έναν καινοτόμο μηχανισμό, ο οποίος μετασχηματίζει την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας ολόκληρου του ευρωπαϊκού τοπίου, προωθώντας τη συμμετοχή των πολιτών και την αειφορία. Κεντρικό ρόλο στις κοινότητες παίζει η έννοια της αποκέντρωσης των ενεργειακών συστημάτων, η οποία δίνει στους πολίτες τη δυνατότητα να αναλάβουν ενεργό ρόλο στην παραγωγή και διαχείριση των δικών τους ενεργειακών πόρων. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο ενισχύει την ενεργειακή αυτονομία, αλλά συμβάλλει επίσης στην τοπική οικονομική ανάπτυξη, καθώς και στη μείωση της ενεργειακής φτώχειας.

Οι στόχοι των ενεργειακών κοινοτήτων μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: (α) αποκέντρωση των ενεργειακών συστημάτων, (β) προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, (γ) μείωση του κόστους κατανάλωσης ενέργειας και (δ) ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας. Κάθε ένας από αυτούς τους πυλώνες διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και ανθεκτικού ενεργειακού μέλλοντος, το οποίο είναι απαραίτητο για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και την κοινωνική ανισότητα. Η παρούσα ενότητα θα εμβαθύνει στους στόχους των ενεργειακών κοινοτήτων, αναλύοντας τον τρόπο με τον οποίο οι πρωτοβουλίες αυτές συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη και στην ευημερία των τοπικών κοινοτήτων.

1.3.1 Αποκέντρωση των Ενεργειακών Συστημάτων

Ένας από τους πρωταρχικούς σκοπούς των ενεργειακών κοινοτήτων είναι η αποκέντρωση των ενεργειακών συστημάτων. Σύμφωνα με το παραδοσιακό καθεστώς, η παραγωγή ενέργειας κυριαρχείται από μεγάλες εταιρείες κοινής ωφέλειας, οι οποίες λειτουργούν κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Οι ενεργειακές κοινότητες αλλάζουν το παράδειγμα αυτό,

επιτρέποντας στους πολίτες να παράγουν, να καταναλώνουν και να διαχειρίζονται τους δικούς τους ενεργειακούς πόρους.

1.3.2 Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι ενεργειακές κοινότητες παίζουν κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της μετάβασης της ενεργειακής βιομηχανίας της Ευρώπης προς τις ΑΠΕ. Φέρνουν την τεχνοτροπία και τη φιλοσοφία των ΑΠΕ πιο κοντά στον πολίτη, δίνοντας τη δυνατότητα για τοπική παραγωγή ενέργειας, μέσω ηλιακών συλλεκτών, ανεμογεννητριών και άλλων συστημάτων ΑΠΕ. [2].

REPowerEU

Η προώθηση των ΑΠΕ ήρθε και πάλι στο προσκήνιο της ευρωπαϊκής πολιτικής ως απάντηση στις δυσκολίες και τη διαταραχή της παγκόσμιας αγοράς ενέργειας, την οποία προκάλεσε η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εφαρμόζει το σχέδιο REPowerEU: ένα σχέδιο δράσης, με πρωταρχικό στόχο τη σταδιακή κατάργηση των ρωσικών εισαγωγών ορυκτών καυσίμων και την παραγωγή καθαρής ενέργειας. Συγκεκριμένα, η ΕΕ επενδύει σε έργα ΑΠΕ και αναβαθμίσεις υποδομών, διευκολύνει την ανάπτυξη έργων ΑΠΕ με καθορισμούς νομικών πλαισίων και αναδιαμορφώνει την ενεργειακή πολιτική της ΕΕ και των κρατών-μελών της. Οι στόχοι ενεργειακής απόδοσης, ενεργειακής αυτονομίας, διαφοροποίησης των πηγών ενέργειας και επιτάχυνσης της πράσινης μετάβασης, έρχονται σε απόλυτη συμφωνία με τη λειτουργία και τον σκοπό των ενεργειακών κοινοτήτων, τονίζοντας τον σημαντικό ρόλο των ενεργειακών κοινοτήτων στην ενεργειακή αναγέννηση της Ευρώπης. [3]

1.3.3 Μείωση του Κόστους Κατανάλωσης Ενέργειας και Αντιμετώπιση της Ενεργειακής Φτώχειας

Οι ενεργειακές κοινότητες ασχολούνται, επίσης, με τη μείωση του κόστους κατανάλωσης ενέργειας που επιβάλλεται στους πολίτες. Η ενεργειακή φτώχεια [4], αποτελεί ένα πιεστικό ζήτημα σε όλη την Ευρώπη, με εκατομμύρια ανθρώπους να μην μπορούν να αντέξουν οικονομικά επαρκή θέρμανση ή ηλεκτρική ενέργεια. Οι ενεργειακές κοινότητες εστιάζουν στην επίτευξη των καλύτερων δυνατών τιμών ενέργειας για τα μέλη τους, αξιοποιώντας τη συλλογική αγοραστική δύναμη της κοινότητας και την ενισχυμένη διαπραγματευτική δύναμη που αυτή παρέχει στην κοινότητα. Επιπροσθέτως, κάποιες ενεργειακές κοινότητες εφαρμόζουν προγράμματα υποστήριξης, ειδικά σχεδιασμένα για να βοηθήσουν νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Για παράδειγμα, προγράμματα, όπως το Sun4All [5], χρησιμοποιούν τα έσοδα από την παραγωγή ενέργειας για την επιδότηση των λογαριασμών ενέργειας όσων έχουν ανάγκη.

1.3.4 Ανάπτυξη της Τοπικής Οικονομίας

Ένας ακόμη στόχος των ενεργειακών κοινοτήτων είναι η οικονομική ενδυνάμωση της τοπικής κοινωνίας. Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω, οι ενεργειακές κοινότητες κοιτούν

εσωτερικά, φροντίζοντας την κοινότητα η οποία τις θρέφει. Το ίδιο συμβαίνει και στον οικονομικό τομέα, στον οποίο συμβάλλουν σημαντικά, αφενός προσφέροντας θέσεις εργασίας στους τομείς της εγκατάστασης, της συντήρησης και της διαχείρισης των ενεργειακών έργων, αφετέρου διατηρώντας τις επενδύσεις εντός της τοπικής κοινότητας. Ο στόχος αυτός αποτελεί σημαντικό όφελος για την τοπική οικονομία, καθώς, κινητοποιώντας τοπικά κεφάλαια για έργα ΑΠΕ, οι ενεργειακές κοινότητες διασφαλίζουν ότι οι οικονομικοί πόροι παραμένουν σε τοπική εμβέλεια, τονώνοντας την οικονομική ανάπτυξη και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα έναντι εξωτερικών οικονομικών σοκ [2].

1.4 Οικονομικά, Περιβαλλοντικά και Κοινωνικά Οφέλη

Όπως παρατηρείται, η δραστηριότητα των ενεργειακών κοινοτήτων ξεπερνά τα όρια της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας. Καθένας από τους σκοπούς που αναφέρονται παραπάνω συνεπάγεται σημαντικά οφέλη σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο για την τοπική κοινωνία αλλά και την ευρύτερη ευρωπαϊκή κοινότητα.

Λαμβάνοντας τους τέσσερις τομείς στόχευσης έναν προς έναν, γίνονται αντιληπτά σε ικανοποιητικό βαθμό όλα αυτά τα οποία μπορεί να προσφέρει ένα σύστημα ενεργειακών κοινοτήτων. Ήδη σημειώθηκε πως η επικέντρωση των ενεργειακών κοινοτήτων στην ενίσχυση της τοπικής οικονομίας ωφελεί σε βάθος την τοπική κοινότητα. Αναπτύσσοντας περαιτέρω τη δήλωση αυτή, σημειώνονται συνολικά τα οικονομικά πλεονεκτήματα των ενεργειακών κοινοτήτων.

Οι ενεργειακές κοινότητες τονώνουν τις τοπικές οικονομίες, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και διατηρώντας τα έσοδα εντός της κοινότητας. Τα κέρδη που παράγονται από τα ενεργειακά έργα των κοινοτήτων συνήθως επανεπενδύονται στην κοινότητα, αντί να μεταφέρονται αλλού [2]. Οι θέσεις εργασίας που δημιουργούνται καλύπτουν διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης, της συντήρησης και της διαχείρισης τεχνολογιών ΑΠΕ. Αυτό είναι σημαντικό για τις αγροτικές περιοχές, όπου οι ευκαιρίες απασχόλησης μπορεί να είναι περιορισμένες, αλλά οι ευκαιρίες αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών άφθονες [6].

Επιπλέον, τα μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων επωφελούνται οικονομικά με μειωμένους λογαριασμούς ενέργειας και σταθερότητα εξόδων κατανάλωσης ενέργειας. Η τοπική παραγωγή ενέργειας μετριάζει την εξάρτηση από εξωτερικούς προμηθευτές και θωρακίζει τα μέλη από τις ασταθείς τιμές της αγοράς. Η αποκέντρωση των ενεργειακών συστημάτων προσφέρει ενισχυμένη ανθεκτικότητα σε τυχόν διαταραχές, σε σύγκριση με τα κεντρικά δίκτυα. Σε περιόδους κοινωνικής και περιβαλλοντικής κρίσης, όπως φυσικές καταστροφές ή γεωπολιτικές εντάσεις, η τοπική παραγωγή ενέργειας έχει την ικανότητα να συμβάλει στη διατήρηση της παροχής ενέργειας και να μειώσει την ευαισθησία σε εξωτερικούς κλυδωνισμούς.

Η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει μια πληθώρα οφελών, υπό από την ομπρέλα της προστασίας του περιβάλλοντος. Αρχικά, οι κοινότητες συνεισφέρουν στις προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Δίνοντας προτεραιότητα στην παραγωγή καθαρής ενέργειας, οι ενεργειακές κοινότητες συμβάλλουν στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα σε τοπικό επίπεδο, υποστηρίζοντας τους ευρύτερους κλιματικούς

στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) που αποσκοπούν στην επίτευξη ουδετερότητας ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 [7].

Η προώθηση των ΑΠΕ από τις ενεργειακές κοινότητες έχει μία ακόμα θετική έκφραση, αυτήν της αυξημένης δημόσιας αποδοχής των ΑΠΕ. Η συμμετοχή των πολιτών σε έργα ΑΠΕ οδηγεί σε μεγαλύτερη δημόσια αποδοχή των πρωτοβουλιών ανάπτυξης έργων ανανεώσιμων πηγών. Όταν οι πολίτες διαπιστώνουν απτά οφέλη από τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ, όπως είναι η μείωση των λογαριασμών ενέργειας ή η δημιουργία θέσεων εργασίας για την τοπική κοινότητα, είναι πιο πιθανό να υποστηρίξουν περαιτέρω εξελίξεις στον τομέα της βιώσιμης ενέργειας [8].

Ακόμη, οι ενεργειακές κοινότητες ενισχύουν την ενεργειακή απόδοση. Κατά κύριο λόγο, επικεντρώνονται στην παραγωγή ενέργειας σε τοπικό επίπεδο, γεγονός που μειώνει τις απώλειες μεταφοράς που συνδέονται με τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Με την παραγωγή ενέργειας κοντά στον τόπο κατανάλωσής της, οι κοινότητες μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ποσότητα ενέργειας που χάνεται στο δίκτυο, η οποία εκτιμάται ότι ευθύνεται για το 3% περίπου των παγκοσμίων εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια [9]. Ένας ακόμη τρόπος με τον οποίο συμβάλλουν στην ενεργειακή απόδοση είναι η συλλογική διαχείριση της ενέργειας. Τα κοινοτικά ενεργειακά έργα συχνά περιλαμβάνουν συλλογική διαχείριση των πόρων, επιτρέποντας στα μέλη να μοιράζονται την ενέργεια που παράγεται στην κοινότητα. Αυτή η συνεργατική προσέγγιση επιτρέπει την καλύτερη ευθυγράμμιση της προσφοράς και της ζήτησης και την ανακούφιση του δικτύου ενέργειας, ιδίως σε περιόδους αιχμής της χρήσης [9].

Ο εκπαιδευτικός χαρακτήρας των ενεργειακών κοινοτήτων τις καθιστά σημαντικό «παίκτη» στην προσπάθεια ευαισθητοποίησης των μελών, σχετικά με τη σπατάλη ενέργειας, την αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική προστασία. Η εκπαίδευση που παρέχουν οι ενεργειακές κοινότητες σχετικά με πρακτικές και τεχνολογίες ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας κινητοποιεί τους πολίτες και προάγει μια κουλτούρα διατήρησης και προστασίας. Τα άτομα αποκτούν μεγαλύτερη συνείδηση της χρήσης ενέργειας και των επιπτώσεων των ενεργειακών επιλογών τους στο περιβάλλον.

Τέλος, οι ενεργειακές κοινότητες προσφέρουν μια σειρά από κοινωνικά οφέλη ενισχύοντας την ανθεκτικότητα της κοινότητας, την κοινωνική συνοχή και την ενδυνάμωση των πολιτών. Όσον αφορά την κοινωνική συνοχή, οι ενεργειακές κοινότητες αποτελούν αφορμή, ώστε να συγκεντρωθούν πολίτες γύρω από κοινούς στόχους που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας και τη βιωσιμότητα. Η συμμετοχή σε αυτές τις κοινότητες ενθαρρύνει την αλληλεπίδραση και τον διάλογο μεταξύ των μελών, οδηγώντας στην ανάπτυξη κοινής ταυτότητας και εμπιστοσύνης. Ακόμη, λόγω της άμεσης εμπλοκής των πολιτών στην ενεργειακή μετάβαση, ενισχύεται το αίσθημα της ιδιοκτησίας και της ευθύνης. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αυξημένη λογοδοσία και διαφάνεια στην παραγωγή και διαχείριση της ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τονίζει ότι η συμμετοχή των πολιτών είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη μιας αποτελεσματικής και δίκαιης μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα, διασφαλίζοντας ότι όλοι θα μοιραστούν τα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη της. Η εμπλοκή των πολιτών σημαίνει και ενίσχυση της ενεργειακής δημοκρατίας και, ως συνέπεια, της δημοκρατικής δέσμευσης. Σε ένα καθεστώς ενεργειακής δημοκρατίας, οι πολίτες

έχουν φωνή στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με τα ενεργειακά έργα [6].

Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι ενεργειακές κοινότητες, παρέχοντας πρόσβαση σε τοπικά παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια, μπορούν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας [4]. Συχνά, οι κοινότητες επικεντρώνονται στη δημιουργία οικονομικά προσιτών ενεργειακών λύσεων για τους ευάλωτους πληθυσμούς, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από τα ακριβά ορυκτά καύσιμα. Η ενδυνάμωση των ευάλωτων νοικοκυριών έχει ως αποτέλεσμα μια πιο συνεκτική και ανθεκτική κοινότητα, με ενεργούς πολίτες οι οποίοι φροντίζουν για την ευημερία του συνόλου, παρά του ατόμου. Στο ίδιο πλαίσιο συλλογικού φρονήματος, οι ενεργειακές κοινότητες προωθούν και το αίσθημα τοπικής ταυτότητας και υπερηφάνειας. Δουλεύοντας από κοινού σε βιώσιμα έργα, τα μέλη της κοινότητας συχνά αναπτύσσουν ισχυρότερους δεσμούς με τον τόπο τους και το μέλλον του. Αυτή η αίσθηση του ανήκειν είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της μακροπρόθεσμης δέσμευσης των πολιτών σε πρωτοβουλίες προστασίας και ανάπτυξης του τόπου τους.

Συμπερασματικά, οι ενεργειακές κοινότητες παρέχουν ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων, ενισχύοντας σημαντικά την κοινωνική ευημερία και προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη. Με την ενδυνάμωση των τοπικών πολιτών να αναλάβουν τον έλεγχο των ενεργειακών τους πόρων, οι κοινότητες αυτές δημιουργούν μια αίσθηση ιδιοκτησίας και δράσης, οδηγώντας σε αυξημένη κοινωνική συνοχή και συλλογική δράση. Κινητοποιούν τοπικά κεφάλαια, επιτρέποντας στους κατοίκους να επενδύσουν σε έργα που ωφελούν άμεσα τις γειτονιές τους, ενώ ταυτόχρονα δημιουργούν θέσεις εργασίας και τονώνουν την οικονομική ανθεκτικότητα. Επιπλέον, οι ενεργειακές κοινότητες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανακούφιση της ενεργειακής φτώχειας, παρέχοντας πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ανανεώσιμη ενέργεια, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής των ευάλωτων πληθυσμών. Προάγουν την ενεργειακή δημοκρατία, με τη συμμετοχή των πολιτών στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, διασφαλίζοντας ότι η μετάβαση στη βιώσιμη ενέργεια είναι χωρίς αποκλεισμούς και δίκαιη. Συμβάλλουν, επίσης, στην οικοδόμηση ανθεκτικότητας έναντι των οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων, καθώς ενισχύουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Συνολικά, οι ενεργειακές κοινότητες αντιπροσωπεύουν μια μετασχηματιστική προσέγγιση που ευθυγραμμίζεται με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης της ΕΕ, προωθώντας κοινωνίες χωρίς αποκλεισμούς και, παράλληλα, τη μετάβαση προς ένα μέλλον χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Κεφάλαιο 2

Δομή και Λειτουργία των Ενεργειακών Κοινοτήτων

Το 2018 αποτέλεσε καθοριστικό έτος για τις ενεργειακές κοινότητες στην ΕΕ, καθώς οι διάφορες σχετικές έννοιες και τεχνολογίες που υπήρχαν σε προηγούμενες οδηγίες, κανονισμούς και νομοθεσίες, τελικά ενοποιήθηκαν και αποσαφηνίστηκαν στη δεύτερη Οδηγία για τις ΑΠΕ [10]. Στη συνέχεια, δημοσιεύτηκαν επτά έγγραφα, που περιλάμβαναν κανονισμούς, οδηγίες και αναθεωρήσεις προηγούμενων κειμένων. Αυτά τα έγγραφα είναι γνωστά συνολικά ως το «Πακέτο Καθαρής Ενέργειας για Όλους τους Ευρωπαίους» Clean Energy for all Europeans Package (CEP) και διευκρινίζουν τον τομέα δραστηριότητας, τα δικαιώματα τις υποχρεώσεις, καθώς και τη νομική και λειτουργική βάση για τη δραστηριοποίηση των ενεργειακών κοινοτήτων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Εντός του CEP αναφέρονται δύο είδη ενεργειακών κοινοτήτων. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές κοινότητες πολιτών Citizen Energy Communities (CEC) και οι κοινότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας Renewable Energy Communities (REC).

2.1 Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (REC)

Η οδηγία 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [11] περιγράφει την Κοινότητα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως εξής: Μια REC είναι μια νομική οντότητα, της οποίας ο κύριος στόχος είναι να παρέχει περιβαλλοντικά, οικονομικά ή κοινωνικά οφέλη για τους μετόχους/μέλη της ή για την τοπική περιοχή όπου δραστηριοποιείται, αντί των οικονομικών κερδών. Είναι αυτόνομη, βασίζεται σε ανοιχτή και εθελοντική συμμετοχή και ελέγχεται από τους μετόχους ή τα μέλη της. Οι μέτοχοι της κοινότητας μπορεί να είναι φυσικά πρόσωπα, μικρές ή μεσαίες επιχειρήσεις ή τοπικές αρχές, συμπεριλαμβανομένων των δήμων. Τόσο οι μέτοχοι όσο και τα μέλη πρέπει να βρίσκονται γεωγραφικά κοντά στα έργα ΑΠΕ.

Παρόλα αυτά, η ερμηνεία της εγγύτητας στα έργα ΑΠΕ δεν ορίζεται με επάρκεια στην παραπάνω οδηγία [10]. Επιπλέον, ο αριθμός των μελών είναι περιορισμένος, καθώς οι

Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας επικεντρώνονται στην επέκταση της χρήσης ΑΠΕ σε εθνικό επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, οι RECs έχουν μία επιπλέον λειτουργία: Την εκπαίδευση και την επιμόρφωση των πολιτών και τεχνικών του τομέα της ενέργειας σχετικά με την εγκατάσταση και τη συντήρηση συστημάτων που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η οδηγία Renewable Energy Directive II [11], τονίζει τη σημασία των εξειδικευμένων εργατών, με έμφαση στους εργάτες στον τομέα του σχεδιασμού και της εγκατάστασης συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία χρησιμοποιούνται σε ΑΠΕ. Με βάση αυτή την οδηγία, τα κράτη μέλη της ΕΕ είναι υποχρεωμένα να συνεργάζονται με κοινωνικούς εταίρους και Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για την πρόβλεψη των απαραίτητων δεξιοτήτων των τεχνικών, ενισχύοντας την εκπαίδευση και την κατάρτιση σε τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας.

2.1.1 Παράδειγμα Κοινότητας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Enercoop France

Ο Enercoop [12] είναι ένας γαλλικός συνεταιρισμός που επικεντρώνεται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από 100% ανανεώσιμες πηγές. Ιδρύθηκε πριν από 15 χρόνια και έχει ως στόχο την ενδυνάμωση των τοπικών κοινοτήτων μέσω ενός συνεταιριστικού μοντέλου που δίνει έμφαση στη συμμετοχή των πολιτών και στις βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές. Βασικοί πυλώνες λειτουργίας του αποτελούν: (α) προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ, (β) η ανάπτυξη κοινοτικής δέσμευσης και κοινωνικής ευθύνης, η ενεργειακή απόδοση και η ενίσχυση της τοπικής οικονομίας και επιχειρηματικότητας.

Ο Enercoop παρέχει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική και βιομάζα. Προμηθεύεται αυτή την ηλεκτρική ενέργεια από περισσότερες από 471 εγκαταστάσεις παραγωγής σε ολόκληρη τη Γαλλία, με περίπου τις μισές από αυτές τις εγκαταστάσεις να ανήκουν σε πολίτες ή τοπικές κοινότητες. Ο συνεταιρισμός λειτουργεί με βάση τις αρχές της αλληλεγγύης και της κοινωνικής ευθύνης, ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή των πολιτών στην ενεργειακή μετάβαση. Τα μέλη μπορούν να συμμετέχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και να επωφελούνται από τις πρωτοβουλίες του συνεταιρισμού. Επιπλέον, ο συνεταιρισμός προσφέρει υπηρεσίες που αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στην προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας για νοικοκυριά και επιχειρήσεις, την παροχή συμβουλών για τη μείωση της χρήσης ενέργειας και την υποστήριξη της εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως ο Enercoop διαθέτει ένα ταμείο με σκοπό την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας, βοηθώντας έτσι ευάλωτους πληθυσμούς να έχουν πρόσβαση σε ενεργειακές λύσεις. Ο Enercoop αντιπροσωπεύει ένα μοντέλο για το πώς οι πρωτοβουλίες με γνώμονα την κοινότητα μπορούν να συμβάλλουν στους ευρύτερους στόχους της οικολογικής και κοινωνικής μετάβασης στον τομέα της ενέργειας.

2.2 Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών (CEC)

Οι Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών αποτελούν νομικές οντότητες που βασίζονται στην ανοιχτή και εθελοντική συμμετοχή, με στόχο τη διευκόλυνση της πρόσβασης των Ευρωπαίων πολιτών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παροχή συγκεντρωτικών υπηρεσιών και τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας [13]. Μπορούν να πάρουν τη μορφή μικρών ή μεσαίων επιχειρήσεων, συνεταιρισμών, ενώσεων, εταιρικών σχημάτων και μη κερδοσκοπικών οργανισμών. Όλες οι νομικές οντότητες έχουν δικαίωμα να γίνουν μέλη μιας CEC[10]. Οι CEC μπορούν να δραστηριοποιούνται στους τομείς της παραγωγής, της διανομής, της προμήθειας, της κατανάλωσης, της συγκέντρωσης, της αποθήκευσης ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης ή των υπηρεσιών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων Electric Vehicles (EVs) ή να παρέχουν άλλες ενεργειακές υπηρεσίες στα μέλη ή τους μετόχους της [14]. Για τον διαμοιρασμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των μελών της, μια CEC μπορεί να χρησιμοποιεί το δημόσιο δίκτυο, γεγονός που συνεπάγεται ότι η κοινή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι δυνατή για τα μέλη των CEC χωρίς άμεση φυσική σύνδεση ή χωρίς να βρίσκονται πίσω από μια μεμονωμένη συσκευή μέτρησης[10]. Συνεπώς, δεν υπάρχουν γεωγραφικοί περιορισμοί για τις CEC, δηλαδή, ο τελικός καταναλωτής δεν χρειάζεται να είναι γεωγραφικά κοντά στο ενεργειακό έργο, προκειμένου να γίνει μέλος του [15].

Σύμφωνα με το πακέτο οδηγιών CEP [11], «οι ενεργειακές πρωτοβουλίες κοινοτήτων επικεντρώνονται κυρίως στην παροχή προσιτής ενέργειας ενός συγκεκριμένου τύπου, όπως η ανανεώσιμη ενέργεια, στα μέλη ή στους μετόχους τους, αντί να δίνεται προτεραιότητα στη δημιουργία κερδών, όπως συμβαίνει σε μια παραδοσιακή επιχείρηση ηλεκτρισμού». Βάσει αυτής της διάταξης, η λειτουργικότητα των CEC δεν περιορίζεται μόνο σε δραστηριότητες σχετικές με την ηλεκτρική ενέργεια και μπορεί επίσης να ασχοληθεί με τον τομέα της θερμότητας [10]. Τέλος, οι CEC δεν περιορίζονται μόνο στις ΑΠΕ.

Δεδομένου ότι ο πρωταρχικός στόχος τους είναι η διασφάλιση της πρόσβασης των πολιτών στην ενεργειακή αγορά, οι ενεργειακές κοινότητες πολιτών έχουν δικαίωμα πρόσβασης σε όλες τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, είτε άμεσα, είτε μέσω συγκεντρωτικής συμμετοχής, δηλαδή με ομαδοποίηση μικρότερης κλίμακας ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών σε μια μεγαλύτερη μονάδα [10].

2.2.1 Παράδειγμα Ενεργειακής Κοινότητας Πολιτών: Brupower Brussels

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας ενεργειακής κοινότητας πολιτών είναι ο συνεταιρισμός Brupower [16], στις Βρυξέλλες του Βελγίου. Ο Brupower είναι ο πρώτος ενεργειακός συνεταιρισμός πολιτών που ιδρύθηκε στις Βρυξέλλες, με στόχο να δώσει τη δυνατότητα στους τοπικούς πολίτες να αναλάβουν τον έλεγχο του ενεργειακού τους εφοδιασμού και να μειώσουν την εξάρτηση από τις μεγάλες εμπορικές εταιρείες ενέργειας. Αποτελεί έναν νεαρό συνεταιρισμό, ο οποίος δημιουργήθηκε από μια ομάδα εθελοντών, με κύρια κινητήρια δύναμη την προώθηση των ΑΠΕ.

Βασικά χαρακτηριστικά του αποτελούν: (α) η συμμετοχή των πολιτών στην παραγωγή και

τη διαχείριση ενέργειας, καθώς και η άμεση ωφέλειά τους από τα έργα ΑΠΕ, (β) ο σχεδιασμός και η παραγωγή έργων ΑΠΕ, και (γ) η επίτευξη ενός συστήματος βιώσιμης παροχής και κατανάλωσης ενέργειας, εξαλείφοντας την σπατάλη ενέργειας. Ο συνεταιρισμός εμπλέκεται σε ένα μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό έργο, μέσω της SeaCoop (Βελγική συνεταιριστική κοινωνική επιχείρηση που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο να δώσει τη δυνατότητα στους πολίτες να συν-επενδύσουν σε υπεράκτια αιολικά πάρκα και να έχουν άμεση πρόσβαση στην παραγόμενη ενέργεια.)[17], δίνοντας τη δυνατότητα σε πολίτες να αποκτήσουν ένα μέρος ενός αιολικού πάρκου. Σημειώνεται πως, παρόλο που η Brupower επικεντρώνεται σε έργα ΑΠΕ, η δραστηριότητά της εκτός της τοπικής εμβέλειας της κοινότητας, μέσω των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, τη καθιστά ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργειακής κοινότητας πολιτών.

Πλαίσιο 1.: Ιδιοκατανάλωση: Ατομική και Συλλογική

Μέσω της οδηγίας RED για τις ΑΠΕ [11], ορίζονται δύο ακόμα μορφές αποκεντρωμένης παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας πολιτών: η ατομική ιδιοκατανάλωση (Self-Consumption) και η συλλογική ιδιοκατανάλωση (Collective Self Consumption). Ο όρος «ατομική ιδιοκατανάλωση» αναφέρεται στην περίπτωση που ένα φυσικό ή νομικό πρόσωπο παράγει ενέργεια ΑΠΕ εντός των εγκαταστάσεών του, για δική του κατανάλωση. Το πρόσωπο αυτό μπορεί, επίσης, να αποθηκεύει και να πουλά τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια, μέσω συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ή ομοτίμων συναλλαγών, υπό την προϋπόθεση ότι δεν είναι εγγεγραμμένοι ως πωλητές ενέργειας [15].

Ο όρος συλλογική ιδιοκατανάλωση χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ομάδα τουλάχιστον δύο RES Self-Consumers που συνεργάζονται για να μοιραστούν την ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ. Ορίζονται δύο μορφές CSC: Η ενδοκτηριακή συλλογική ιδιοκατανάλωση, όπου τα άτομα που συνιστούν την ομάδα αποτελούν κατοίκους ενός κτηρίου και η συλλογική ιδιοκατανάλωση σε κλίμακα οικοδομικού τετραγώνου, όπου η ομάδα εκτείνεται σε πολλά κτήρια που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση [15].

2.3 Ομοιότητες και Διαφορές CECs και RECs

Όπως προαναφέρθηκε, τόσο οι Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών, όσο οι Κοινότητες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ορίζονται ως μια νομική οντότητα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [8], οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να λάβουν τη μορφή οποιασδήποτε νομικής οντότητας, όπως συλλογικότητες, συνεταιρισμοί, εταιρείες περιορισμένης ευθύνης, μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί ή εταιρικές σχέσεις. Αυτό αποσκοπεί στη διάθεση ευελιξίας στον τρόπο οργάνωσης και διαχείρισης των κοινοτήτων αυτών, επιτρέποντας τους να προσαρμοστούν καλύτερα στις τοπικές νομικές και οικονομικές συνθήκες.

Σε κάθε περίπτωση, η νομική οντότητα λειτουργεί ως συντονιστής για τις δραστηριότητες της ενεργειακής κοινότητας και ο αποτελεσματικός έλεγχος βρίσκεται στα χέρια των μελών [15], το όφελος των οποίων είναι ευθυγραμμισμένο με τους στόχους της κοινότητας. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι οι τοπικοί και μικρότεροι παράγοντες έχουν δύναμη λήψης αποφάσεων, συνεπώς αποτρέπεται η κατάληψη της κοινότητας από μεγάλες επιχειρήσεις και διασφαλίζεται ότι τα οφέλη από την παραγωγή, τη διανομή και τη χρήση ενέργειας παραμένουν στους τοπικούς πολίτες ή τα μέλη της κοινότητας.

Παρόλο που σύμφωνα με τους Busch και συν. (2021) [18] αναφέρεται ότι οι Ενεργειακές Κοινότητες Πολιτών είναι ίδιες με τις Κοινότητες Ανανεώσιμης Ενέργειας, εκτός από το γεγονός ότι οι πρώτες δεν περιορίζονται στην εγγύτητα του ενεργειακού έργου, οι διαφορές μεταξύ CEC και REC έγκεινται σε περισσότερα σημεία. Η πρώτη ουσιαστική διαφορά είναι ότι οι CECs δεν περιορίζονται στην αξιοποίηση ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Η δεύτερη σημαντική διαφορά είναι ότι οι CECs επιτρέπεται να κατέχουν, να διαχειρίζονται και να λειτουργούν ένα σύστημα διανομής, διευρύνοντας σημαντικά τους τομείς καθώς και το εύρος δραστηριότητάς τους.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο ειδών ενεργειακών κοινοτήτων σε κοινούς άξονες:

Χαρακτηριστικά	REC [11]	CEC [19]
Ορισμός & Σκοπός	Νομική οντότητα βασισμένη σε ανοιχτή και εθελοντική συμμετοχή, με σκοπό να παρέχει περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Κύριος στόχος, η ανάπτυξη της τοπικής κοινότητας και η εξάπλωση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε εθνικό επίπεδο	Μια νομική οντότητα βασισμένη σε ανοιχτή και εθελοντική συμμετοχή, με σκοπό να παρέχει περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Κύριος στόχος, η δημιουργία για τους πολίτες ίσων χώρων ανταγωνισμού στην ενεργειακή αγορά. Λαμβάνει τον ρόλο μη εμπορικού παράγοντα στην ενεργειακή αγορά.
Κύριες Δραστηριότητες	• Παραγωγή • Αυτοκατανάλωση • Αποθήκευση • Πώληση ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές	• Παραγωγή ενέργειας, συμπεριλαμβανόμενης και της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές • Διανομή, προμήθεια, κατανάλωση, συγκέντρωση, αποθήκευση ενέργειας και υπηρεσίες ενεργειακής απόδοσης
Έλεγχος και Λειτουργία	Από μετόχους	Από μετόχους

Χαρακτηριστικά	REC [11]	CEC [19]
Μέλη & Υπεύθυνοι Λήψης Αποφάσεων	• Φυσικά πρόσωπα • Ιδιοκτήτες σπιτιών • Μικρομεσαίες επιχειρήσεις • Τοπικές Αρχές • Δήμοι	• Φυσικά πρόσωπα • Τοπικές αρχές • Δήμοι • Μικρομεσαίες επιχειρήσεις • **Μεγάλες επιχειρήσεις Μπορούν να συμμετέχουν, όμως εξαιρούνται από τον αποτελεσματικό έλεγχο
Ιδιοκτησία	Από την ίδια νομική οντότητα	Από την ίδια νομική οντότητα
Γεωγραφικά όρια	Εγγύτητα στο σύστημα παραγωγής ενέργειας ανανεώσιμων πηγών.	Μόνος περιορισμός η δυνατότητα του συστήματος διανομής για διαμοιρασμό ενέργειας.

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικά Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Κοινοτήτων

2.4 Μηχανισμοί Αντιστάθμισης Περίσσειας Ενέργειας

Στο πλαίσιο της κυκλικής ενέργειας και της αποδοτικής χρήσης ενέργειας, κάθε είδους αυτοκαταναλωτής, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών κοινοτήτων, λαμβάνει μέρος σε κάποιον μηχανισμό ενεργειακής αντιστάθμισης. Η περίσσεια ενέργεια που παράγεται από τα ενεργειακά έργα μιας ενεργειακής κοινότητας, αλλά δεν καταναλώνεται από τα μέλη της κοινότητας, αποζημιώνεται μέσω κάποιου μηχανισμού από τους ενεργειακούς παρόχους ή ανταλλάσσεται με άλλες οντότητες, μέσω ενεργειακών συναλλαγών. Οι πιο συνήθεις μηχανισμοί αντιστάθμισης είναι το Net Billing και το Net Metering, ενώ σε χρήση βρίσκονται και η Feed-In Tariff καθώς και η συναλλαγή Peer-to-Peer.

Με τον όρο Net Metering αναφέρεται ο συμψηφισμός της παραχθείσας ενέργειας από τον σταθμό παραγωγής με την ενέργεια που κατανάλωσε ο αυτοπαραγωγός στις εγκαταστάσεις του. Το σύστημα Virtual Net Metering αποτελεί εξειδίκευση του μηχανισμού διαχείρισης ενεργειακού συμψηφισμού (Net Metering). Η διαφορά με τον μηχανισμό Virtual Net Metering έγκειται στο ότι ο Net Metering απαιτεί η εγκατάσταση παραγωγής να είναι στον ίδιο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης και να συνδέεται ηλεκτρικά με αυτή. [20][21]

Στον μηχανισμό Net Billing, ο συμψηφισμός μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια εγχέεται στο δίκτυο και αποζημιώνεται σε βάθος χρόνου, με βάση την τιμή της χονδρεμπορικής αγοράς κατά τις ώρες της έγχυσης. Όσον αφορά τον μηχανισμό Virtual Net Billing, ακολουθεί την ίδια λογική, πέραν του ότι οι εγκαταστάσεις κατανάλωσης προς συμψηφισμό δεν συνδέονται ηλεκτρικά με την εγκατάσταση του σταθμού παραγωγής. Ορίζεται πως οι αυτοκαταναλωτές δύνανται να

αποζημιώνονται για την πλεονάζουσα ενέργεια που εγγέουν στο δίκτυο είτε μέσω συμμετοχής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είτε μέσω λειτουργικής ενίσχυσης. [22] [21]

Σύμφωνα με τους Maekawa και συν. (2022)[23], η Feed-In Tariff (FIT) είναι ένας μηχανισμός πολιτικής που έχει σχεδιαστεί για να επιταχύνει τις επενδύσεις σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λειτουργεί απαιτώντας από τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας να αγοράζουν ενέργεια από ΑΠΕ σε υψηλότερες τιμές, σε σύγκριση με τη συνήθη τιμή της σύμβασης ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα FIT λειτουργεί ως επιδότηση του Πιγκουβιανού για την επίλυση της ελλιπούς παροχής αγαθών με θετικές εξωτερικές επιδράσεις, όπως οι θετικές επιδράσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο περιβάλλον. Οι τιμές FIT καθορίζονται συνήθως σε υψηλό επίπεδο αρχικά, για την τόνωση των επενδύσεων και, στη συνέχεια, μειώνονται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου.

Πλαίσιο 2.: Επιδότηση κατά Πιγκού

Η επιδότηση κατά Πιγκού είναι μια μορφή κρατικής βοήθειας που αποσκοπεί στην ενθάρρυνση δραστηριοτήτων ή συμπεριφορών που παράγουν οφέλη για την κοινωνία τα οποία δεν αποτυπώνονται πλήρως στην τιμή της αγοράς. Στο πλαίσιο της Feed-In Tariff για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το σύστημα FIT λειτουργεί ως Πιγκουβιανή επιδότηση με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Παρέχει οικονομικό κίνητρο (υψηλότερη τιμή αγοράς) για επενδύσεις σε ΑΠΕ, οι οποίες έχουν θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
2. Διορθώνει τις αδυναμίες της αγοράς με την εσωτερίκευση των θετικών εξωτερικοτήτων της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
3. Ενθαρρύνει την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε επίπεδο που πλησιάζει την κοινωνικά βέλτιστη ποσότητα.

Ο στόχος είναι να αυξηθεί το μερίδιο των ΑΠΕ στο συνολικό ενεργειακό μείγμα μιας χώρας, αντιμετωπίζοντας έτσι τις περιβαλλοντικές ανησυχίες και μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. [23]

Καθώς η ανανεώσιμη ενέργεια γίνεται πιο ανταγωνιστική ως προς το κόστος, οι τιμές του FIT μειώνονται για να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ των κινήτρων και των τιμών της αγοράς. Στο πλαίσιο της μετάβασης εκτός του συστήματος FIT, έρχεται και η κατάσταση Zero Feed-In Tariff, όπου η τιμή αγοράς FIT μειώνεται στο μηδέν. Στο έργο των Trivedi και συν. (2024)[24], οι οποίοι εξετάζουν ενεργειακές κοινότητες της Ιρλανδίας, με σκοπό να συλλέξουν ένα εκτενές dataset επί των ενεργειακών φορτίων των κοινοτήτων, χρησιμοποιείται Zero Feed-In τιμολόγηση για την ενσωμάτωση της περίσσειας ενέργειας των κοινοτήτων στο δίκτυο.

Οι πληρωμές FIT συχνά μοιράζονται μεταξύ των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και προστίθενται στους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας. FIT έχει εφαρμοστεί σε διάφορες χώρες, με διαφορετικά επίπεδα επιτυχίας, ανάλογα με παράγοντες, όπως η στρατηγική

τιμολόγησης και οι συνθήκες της αγοράς. Καθώς τα συστήματα FIT ωριμάζουν, ορισμένες χώρες μεταβαίνουν σε άλλα μέσα πολιτικής για την περαιτέρω στήριξη της ανάπτυξης των ΑΠΕ.

Σύμφωνα με τους Groza και συν. (2024)[20], η συναλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας Peer-to-Peer (P2P) είναι μια προσέγγιση που επιτρέπει στους ηλιακούς αυτοκαταναλωτές να πωλούν την πλεονάζουσα ηλιακή τους ηλεκτρική ενέργεια απευθείας σε γείτονες οι οποίοι έχουν απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να καλυφθούν με χαμηλότερο κόστος από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει στις γειτονιές να λειτουργούν παρόμοια με τα μικροδίκτυα, παρέχοντας ενδεχομένως χαμηλότερο κόστος και πρόσθετες υπηρεσίες που θα μπορούσαν να καταστήσουν το συνολικό δίκτυο όχι μόνο πιο πράσινο αλλά και πιο ανθεκτικό. Το P2P trading χρησιμοποιείται για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των κεντρικών συστημάτων τιμολόγησης που σχεδιάστηκαν για κεντρική παραγωγή ενέργειας και για να ενθαρρυνθεί η καταναεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά συστήματα. Υλοποιείται με τη χρήση της τεχνολογίας blockchain, η οποία επιτρέπει ασφαλείς συναλλαγές.

Το σύστημα εμπορίας P2P παρακολουθεί τη ζήτηση των χρηστών και τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, διευκολύνοντας τις συναλλαγές μεταξύ των χρηστών σε ωριαία βάση, όταν ένας χρήστης έχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά και ένας άλλος έχει ζήτηση. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα επωφελής σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα της παραγωγής και της ζήτησης μεταξύ των χρηστών, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση της τοπικά παραγόμενης ηλιακής ενέργειας και μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους για τους συμμετέχοντες, ιδίως σε σενάρια τιμολόγησης κατά χρόνο χρήσης (βλ. υποκεφάλαιο 3.2.1). Ο μηχανισμός P2P χρησιμοποιείται κυρίως μεταξύ ατομικών και συλλογικών αυτοκαταναλωτών, έχει όμως τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και στο πλαίσιο ενός δικτύου ενεργειακών κοινοτήτων ή ενός δικτύου αυτοκαταναλωτών στους οποίους εμπεριέχεται και μία ενεργειακή κοινότητα.

	Feed-In Tariff [23] [25]	(Virtual) Net Billing [26] [21] [22]	(Virtual) Net Metering [27] [26] [21]	P2P Trading [28] [20]
Ορισμός	Σταθερή πληρωμή για τη διοχέτευση ενέργειας στο δίκτυο	Πώληση πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο σε τιμές χονδρικής, αγορά σε τιμές λιανικής	Αντιστάθμιση αυτοκατανάλωσης με τροφοδότηση πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο και χρήση του δικτύου ως εικονική αποθήκη	Άμεση συναλλαγή ενέργειας μεταξύ αυτοκαταναλωτών χωρίς μεσάζοντες

	Feed-In Tariff [23] [25]	(Virtual) Net Billing [26] [21] [22]	(Virtual) Net Metering [26] [21] [27]	P2P Trading [28] [20]
Μοντέλο Τιμ/σης	Σταθερό επιτόκιο ορισμένο από την κυβέρνηση ή την εταιρεία παροχής	Χονδρική τιμή για την πώληση πλεονάσματος, λιανική τιμή για την κατανάλωση	Αντιστάθμιση λιανικής τιμής για το πλεόνασμα ενέργειας	Ευέλικτη τιμολόγηση δυναμική ή σταθερή, καθορισμένη σε ένα μέσο σημείο που ωφελεί τόσο τους αγοραστές όσο και τους πωλητές σε σύγκριση με τις τιμές του δικτύου.
Ιδιοκτησία της Ενέργειας	Ο πάροχος κατέχει όλη την παραγόμενη ενέργεια	Ο πάροχος αγοράζει την πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια	Ο αυτοκαταναλωτής κατέχει όλη την παραγόμενη ενέργεια. Λαμβάνει πίστωση για την πλεονάζουσα ενέργεια	Εξαρτάται από τη συμφωνία μεταξύ των μερών
Τεχν/κές Απαιτήσεις	Βασική σύνδεση στο δίκτυο	Smart Meters, συστήματα Billing	Smart Meters	Blockchain Platforms, Smart Meters
Εξάρτηση από το Δίκτυο	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια προς χαμηλή (δυνατότητα για ανεξάρτητο microgrid)

Πίνακας 2.2: Μηχανισμοί Αποζημίωσης Πλεονάζουσας Παραγόμενης Ενέργειας

2.5 Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο και Πολιτικές

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέσω της δέσμης μέτρων CEP [29] του 2019, η ΕΕ εισήγαγε για πρώτη φορά στη νομοθεσία της την έννοια των ενεργειακών κοινοτήτων, ορίζοντας συγκεκριμένα τις CECs και RECs. Έκτοτε, η νομοθεσία της ΕΕ για τις ενεργειακές κοινότητες έχει ενισχυθεί περαιτέρω με νέους ή αναθεωρημένους κανόνες. Η διαμόρφωση ενός πλήρους νομοθετικού πλαισίου ενεργειακών κοινοτήτων για την ΕΕ προσεγγίζεται από τέσσερις πλευρές: (α) τη διάδοση των ΑΠΕ προς χρήση στην παραγωγή ενέργειας, (β) τη διασφάλιση ενεργειακής απόδοσης, (γ) τον επανασχεδιασμό της ενεργειακής αγοράς και (δ)

την κοινωνική ενδυνάμωση.

Όσον αφορά τις ΑΠΕ, το 2023, υιοθετήθηκε από την ΕΕ η τροποποιητική οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 2023/2413 [30], η οποία επιτρέπει σε χώρες της ΕΕ να προωθήσουν τις ενεργειακές κοινότητες σε υπεράκτια αιολικά πάρκα και δίκτυα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης.

Πλαίσιο 3.: Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα και Δίκτυα Τηλεθέρμανσης και Τηλεψύξης

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών που βρίσκονται σε υδάτινους όγκους, συνήθως στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα. Αυτή η μέθοδος παραγωγής ενέργειας έχει κερδίσει έδαφος καθώς παρέχει:

- Υψηλότερες ταχύτητες ανέμου, λόγω της γεωγραφικής τοποθέτησης.
- Μειωμένες συγκρούσεις χρήσεων γης, σχετικά με τα αντίστοιχα χερσαία έργα.
- Ευκολία επεκτασιμότητας, λόγω των τεράστιων αναξιοποίητων υδάτινων εκτάσεων [31].

Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης παρέχουν κεντρική θέρμανση ή ψύξη σε πολλαπλά κτήρια από μια ενιαία πηγή. Αποτελούν ένα ιδιαίτερα αποδοτικό σύστημα σε αστικές περιοχές, όπου η ζήτηση είναι συγκεντρωμένη [32].

Για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτήρια, οι χώρες μπορούν, επίσης, να αποφασίσουν να προωθήσουν τη συνεργασία με τις τοπικές αρχές μέσω δημόσιων συμβάσεων. Οι κανόνες αυτοί βασίζονται σε εκείνους που έχουν ήδη θεσπιστεί το 2018, στο πλαίσιο της αναθεωρημένης οδηγίας για τις ΑΠΕ(ΕΕ) 2018/2001 [11].

Η αναδιατυπωμένη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση 2023/1791 [33] όχι μόνο εισάγει μέτρα πολιτικής που αποσκοπούν στην εκπλήρωση των υποχρεώσεων εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά επιβάλλει στα τοπικά σχέδια θέρμανσης να αξιολογούν τις δυνατότητες των ενεργειακών κοινοτήτων να δρομολογήσουν έργα θέρμανσης με βάση τις ΑΠΕ. Ταυτόχρονα, η αναδιατυπωμένη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων 2024/1275 [34] απαιτεί τα σχέδια ανακαίνισης κτηρίων να περιλαμβάνουν αξιολόγηση του ρόλου των ενεργειακών κοινοτήτων. Η οδηγία αυτή αναγνωρίζει την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται από τις ενεργειακές κοινότητες ως βιώσιμη πηγή ενέργειας για κτήρια μηδενικών εκπομπών. Επιπλέον, υποχρεώνει τα κράτη-μέλη της ΕΕ να εφαρμόζουν μέτρα που διασφαλίζουν ότι όλοι οι σχετικοί συμμετέχοντες στην αγορά, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών κοινοτήτων, λαμβάνουν επαρκή πληροφόρηση και κατάρτιση. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση αποσκοπεί στην ενίσχυση της ενσωμάτωσης των ενεργειακών κοινοτήτων στο ευρύτερο ενεργειακό τοπίο, προωθώντας τη συνεργασία και την καινοτομία στην ανάπτυξη ΑΠΕ.

Περνώντας στο ζήτημα του ανασχεδιασμού της ενεργειακής αγοράς, σκοπός της ΕΕ είναι η ενίσχυση και η αποσαφήνιση των δικαιωμάτων των ενεργειακών κοινοτήτων να μοιράζονται ενάρξεια μεταξύ των μελών ή των μετόχων τους. Συγκεκριμένα, η οδηγία σχετικά με τους

κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας 2019/944 [35] προωθεί την ανάπτυξη των ενεργειακών κοινοτήτων με την εισαγωγή ρυθμίσεων που διευκολύνουν την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών. Η συμμετοχή αυτή μπορεί να γίνει μεμονωμένα ή μέσω ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών, επιτρέποντάς τους να παράγουν, να καταναλώνουν, να μοιράζονται ή να πωλούν ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και να παρέχουν υπηρεσίες ευελιξίας, μέσω λύσεων απόκρισης στη ζήτηση και αποθήκευση.

Τέλος, οι χώρες της ΕΕ μπορούν να εστιάσουν στα ευάλωτα νοικοκυριά (όπως οικογένειες χαμηλού εισοδήματος και άτομα που κινδυνεύουν από ενεργειακή φτώχεια), στις πολύ μικρές επιχειρήσεις (οι οποίες συχνά δέχονται σημαντικές προκλήσεις σχετικά με τη διαχείριση του ενεργειακού κόστους) και στους χρήστες μεταφορών, αξιοποιώντας τις ενεργειακές κοινότητες, στο πλαίσιο του κανονισμού 2023/955 για το Κοινωνικό Ταμείο για το Κλίμα [36] [8].

2.5.1 Πρωτοβουλίες της ΕΕ για την Ενίσχυση των Ενεργειακών Κοινοτήτων και την Αειφόρο Ανάπτυξη

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο διέθεσε χρηματοδότηση για τρία έργα με στόχο την προώθηση βέλτιστων πρακτικών και την παροχή τεχνικής βοήθειας για την ανάπτυξη πρωτοβουλιών ενεργειακών κοινοτήτων σε ολόκληρη την ΕΕ.

Υπηρεσία Υποστήριξης Ανακαίνισης με Πρωτοβουλία των Πολιτών (CLR)

Η CLR είναι μια πρωτοβουλία που χρηματοδοτείται από την ΕΕ και αποσκοπεί στην ενδυνάμωση των πολιτών, προκειμένου να αναλάβουν την ευθύνη των έργων ενεργειακής ανακαίνισης στις κοινότητές τους. Η CLR επιδιώκει να θέσει τους πολίτες στην πρώτη γραμμή των ανακαινίσεων με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ηγηθούν έργων που βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Το πρόγραμμα επικεντρώνεται στην προώθηση ισχυρών κοινοτικών δεσμών, με την υποστήριξη συλλογικοτήτων ανακαίνισης υπό την ηγεσία των πολιτών. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή βοήθειας στις κοινότητες για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση διαφόρων δραστηριοτήτων ανακαίνισης, όπως η αναβάθμιση της μόνωσης, η αντικατάσταση συστημάτων θέρμανσης και η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η CLR συνεργάζεται επί του παρόντος με τέσσερις πιλοτικές ενεργειακές κοινότητες που βρίσκονται στο Βέλγιο, τη Βουλγαρία, την Ιρλανδία και την Πορτογαλία. Τα πιλοτικά αυτά προγράμματα αποσκοπούν στην ανάπτυξη πρακτικών για την αντιμετώπιση των εμποδίων που σχετίζονται με τη χρηματοδότηση, τη ρύθμιση, την τεχνολογία και τη διάδοση των πληροφοριών στο πλαίσιο των ενεργειακών ανακαινίσεων [37].

Πιο συγκεκριμένα, οι δραστηριότητες του προγράμματος μπορούν να διακριθούν σε: εξατομικευμένη υποστήριξη, εκπαίδευση, διάδοση βέλτιστων πρακτικών και ενίσχυση δικτύων επικοινωνίας. Οι κοινότητες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα έχουν πρόσβαση σε εξατομικευμένη βοήθεια που περιλαμβάνει τη διαχείριση έργου, τον τεχνικό σχεδιασμό, την κανονιστική καθοδήγηση και τον σχεδιασμό επενδύσεων. Ακόμη, η CLR προσφέρει

εκπαιδευτικούς πόρους, όπως διαδικτυακά σεμινάρια και ευκαιρίες μάθησης μεταξύ ομοτίμων, για να ενισχύσει τις γνώσεις της κοινότητας σχετικά με τις ενεργειακές ανακαινίσεις. Το πρόγραμμα επιπλέον αξιοποιεί τις γνώσεις που συγκεντρώνει από τις διάφορες ενεργειακές κοινότητες, ώστε να διαδώσει επιτυχημένες στρατηγικές σε νεότερες κοινότητες. Εκτός αυτού, φροντίζει ώστε πολίτες, τοπικές επιχειρήσεις, εργολάβοι και κυβερνητικοί φορείς να είναι διασυνδεδεμένοι, ώστε να διευκολύνονται οι συνεργασίες που συνιστούν την ενεργειακή κοινότητα και να διασφαλίζεται η συνέχεια χρήσης βιώσιμων πρακτικών [37][38].

Η πρωτοβουλία CLR υποστηρίζεται με σημαντική χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η διάρκεια της πρώτης φάσης του έργου ήταν από τον Ιανουάριο του 2023 έως τον Δεκέμβριο του 2024. Κατά τον χρόνο συγγραφής αυτής της εργασίας, η CLR εισέρχεται στη δεύτερη φάση της, στην οποία επεκτείνει το εύρος δραστηριοτήτων υποστήριξης των μελών του προγράμματος, προσφέροντας ατομικές συνεδρίες, διαδικτυακά σεμινάρια, εργαστήρια, μάθηση από ομοτίμους και εκδηλώσεις [37] [39].

Αποθετήριο Ενεργειακών Κοινοτήτων

Το Αποθετήριο Ενεργειακών Κοινοτήτων ήταν μία πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που αποσκοπούσε στη διευκόλυνση της δημιουργίας και ανάπτυξης RECs και CECs σε αστικές περιοχές της ΕΕ. Ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2022 και έληξε τον Ιανουάριο του 2024. Το αποθετήριο αφενός παρείχε τεχνική και διοικητική καθοδήγηση σε πολίτες και φορείς-μέλη ενεργειακών κοινοτήτων, αφετέρου διεξήγαγε αναλύσεις και εκτιμήσεις επιπτώσεων, με σκοπό τη συγκέντρωση βέλτιστων πρακτικών, ώστε να ενισχύσει τοπικές αρχές, επιχειρήσεις και πολίτες στο εγχείρημα λειτουργίας μιας ενεργειακής κοινότητας.

Το αποθετήριο προσδιόρισε λεπτομερώς τα πλαίσια που ενισχύουν και υποστηρίζουν τις ενεργειακές κοινότητες, όπως ορίζονται στην οδηγία για τις ΑΠΕ [30] και την Οδηγία για την Εσωτερική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας [35]. Μάλιστα, έκανε ένα βήμα παραπάνω, αναπτύσσοντας μια ολοκληρωμένη χαρτογράφηση των νομικών πλαισίων που διέπουν τις ενεργειακές κοινότητες για κάθε χώρα της ΕΕ [40]. Μία ακόμα δραστηριότητα του αποθετηρίου ήταν η διεξαγωγή μελετών περίπτωσης υφιστάμενων ενεργειακών κοινοτήτων, στις οποίες περιγράφονταν λεπτομερώς τα κίνητρα, οι δομές διακυβέρνησης, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν και οι κοινωνικές επιπτώσεις. Παρόλο που οι μελέτες δεν έχουν ενημερωθεί πρόσφατα, οι γνώσεις που διαθέτουν είναι ακόμα εφαρμοστέες στο σύγχρονο ενεργειακό τοπίο, καθώς τα κοινωνικά και οικονομικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι κοινότητες παραμένουν στη βάση τους αμετάβλητα. Τα έργα που επωφελήθηκαν από την πρωτοβουλία αυτή ήταν κυρίως αστικές ενεργειακές κοινότητες σε χώρες της ανατολικής Ευρώπης, όπως η Latvijas Energokopiena (Λετονία) [41], η Energetska zadruga Drenova (Κροατία) [42] και η izgrei bg (Βουλγαρία) [43] [8].

Συμβουλευτικός Κόμβος της Αγροτικής Ενεργειακής Κοινότητας

Ο Συμβουλευτικός Κόμβος της Αγροτικής Ενεργειακής Κοινότητας αποτέλεσε μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία επικεντρώθηκε στην παροχή βοήθειας σε

πολίτες, αγροτικούς φορείς και τοπικές αρχές, με σκοπό τη δημιουργία RECs ή CECs σε αγροτικές περιοχές της ΕΕ. Ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2022 και έληξε τον Μάρτιο του 2024. Λειτουργούσε σε στενή συνεργασία με τις τοπικές αρχές, εστιάζοντας στον προσδιορισμό βέλτιστων πρακτικών για την στήριξη των έργων των αγροτικών ενεργειακών κοινοτήτων, την παροχή τεχνικής βοήθειας σε επιλεγμένες αγροτικές ενεργειακές κοινότητες και την παροχή ευκαιριών δικτύωσης σε τοπικούς ενδιαφερόμενους φορείς.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω αυτής της πρωτοβουλίας αποτελούν μια πολύ σημαντική δεξαμενή πληροφοριών, χρήσιμη για τα ευρωπαϊκά και εθνικά θεσμικά όργανα και τις περιφερειακές και τοπικές αρχές, καθώς με χρήση αυτών δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού των βέλτιστων πρακτικών και η τεχνογνωσία, προκειμένου να υποστηριχθούν οι αγροτικές ενεργειακές κοινότητες που βρίσκονται υπό την δικαιοδοσία κάθε περιφερειακής ή τοπικής αρχής. Οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες και σε αγρότες, πολίτες, επιχειρήσεις και τοπικούς φορείς που θέλουν να συνεισφέρουν στην εγκαθίδρυση και τη λειτουργία ενεργειακών κοινοτήτων.

Ο Συμβουλευτικός Κόμβος της Αγροτικής Ενεργειακής Κοινότητας έρχεται να συμπληρώσει το Αποθετήριο Ενεργειακών Κοινοτήτων [40] και το Σύμφωνο των Δημάρχων [44] στην προσπάθεια επιτάχυνσης και ενίσχυσης της ανάπτυξης των ενεργειακών κοινοτήτων σε κάθε γωνιά της ΕΕ [8].

Πλαίσιο 4.: Σύμφωνο των Δημάρχων

Το Σύμφωνο των Δημάρχων είναι μια πρωτοβουλία που ξεκίνησε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με σκοπό να έρθουν σε επαφή τοπικές κυβερνήσεις που δεσμεύονται να εφαρμόσουν σχέδια δράσης για τη βιώσιμη ενέργεια και το κλίμα. Στόχος του είναι να στηρίξει τις δημοτικές κοινότητες στην επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών στόχων της ΕΕ, προωθώντας εθελοντικές δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή. Οι βασικές πτυχές του Συμφώνου των Δημάρχων περιλαμβάνουν την εθελοντική συμμετοχή των δημοτικών αρχών, τη δέσμευσή τους σε αυστηρά ορισμένα σχέδια δράσης, την παροχή τεχνικής υποστήριξης στις δημοτικές αρχές και την αναγνώριση αυτών των οποίων διαπρέπουν στο πεδίο της βιώσιμης ανάπτυξης. Το Σύμφωνο προωθεί ένα περιβάλλον συνεργασίας και διαμοιρασμού γνώσεων μεταξύ των πόλεων για την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών δράσης για την κλιματική αλλαγή. Συνολικά, το Σύμφωνο των Δημάρχων χρησιμεύει ως πλατφόρμα για τις τοπικές κυβερνήσεις σε όλη την Ευρώπη, ώστε να λάβουν προληπτικά μέτρα προς την κατεύθυνση της βιωσιμότητας και της κλιματικής ουδετερότητας [44].

2.6 Πλαίσιο Λειτουργίας ανά Κράτος-Μέλος της ΕΕ

Τα παραπάνω αποτελούν τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και της Επιτροπής, σχετικά με τη λειτουργία και τη δομή των ενεργειακών κοινοτήτων. Παρόλα αυτά, κάθε

κράτος-μέλος της ΕΕ, κινούμενο εντός των Ευρωπαϊκών οδηγιών, προσαρμόζει τη λειτουργία των ενεργειακών κοινοτήτων στις δικές του ανάγκες και τη θέση του στην ευρωπαϊκή ενεργειακή αγορά. Ακολουθεί μια επισκόπηση ομαδοποιημένη με βάση τις ομοιότητες των κανονισμών ανά κράτος-μέλος, σύμφωνα με τα δεδομένα του Αποθετηρίου Ενεργειακών Κοινοτήτων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [45],

Η Αυστρία, η Γερμανία και η Γαλλία έχουν θεσπίσει ολοκληρωμένα πλαίσια που ορίζουν σαφώς τόσο τις RECs όσο και τις CECs. Η πλήρης διατύπωση δικαιωμάτων και υποχρεώσεων των ενεργειακών κοινοτήτων στην Αυστρία ήρθε τον Ιούλιο του 2021. Η Γερμανία μεταρρύθμισε τον ορισμό της ενεργειακής εταιρείας πολιτών στο πλαίσιο του Νόμου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας του 2023, εξασφαλίζοντας την πρόσβαση σε καθεστώςα στήριξης και αποτρέποντας ταυτόχρονα την εταιρική δέσμευση. Ο Ενεργειακός Κώδικας της Γαλλίας περιλαμβάνει λεπτομερείς διατάξεις τόσο για τις RECs όσο και για τις CECs, ενώ τις ενισχύει περαιτέρω, με τροποποιήσεις για την ενίσχυση των τοπικών πρωτοβουλιών, που έγιναν τον Μάρτιο του 2023.

Η Δανία και η Φινλανδία έχουν μακρόχρονη παράδοση συμμετοχής της κοινότητας στην παραγωγή ενέργειας. Το μοντέλο της Δανίας περιλαμβάνει επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που ανήκουν σε καταναλωτές και συνεταιρισμούς, οι οποίοι έχουν ιστορικά προωθήσει την επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Φινλανδία έχει ενσωματώσει τις τοπικές ενεργειακές κοινότητες στο νομικό της πλαίσιο, μέσω διαταγμάτων που διευκολύνουν την καθαρή μέτρηση μεταξύ των μελών της κοινότητας, με επικεφαλής κυρίως τις ενώσεις κατοικιών. Ο πλήρης προσδιορισμός του πλαισίου λειτουργίας των ενεργειακών κοινοτήτων τόσο στη Δανία όσο και στη Φινλανδία συντελέστηκε το 2021.

Κροατία, Σλοβενία, Κύπρος, Εσθονία, Ιταλία και Πορτογαλία έχουν επίσης καθορίσει πλήρως τη λειτουργία των RECs και CECs, με κάθε μία από αυτές να έχει προσδιορίσει διαφορετικά επίπεδα μηχανισμών στήριξης για εκάστη κοινότητα. Ο πλήρης προσδιορισμός του πλαισίου λειτουργίας των κοινοτήτων στις παραπάνω χώρες συντελέστηκε στις χρονιές 2021-2022.

Το Λουξεμβούργο, η Μάλτα, η Λετονία και η Ρουμανία βρίσκονται σε διάφορα στάδια εφαρμογής πλαισίων για τις ενεργειακές κοινότητες, αλλά εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην πρακτική εφαρμογή. Το Λουξεμβούργο διαθέτει ένα πλαίσιο για τις RECs, αλλά περιορισμένη ανάπτυξη των κοινοτήτων μέχρι στιγμής. Η Μάλτα έχει μεταφέρει τις οδηγίες της ΕΕ στο εθνικό δίκαιο, αλλά διατηρεί συγκεκριμένες παρεκκλίσεις. Η Λετονία υιοθέτησε τον Ιανουάριο του 2021 νομοθεσία που αναγνωρίζει τόσο τις REC όσο και τις CEC, αλλά εξακολουθεί να αναπτύσσει το κανονιστικό της πλαίσιο. Η Ρουμανία εισήγαγε διατάξεις και για τους δύο τύπους κοινοτήτων μέσω έκτακτων διαταγμάτων, αλλά απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία από τη ρυθμιστική της αρχή. Τέλος, η Ουγγαρία επεξεργάζεται την αποσαφήνιση του πλαισίου της για τις ενεργειακές κοινότητες, ενώ η Ιρλανδία δεν έχει ακόμη μεταφέρει στο εθνικό της δίκαιο συγκεκριμένους νόμους, αλλά υποστηρίζει τα κοινοτικά έργα μέσω του καθεστώτος στήριξης της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Τέλος, η Πολωνία βρίσκεται ακόμη στη διαδικασία ορισμού των RECs και CECs στο πλαίσιο της νομοθεσίας της, αλλά αναγνωρίζει τους υφιστάμενους ενεργειακούς συνεταιρισμούς ως μορφή

κοινοτικής δέσμευσης στην παραγωγή από ΑΠΕ.

Παρόλο που το αποθετήριο διαθέτει πληροφορίες έως και το 2023, δεν έχουν υπάρξει σημαντικές εξελίξεις στο νομοθετικό πλαίσιο των ενεργειακών κοινοτήτων στα κράτη-μέλη της ΕΕ έως τον χρόνο συγγραφής της εργασίας αυτής. Στην Ελλάδα, η έννοια των ενεργειακών κοινοτήτων μπήκε στο προσκήνιο με τον νόμο 4513/2018 για τις ενεργειακές κοινότητες. Πλήρης ανάλυση του ελληνικού νομοθετικού πλαισίου ακολουθεί στη συνέχεια.

2.7 Οι Ενεργειακές Κοινότητες στην Ελλάδα

2.7.1 Νόμος Υπ' Αριθμό 4513/2018

Με τον νόμο υπ' αριθμό 4430 του 2016 [46], ξεκίνησε μια προσπάθεια δημιουργίας νομοθετικού πλαισίου για την εναλλακτική οργάνωση των οικονομικών δραστηριοτήτων της χώρας, με έμφαση στη δημοκρατία, την αλληλεγγύη και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Στην παρ. 1 του άρθρου 2 στου 4430, ορίζεται η «Κοινωνική και Αλληλέγγυα Οικονομία» ως 'το σύνολο των οικονομικών δραστηριοτήτων που στηρίζονται σε μια εναλλακτική μορφή οργάνωσης των σχέσεων παραγωγής, διανομής, κατανάλωσης και επανεπένδυσης, βασισμένη στις αρχές της δημοκρατίας, της ισότητας, της αλληλεγγύης, της συνεργασίας και του σεβασμού στον άνθρωπο και το περιβάλλον'.

Στηριζόμενος σε αυτόν τον ορισμό, έρχεται ο νόμος υπ' αριθμό 4513 του 2018 [47] και ορίζει τις Ενεργειακές Κοινότητες ως έναν «αστικό συνεταιρισμό αποκλειστικού σκοπού, με στόχο την προώθηση της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας και της καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, την αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας και την προαγωγή της ενεργειακής αειφορίας, 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».

Σύμφωνα με τον νόμο 4513/2018, στόχοι των ενεργειακών κοινοτήτων είναι η παραγωγή, η αποθήκευση, η αυτοκατανάλωση, η διανομή και η προμήθεια ενέργειας, και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, μέσω δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις ΑΠΕ και τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας [ΣΗΘ] και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης [ΣΗΘΥΑ], βλ. πλαίσιο 3). Ακόμη, στόχο αποτελεί η ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και ασφάλειας στους νησιωτικούς δήμους.

Μέλη της ενεργειακής κοινότητας μπορούν να είναι: άτομα με πλήρη δικαιοπρακτική ικανότητα, νομικά πρόσωπα δημοσίου δικαίου (εξαιρουμένων των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης) και οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης πρώτου βαθμού (δηλ. δήμοι) στην ίδια περιφέρεια με την έδρα της ενεργειακής κοινότητας. Ο ελάχιστος αριθμός μελών προκειμένου να οριστεί κοινότητα κυμαίνεται μεταξύ 3-30 μελών, ανάλογα με την ιδιότητα του μέλους και την περιοχή που δραστηριοποιείται η κοινότητα, π.χ. τρία μέλη είναι ικανά να ορίσουν ενεργειακή κοινότητα, εάν τα δύο είναι δύο φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης πρώτου βαθμού από

νησιωτικές περιοχές με πληθυσμό κάτω των 3.100 κατοίκων. Σε κάθε περίπτωση, τουλάχιστον το 50% συν ένα από τα συνολικά μέλη πρέπει να συνδέονται με την περιοχή όπου εδρεύει η κοινότητα.

Οι ενεργειακές κοινότητες, σύμφωνα με τον νόμο 4513/2018 πρέπει να συμμετέχουν σε τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ που βρίσκονται στην περιοχή τους.
- Διαχείριση βιομάζας ή βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας.
- Παροχή ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών για τη μείωση της κατανάλωσης και τη βελτίωση της αποδοτικότητας.
- Προσέλκυση χρηματοδότησης για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Διεξαγωγή εκστρατειών ευαισθητοποίησης για την ενεργειακή βιωσιμότητα
- Εκπαίδευση και παροχή τεχνικής υποστήριξης στα μέλη της

Ακόμη, ορίζονται ειδικές διατάξεις για τη στήριξη των ενεργειακών κοινοτήτων, ώστε να διευκολυνθεί η λειτουργία τους εντός της ανταγωνιστικής ενεργειακής βιομηχανίας της χώρας και της Ευρώπης. Οι διατάξεις αυτές αφορούν στην παροχή προτεραιότητας σε αιτήσεις αδειών, προνομιακή συμμετοχή σε ανταγωνιστικές διαδικασίες και χρήση δημόσιων παροχών, καθώς και σε εξαιρέσεις από τέλη και εγγυήσεις για την εγγραφή στα κατάλληλα μητρώα και τη λήψη των απαραίτητων αδειών για την λειτουργία τους ως πάροχος και παραγωγός ενέργειας.

Πλαίσιο 5.: ΣΗΘ και ΣΗΘΥΑ

Με τον όρο ΣΗΘΥΑ (Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης) αναφέρονται συστήματα που παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από την καύση καυσίμου, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλή ενεργειακή απόδοση. Αυτά τα συστήματα είναι σχεδιασμένα, ώστε να εκμεταλλεύονται πλήρως την ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο, μειώνοντας τις απώλειες και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα. Με τον όρο ΣΗΘ (Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας) αναφέρονται τεχνολογίες που παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Διαφέρουν από τις ΣΗΘΥΑ ως προς την αποδοτικότητα (καθώς οι ΣΗΘΥΑ είναι πιο αποδοτικές) και ως προς την δραστηριότητα (καθώς οι ΣΗΘΥΑ μπορούν να περιλαμβάνουν συστήματα τριπαράγωγής). Συγκεκριμένα στις ΣΗΘΥΑ, η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ψύξη, καλύπτοντας έτσι περισσότερες ενεργειακές ανάγκες (ηλεκτρισμός, θέρμανση, ψύξη) με ένα μόνο σύστημα, ενώ οι ΣΗΘ αρκούνται στην παραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Οι ΣΗΘΥΑ και οι ΣΗΘ συμβάλλουν στην ενεργειακή ασφάλεια και βιωσιμότητα, αποτελώντας σημαντικό κομμάτι της στρατηγικής της Ελλάδας για τη μετάβαση σε καθαρές μορφές ενέργειας. [48]

Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/ 15084/382/19.02.2019

Με την απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/ 15084/382/19.02.2019, επιτρέπεται η χρήση εικονικού ενεργειακού συμφηφισμού (Virtual Net Metering (VNM)) (βλ. υποκεφάλαιο 2.4) από Ενεργειακές Κοινότητες και αυτοπαραγωγούς, διευρύνοντας την περιορισμένη χρήση του αποκλειστικά από δημόσιους φορείς (όπως σχολεία και νοσοκομεία) και αγροτικούς συνεταιρισμούς, που ίσχυε προηγουμένως. Η χρήση VNM επιτρέπει την πίστωση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια εγκατάσταση ΑΠΕ έναντι της συνολικής κατανάλωσης πολλαπλών χρηστών, ακόμη και όταν αυτοί δεν είναι φυσικά συνδεδεμένοι στην ίδια τοποθεσία με την εγκατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια που παράγεται σε μια τοποθεσία μπορεί να αντισταθμίσει την κατανάλωση σε μια άλλη, διευκολύνοντας την ευρύτερη πρόσβαση στα οφέλη της ανανεώσιμης ενέργειας. Οι μονάδες που κερδίζονται από το VNM μπορούν να εφαρμοστούν για τη μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος των συμμετεχόντων, μειώνοντας αποτελεσματικά το συνολικό ενεργειακό τους κόστος. Ακόμη, το VNM μπορεί να συμβάλλει στη σταθερότητα του δικτύου με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών διαχείρισης του δικτύου που συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης. Με αυτόν τον τρόπο, οι ενεργειακές κοινότητες διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα την παραγωγή και την κατανάλωσή τους, καθώς διαθέτουν πλέον ελαστικότητα στην ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας που οφείλουν να καταναλώσουν. Η χρήση VNM στηρίζει τα νοικοκυριά και τις ευάλωτες ομάδες, διευκολύνοντας την κοινή χρήση της ενέργειας μεταξύ των μελών της κοινότητας. [49].

2.7.2 Νόμος Υπ' Αριθμό 5037/2023

Η εφαρμογή του νόμου 4513/2018 σηματοδότησε ένα σημαντικό βήμα για τη δημιουργία ενεργειακών κοινοτήτων στην Ελλάδα, επιτυγχάνοντας εν μέρει την ενδυνάμωση των τοπικών εμπλεκόμενων φορέων και την προώθηση πρωτοβουλιών στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, καθώς το ενεργειακό τοπίο εξελίχθηκε παράλληλα με τις οδηγίες της ΕΕ, ενώ ταυτόχρονα ενισχύθηκε η επιθυμία συμμετοχής της κοινότητας και η ανάγκη διασφάλισης της βιωσιμότητας, κατέστη προφανές ότι ήταν απαραίτητες περαιτέρω νομοθετικές τροποποιήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, το πλαίσιο που ορίστηκε από τον νόμο 4513/2018, ενώ στόχευε στην ενίσχυση της χρήσης ΑΠΕ και αποδοτικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας, αντιμετώπιζε σημαντικά προβλήματα. Κάποια από αυτά ήταν η πολυπλοκότητα και η ασάφεια των ορισμών και των λειτουργικών πλαισίων (γεγονός που οδήγησε σε σύγχυση μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών), οι αυστηρές απαιτήσεις για τη συμμετοχή και τη δημιουργία κοινοτήτων (ιδίως μεταξύ των μικρότερων οντοτήτων και των ιδιωτών που ενδιαφέρονταν να συμμετάσχουν σε έργα ΑΠΕ) και η παρεμπόδιση της εξέλιξης των κοινοτήτων, καθώς ο νόμος δεν κάλυπτε επαρκώς τις εξελισσόμενες ανάγκες της αγοράς ενέργειας, ιδίως σε σχέση με τη συμμετοχή των πολιτών και την τοπική διακυβέρνηση των έργων ΑΠΕ. [47] [50]

Ως απάντηση στα προαναφερόμενα προβλήματα, η ελληνική πολιτεία εισήγαγε τον νόμο 5037/2023[51], ο οποίος τροποποίησε την υφιστάμενη νομοθεσία, προκειμένου να

ευθυγραμμιστεί καλύτερα με τις οδηγίες της ΕΕ και τη βελτίωση του λειτουργικού πλαισίου για τις ενεργειακές κοινότητες.

Βασικές αλλαγές που εισήγαγε ο νόμος 5037/2023

- **Σαφείς Ορισμοί Τύπων Ενεργειακών Κοινοτήτων:** Ο νέος νόμος ορίζει τις RECs και CECs, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΕ.
- **Ίδρυση Εθνικού Μητρώου:** Δημιουργείται κεντρικό μητρώο για τις RECs και CECs, με το όνομα Μητρώο Κοινοτήτων Ανανεώσιμης Ενέργειας και Ενεργειακών Κοινοτήτων Πολιτών, στο πλαίσιο του Γενικού Εμπορικού Μητρώου, απλοποιώντας τη διαδικασία δημιουργίας μιας ενεργειακής κοινότητας. Το μητρώο διατηρείται σε ηλεκτρονική μορφή και είναι προσβάσιμο από όλους, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους να αποκτήσουν πληροφορίες για τις ενεργειακές κοινότητες. Ακόμη, τα πρακτικά των συνεδριάσεων της γενικής συνέλευσης, συμπεριλαμβανομένων των εκλογών για το διοικητικό συμβούλιο και των οικονομικών εκθέσεων (ισολογισμοί, λογαριασμοί κερδών/ζημιών), πρέπει να υποβάλλονται στο μητρώο εντός συγκεκριμένων χρονικών πλαισίων, προκειμένου να διασφαλιστεί η διαφάνεια. Το μητρώο ενισχύει τη διαφάνεια όσον αφορά στις δραστηριότητες, τις δομές διακυβέρνησης και την οικονομική κατάσταση των ενεργειακών κοινοτήτων, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει την εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών και των δυνητικών επενδυτών. Ακόμη, με την παροχή λεπτομερών πληροφοριών για κάθε κοινότητα, τα ενδιαφερόμενα μέρη (συμπεριλαμβανομένων των δυνητικών μελών, των επενδυτών και των ρυθμιστικών φορέων) μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη συμμετοχή και την υποστήριξη τους. Τέλος, η δομημένη διαδικασία τεκμηρίωσης συμβάλλει στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις νομικές απαιτήσεις, μειώνοντας τους κινδύνους που συνδέονται με κακοδιαχείριση.
- **Ευελιξία Μελών:** Αναθεωρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις για τα μέλη, ενώ διευρύνονται τα νομικά πρόσωπα που μπορούν να αποτελέσουν μέλη μιας ενεργειακής κοινότητας. Συγκεκριμένα, έχουν πλέον δικαίωμα συμμετοχής οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (με ειδικές προϋποθέσεις), οι αστικοί και γεωργικοί συνεταιρισμοί και οι μη κερδοσκοπικές νομικές οντότητες. Σύμφωνα με τον γενικό κανόνα, για τη δημιουργία της κοινότητας απαιτούνται 30 μέλη. Ωστόσο, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (όπως οι νησιωτικές κοινότητες και η συμμετοχή μικρομεσαίων επιχειρήσεων) ο αριθμός των απαιτούμενων μελών μειώνεται σε 20 και 15, αντίστοιχα. Επιπλέον, είναι πλέον δυνατή η δημιουργία ενεργειακής κοινότητας από 3 μόνο μέλη, εάν ένα από τα μέλη αυτά είναι δημοτική αρχή.
- **Δημοκρατική Διακυβέρνηση:** Ενισχύεται ο δημοκρατικός έλεγχος από τα τοπικά μέλη, με κάθε μέλος να έχει ακριβώς μία ψήφο στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων της κοινότητας, ανεξαρτήτως του αριθμού των μετοχών που διαθέτει στην κοινότητα. Επιπλέον, κάθε μέλος, με εξαίρεση τις τοπικές αρχές, μπορεί να κατέχει το πολύ 20% του

συνεταιριστικού κεφαλαίου, εξασφαλίζοντας τον συλλογικό χαρακτήρα της κοινότητας. Οι τοπικές αρχές και οι επιχειρήσεις που ανήκουν εξ' ολοκλήρου σε αυτές, μπορούν να κατέχουν μέχρι και το 40% του συνεταιριστικού κεφαλαίου. Ακόμη, ορίζεται ότι οι RECs πρέπει να είναι υπό τον έλεγχο των μελών που κατοικούν σε κοντινή απόσταση από τα έργα ΑΠΕ, και τα μέλη μιας REC δεν μπορούν να ανήκουν σε άλλη REC που λειτουργεί στην ίδια γεωγραφική περιοχή (εξαιρούνται οι αγροτικοί συνεταιρισμοί και οι δημόσιες αρχές). Η απαίτηση εγγύτητας διασφαλίζει ότι όσοι επηρεάζονται άμεσα από τα ενεργειακά έργα έχουν λόγο για τη λειτουργία και τα οφέλη τους και βρίσκονται σε άμεση συμφωνία με τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τις ενεργειακές κοινότητες.

- **Εστίαση στα Τοπικά Οφέλη:** Η αναθεωρημένη νομοθεσία υπογραμμίζει ότι οι RECs πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη για τις τοπικές περιοχές τους και όχι να εστιάζουν αποκλειστικά στα οικονομικά κέρδη. Η έμφαση στα τοπικά οφέλη συνάδει με τις οδηγίες της ΕΕ που προωθούν τη συμμετοχή των πολιτών στις αγορές ενέργειας και τις πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης, ευθυγραμμίζοντας την εθνική νομοθεσία με τους στόχους της ΕΕ, και καθορίζοντας την πορεία της χώρας προς ένα πιο πράσινο ενεργειακό μέλλον.
- **Νέες Συνθήκες Εικονικού Ενεργειακού Συμφηφισμού και Ενεργειακού Συμφηφισμού:** Η νομοθεσία του Απριλίου του 2023 έθεσε νέα επιτρεπόμενα όρια για τη χρήση VNM. Πιο συγκεκριμένα, πλέον επιτρέπεται η χρήση VNM από Ενεργειακές Κοινότητες μόνο προς μέλη που εκπροσωπούν νοικοκυριά, αγρότες και πολίτες που βρίσκονται κάτω από το όριο της φτώχειας. Ακόμα το μέγιστο όριο συνολικής ισχύος σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, για το οποίο επιτρέπεται να χορηγηθούν Οριστικές Προσφορές Σύνδεσης από τους αρμόδιους Διαχειριστές για εφαρμογή ενεργειακού και εικονικού ενεργειακού συμφηφισμού, ορίζεται σε 2 GW. Ο εικονικός ενεργειακός συμφηφισμός δεν εφαρμόζεται για οικιακούς καταναλωτές, εκτός εάν γίνουν μέλη ενεργειακών κοινοτήτων. Για την εφαρμογή του εικονικού ενεργειακού συμφηφισμού, ορίστηκε ότι η μέγιστη ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού δεν μπορεί να ξεπερνά τα 100 kW ανά παροχή κατανάλωσης.
- **Εισαγωγή Έννοιας Ταυτοχρονισμένου Συμφηφισμού (Net Billing) και Εικονικού Ταυτοχρονισμένου Συμφηφισμού (Virtual Net Billing)** (βλ. υποκεφάλαιο 2.4)

Μέχρι και τον Νοέμβριο του 2022, υπήρχαν περίπου 1.406 ενεργειακές κοινότητες που ιδρύθηκαν βάσει του νόμου 4513/2018, παρόλο που μόνο ένα μικρό υποσύνολο αυτών έχει προχωρήσει σε έργα που βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία. Από την 1η Απριλίου 2023, δεν μπορούν να δημιουργηθούν νέες ενεργειακές κοινότητες, βάσει του νόμου 4513/2018. Οι υφιστάμενες κοινότητες πρέπει να συμμορφωθούν με το νέο νομικό πλαίσιο που θεσπίζει ο νόμος 5037/2023. Σε όλες αυτές τις κοινότητες παρέχονται μεταβατικά δικαιώματα, για να προσαρμοστούν στο νέο πλαίσιο χωρίς να χάσουν το καθιερωμένο καθεστώς τους, κατά τη διάρκεια της περιόδου προσαρμογής. [50][51]

2.7.3 Μετάβαση από το Net Metering στο Net Billing

Τον Μάιο του 2024 και επακολούθως τον Σεπτέμβριο του 2024, εκδόθηκε ο νόμος 5106/2024 και η απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/93976/2772, η οποία ήρθε να αντικαταστήσει την απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382/19.02.2019 (βλ. 2.7.1). Οι διατάξεις αυτές περιορίζουν σημαντικά τη χρήση του μηχανισμού Net Metering από αυτοκαταναλωτές, προκρίνοντας ως κύριο μηχανισμό αυτόν του Net Billing. Συγκεκριμένα, μετά την απόφαση του Σεπτέμβριο, η χρήση Net Metering για αυτοκαταναλωτές αφορά μόνο επαγγελματίες αγρότες, οι οποίοι εγκαθιστούν συστήματα έως 30 kWp. Ακόμα, οι διατάξεις ορίζουν τη λειτουργία έργων ενεργειακών κοινοτήτων με χρήση Virtual Net Metering και Virtual Net Billing.

Σύμφωνα με την υφυπουργό περιβάλλοντος Αλεξάνδρα Σδούκου, η μετάβαση στον μηχανισμό Net Billing, ακολουθεί τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις, οι οποίες στρέφονται προς την κατανάλωση την ίδια χρονική στιγμή της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τη διοχέτευση και αποζημίωση της πλεονάζουσας ενέργειας τις ώρες που αυτή δεν καταναλώνεται. Ακόμη, η υφυπουργός δηλώνει πως στις νέες δράσεις μετάβασης προς τον Net Billing μηχανισμό, θα παίξει σημαντικό ρόλο αφενός η διείσδυση των μπαταριών (ώστε να μπορούν οι καταναλωτές να διαχειρίζονται την παραγόμενη ενέργεια), αφετέρου οι έξυπνοι μετρητές (ώστε να μπορούν οι καταναλωτές να διαχειρίζονται με το βέλτιστο τρόπο τις καταναλώσεις τους).

Η υπέρσχυση του Net Billing αναταράσσει σημαντικά τη λειτουργία των ενεργειακών κοινοτήτων, καθώς δημιουργεί ένα νέο καθεστώς με περίπλοκες και άγνωστες για τα μέλη μεταβλητές. Οι νέες αυτές συνθήκες μπορεί να αποτελέσουν αποτρεπτικό παράγοντα για τη συμμετοχή ενός πολίτη σε ενεργειακή κοινότητα. Οι καταναλωτές που εγκαθιστούν καταναεμημένα συστήματα ΑΠΕ υπό καθεστώς Net Billing χρειάζονται κατάλληλες πληροφορίες και υποστηρικτικές τεχνολογίες, οι οποίες προς το παρόν απουσιάζουν από το ελληνικό περιβάλλον. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για τις κοινοτικές πρωτοβουλίες ενεργειακών κοινοτήτων αλλά και για τους αυτοκαταναλωτές. Επιπλέον, η νέα μεταβλητή των μπαταριών, αποτελεί παράγοντα που είναι άγνωστος για τους Έλληνες αυτοκαταναλωτές και τα μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, συνεπώς προκαλεί σύγχυση και αποτρέπει την εμπλοκή τους με την αυτοκατανάλωση. Εκτός αυτού, είναι ένας αποτρεπτικός οικονομικός παράγοντας, καθώς το κόστος τους αποτελεί μία σημαντική προσθήκη στην ήδη μεγάλη επένδυση των αυτοκαταναλωτών και των μελών ενεργειακών κοινοτήτων σε συστήματα ΑΠΕ. Τα μέλη των ελληνικών ενεργειακών κοινοτήτων βρίσκονται σε μια ευάλωτη θέση, όπου γίνονται έρμαια των ταχύτατα εξελισσόμενων συνθηκών του ενεργειακού τοπίου της χώρας. Η μετάβαση στη χρήση του Net Billing αφήνει τις επιχειρήσεις-μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων καθώς και τους αυτόνομους καταναλωτές απροετοίμαστους για την απότομη άφιξη ενός νέου ενεργειακού καθεστώτος, ενώ επιπλέον τα νοικοκυριά-μέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, δεν μπορούν παρά να προβλέπουν την επικείμενη επικράτηση του Net Billing και στο δικό τους μερίδιο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Στο πλαίσιο της μεθοδολογικής προσέγγισης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και

με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας των ελληνικών ενεργειακών κοινοτήτων, διενεργήθηκε ημι-δομημένη συνέντευξη με εκπρόσωπο της Κοινωνικής Συνεταιριστικής Επιχείρησης Electra Energy, κομβικό φορέα στη νομική και λειτουργική υποστήριξη των ενεργειακών κοινοτήτων στην Ελλάδα. Η συνέντευξη επικεντρώθηκε σε δύο βασικούς άξονες διερεύνησης:

1. Στην αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασης και των προοπτικών ανάπτυξης των ενεργειακών κοινοτήτων, εξετάζοντας τη λειτουργία των υφιστάμενων κοινοτήτων, τις προκλήσεις μετάβασης στο Net Billing και το επίπεδο ανταπόκρισης των πολιτών σε πρωτοβουλίες ατομικής και συλλογικής αυτοπαραγωγής
2. Στη διεξοδική διερεύνηση του ζητήματος της Απόκρισης-Ζήτησης, με έμφαση στην εφαρμογή της στην ελληνική πραγματικότητα, στα εμπόδια υλοποίησης και στις δυνατότητες αξιοποίησής της από τις ενεργειακές κοινότητες

Σύμφωνα με την εκπρόσωπο της Electra Energy, η μετάβαση από το Net Metering στο Net Billing βρίσκει προς το παρόν αμέτοχες τις κοινότητες με υπάρχοντα ενεργειακά πάρκα. Τα πάρκα αυτά λειτουργούν με Virtual Net Metering και τα προστατεύουν πολυετείς συμβάσεις. Οι κοινότητες αναγνωρίζουν τον αντίκτυπο ενός τέτοιου καθεστώτος στο δίκτυο και στο περιβάλλον και για αυτό, παρότι δεν θα έχουν άμεσο οικονομικό όφελος, έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον να συμμετέχουν σε προγράμματα απόκρισης ζήτησης. Ωστόσο, η εκπρόσωπος της Electra Energy επισημαίνει ότι λείπουν απαραίτητες πληροφορίες για τους κανόνες λειτουργίας του Net Billing στην Ελλάδα, με τις κύριες μεταξύ αυτών να είναι: πώς θα λειτουργεί στην αγορά μια ενεργειακή κοινότητα; Ποιον θα επιβαρύνει φορολογικά η πώληση ενέργειας; Με ποιον φορέα θα πραγματοποιείται η σύμβαση, τον Φορέα Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦοΣΕ) ή την ίδια την κοινότητα; Κλείνοντας, η εκπρόσωπος της Electra Energy τονίζει πως εκτός των παραπάνω προκλήσεων, η συμμετοχή στο Net Billing φέρει μια αυξημένη πολυπλοκότητα στα μέλη των κοινοτήτων για τον προϋπολογισμό των επενδύσεών τους. Δεν είναι πλέον ξεκάθαρο πόσα χρήματα θα επιστρέψει σε ένα μέλος της κοινότητας, μέσω της πώλησης περίσσειας ενέργειας, το ποσοστό του φωτοβολταϊκού που έχει αγοράσει. Οι φορείς υποστήριξης ενεργειακών κοινοτήτων έχουν εκθέσει τα παραπάνω ερωτήματα στις αρμόδιες αρχές, με σκοπό να διαλευκάνουν το τοπίο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοια μετάβαση από τον μηχανισμό Net Metering στον μηχανισμό Net Billing πραγματοποιήθηκε και στην Πολωνία το 2022. Όπως αναλύεται από τους Benalcazar και συν. (2024)[52], ο μηχανισμός Net Billing καθίσταται οικονομικά περισσότερο βιώσιμος για τους αυτοκαταναλωτές, καθώς οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνονται. Ενώ ο μηχανισμός Net Metering είναι αρχικά περισσότερο οικονομικά αποδοτικός, παρέχοντας υψηλότερες αποδόσεις και ταχύτερους χρόνους απόσβεσης, το σύστημα Net Billing γίνεται εξίσου ή και περισσότερο οικονομικό όσο αυξάνονται οι τιμές. Ακόμη, τα σενάρια Net Billing αποδίδουν υψηλότερες αναμενόμενες τιμές για τον δείκτη αυτοκατανάλωσης και τον δείκτη αυτάρκεια, ανεξάρτητα από τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Το Net Billing μειώνει τις εισαγωγές και εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής, αντιμετωπίζοντας ενδεχομένως τις ανησυχίες σχετικά με τη σταθερότητα του

δικτύου που οδήγησαν στην αλλαγή πολιτικής. Η μετάβαση αποσκοπεί στη στενότερη σύνδεση των συντελεστών αποζημίωσης με την πραγματική αξία της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά ενέργειας, αντιμετωπίζοντας ζητήματα υπερβολικής αντιστάθμισης ή ελλιπούς αντιστάθμισης για τους αυτοκαταναλωτές. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το νέο σύστημα καθαρής χρέωσης, το οποίο ισχύει από τον Ιούλιο του 2022, ισχύει για τα φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται από τον Απρίλιο του 2022 και μετά, ενώ τα υφιστάμενα συστήματα διατηρούν τον υφιστάμενο μηχανισμό Net Metering για 15 ακόμη χρόνια.

2.7.4 Παραδείγματα Ενεργειακών Κοινοτήτων στην Ελλάδα

ΚΟΙΝΕΡΓΕΙΑ: Ενεργειακή Κοινότητα Ηπειρωτών

Η ΚΟΙΝΕΡΓΕΙΑ είναι μια ενεργειακή κοινότητα με έδρα τα Ιωάννινα, η οποία ιδρύθηκε το 2021 από δημότες της περιφέρειας Ηπείρου. Στόχοι της είναι (α) η προώθηση της ενεργειακής δημοκρατίας και της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας στον ενεργειακό τομέα, (β) η αποκλιμάκωση της συνεχούς αυξανόμενης παραγωγής ενέργειας και χρήσης πρώτων υλών με ταυτόχρονη αναβάθμιση της κοινωνικής και περιβαλλοντικής ευημερίας, και (γ) η καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας και η βέλτιστη διαχείριση των τοπικών ενεργειακών πόρων για την κάλυψη των αναγκών των κοινωνιών της Ηπείρου. Κύριοι ωφελούμενοι από τις δραστηριότητες της κοινότητας ΚΟΙΝΕΡΓΕΙΑ είναι τοπικές επιχειρήσεις και νοικοκυριά των Ιωαννίνων.

Η κοινότητα διαθέτει δύο ενεργά έργα φωτοβολταϊκών σταθμών στην περιοχή των Ιωαννίνων, τα οποία λειτουργούν με VNM, ενώ το επόμενο έργο ανακατασκευής Νερομύλου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται υπό σχεδιασμό. Εκτός από τα μέλη της, η ΚΟΙΝΕΡΓΕΙΑ διατηρεί και μια ομάδα Φίλων. Οι Φίλοι έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε σεμινάρια και ειδικές συζητήσεις, να προτείνουν και να συν-διαμορφώνουν νέα έργα και υπηρεσίες (όταν τα έργα και οι υπηρεσίες υλοποιηθούν τότε οι Φίλοι μπορούν να γίνουν μέλη, ώστε να αποκτήσουν πρόσβαση στα παραγόμενα οφέλη), και να λαμβάνουν πληροφόρηση και συμβουλευτική προσαρμοσμένη στις ανάγκες τους. [53]

ΥΠΕΡΙΩΝ: Ηλιακή Κοινότητα

Ο ΥΠΕΡΙΩΝ είναι μια ενεργειακή κοινότητα που ιδρύθηκε το 2020 με έδρα την Αθήνα. Σκοπός του είναι να παρέχει στα μέλη του καθαρή και φθηνή ενέργεια και να αναπτύσσει υπηρεσίες και δράσεις που συμβάλλουν σε μια δίκαιη ενεργειακή μετάβαση. Πιο συγκεκριμένα, εστιάζει (α) στην προώθηση της ενεργειακής δημοκρατίας και της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας στον ενεργειακό τομέα, (β) στην αποκλιμάκωση της συνεχούς αυξανόμενης παραγωγής ενέργειας, στην χρήση πρώτων υλών με ταυτόχρονη αναβάθμιση της κοινωνικής και περιβαλλοντικής ευημερίας, (γ) στην καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας και στη (δ) βέλτιστη διαχείριση των τοπικών ενεργειακών πόρων για την κάλυψη των αναγκών των τοπικών κοινωνιών. Μέλη του ΥΠΕΡΙΩΝ είναι νοικοκυριά, οργανώσεις και τοπικές επιχειρήσεις.

Ο ΥΠΕΡΙΩΝ διαθέτει ένα λειτουργικό έργο έως τώρα, έναν φωτοβολταϊκό σταθμό επί εδάφους, εγκαταστημένο στη Στυμφαλία Κορινθίας, ο οποίος τέθηκε σε λειτουργία τον Απρίλιο του 2024 και παρέχει ενέργεια σε 120 νοικοκυριά και μικρομεσαίες επιχειρήσεις, σε 9 ενεργειακά ευάλωτα νοικοκυριά και 2 κοινωνικές δομές. Όπως και η ΚΟΙΝΕΡΓΙΑ, ο ΥΠΕΡΙΩΝ, διαθέτει μια ομάδα φίλων που διαθέτουν παρόμοια προνόμια συμβουλευτικής, εκπαίδευσης και συμμετοχής σε συζητήσεις, που αφορούν τη λειτουργία της ενεργειακής κοινότητας. [54]

ChalkiOn: Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης

Η Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης «Κάλχιον», αποτελεί την πρώτη ενεργειακή κοινότητα στα Δωδεκάνησα. Ιδρύθηκε το 2021 με έδρα το νησί της Χάλκης. Μεταξύ των ιδρυτικών μελών της είναι ο Δήμος Χάλκης, γεγονός που καταδεικνύει τη στήριξη της τοπικής αυτοδιοίκησης προς την Κοινότητα. Ο απώτερος σκοπός της Ενεργειακής Κοινότητας Χάλκης είναι η συμβολή της στη βιώσιμη Οικονομική και Κοινωνική Ανάπτυξη για όλους, ξεκινώντας από τη βάση της τοπικής κοινωνίας. Οι στόχοι της είναι (α) η προώθηση της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας, (β) η προώθηση της καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, (γ) η αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας, (δ) η παραγωγή, αποθήκευση, ιδιοκατανάλωση, πώληση, διανομή και προμήθεια ενέργειας, (ε) η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, (στ) η παροχή πρωτοποριακών ενεργειακών υπηρεσιών και προϊόντων προς τα μέλη της κοινότητας, τους κατοίκους και επισκέπτες της Χάλκης και η)εν γένει, η προστασία του περιβάλλοντος και η αειφορία της Χάλκης.

Η Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης διαθέτει έναν σταθμό παραγωγής τεχνολογίας φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο οποίος εγκαταστάθηκε το 2021 στο νησί της Χάλκης. Η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού είναι 1MW, μέγεθος ικανό να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρισμό των κατοίκων της Χάλκης. [55]

Άλλες Ενεργειακές Κοινότητες

Όπως προαναφέρθηκε, οι ενεργειακές κοινότητες στην Ελλάδα ξεπερνούν τις 1.400, με τις περισσότερες από αυτές να αξιοποιούν έργα φωτοβολταϊκών πλαισίων. Κάποιες ακόμα από αυτές είναι:

- **Η MINΩΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ:** Η πρώτη Ενεργειακή Κοινότητα στην Κρήτη αλλά και σε όλη τη νησιωτική έκταση της Ελλάδας (ιδρυθείσα το 2019), με πάνω από 460 μέλη από την Κρήτη και όλη την Ελλάδα, μεταξύ των οποίων πολλοί δήμοι και η περιφέρεια Κρήτης. [56]
- **Η WEnCoop:** Η πρώτη Γυναικεία Ενεργειακή Κοινότητα στην Ευρώπη, ιδρυθείσα το 2021 από Ελληνίδες γυναίκες επιχειρηματίες ποικίλων χώρων. Πρόκειται για μια πρωτοβουλία του Συνδέσμου Επιχειρηματιών Γυναικών Ελλάδος (ΣΕΓΕ) που αποσκοπεί στην ανάπτυξη και προώθηση της γυναικείας επιχειρηματικότητας, μέσω της οποίας τα μέλη της θα μπορούν να δραστηριοποιηθούν στον ενεργειακό τομέα, αξιοποιώντας τις καθαρές πηγές ενέργειας. [57]
- **Η Collective Energy Coop:** Ένας ενεργειακός συνεταιρισμός πολιτών με έδρα την Αττική, ιδρυθείς το 2021, με βασικό στόχο την πραγματοποίηση ενεργειακών έργων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μελών της και την εξασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας του συνεταιρισμού. Διαθέτει ένα έργο φωτοβολταϊκών πλαισίων, μέσω του οποίου 47 νοικοκυριά-μέλη και 2 συνεταιρισμοί με έδρα την Αθήνα αλλά και 2 ευάλωτα νοικοκυριά, από τον Δήμο Μοσχάτου-Ταύρου επωφελούνται άμεσα από καθαρή, ανανεώσιμη ενέργεια. Το έργο τέθηκε σε πλήρη λειτουργία τον Φεβρουάριο του 2024.[58]

2.7.5 ΔΕΣΜΗ: Πανελλαδικό Δίκτυο Ενεργειακών Κοινοτήτων

Η Δέσμη Ενεργειακών Κοινοτήτων είναι ο πανελλαδικός φορέας εκπροσώπησης συμμετοχικών ενεργειακών σχημάτων. Ξεκίνησε τη δραστηριότητά της το 2021 και από τον Δεκέμβριο του 2023 επισημοποιήθηκε από τις ίδιες τις ενεργειακές κοινότητες και υποστηρικτικούς φορείς ως μια πλατφόρμα συνεργασίας, εκπαίδευσης και ανταλλαγής τεχνογνωσίας και καλών πρακτικών, σύμφωνα με τις επτά διεθνείς συνεταιριστικές αρχές (βλ. πλαίσιο 6). Βασικοί σκοποί της είναι (α) οι δράσεις συνηγορίας για θέματα ενεργειακής δημοκρατίας, (β) η εξωστρέφεια και ευαισθητοποίηση, (γ) η ανταλλαγή γνώσης, (δ) η ανάπτυξη συνεργειών, (ε) η προώθηση της ισότιμης πρόσβασης και κοινωνικής δικαιοσύνης στον ενεργειακό τομέα και (στ) η διασύνδεση με φορείς για ερευνητικούς σκοπούς. Αποτελείται από 20 ενεργειακές κοινότητες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα και συνιστά χρήσιμο φορέα για την υποστήριξη των δικαιωμάτων των ελληνικών ενεργειακών κοινοτήτων σε εθνικό και ευρωπαϊκό πλαίσιο, καθώς και για την υποβοήθηση της λειτουργίας τους [59].

Πλαίσιο 6.: Οι Επτά Συνεταιριστικές Αρχές

Οι επτά συνεταιριστικές αρχές, όπως ορίζονται από τη Διεθνή Συνεταιριστική Συμμαχία (ICA)[60], χρησιμεύουν ως θεμελιώδεις κατευθυντήριες γραμμές για τις συνεταιριστικές οργανώσεις παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών κοινοτήτων:

1. **Εθελοντική και ανοικτή συμμετοχή:** Οι συνεταιρισμοί είναι εθελοντικές οργανώσεις ανοικτές σε όλα τα άτομα που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες τους και είναι πρόθυμα να αναλάβουν τις ευθύνες των μελών, χωρίς κοινωνικές, φυλετικές, πολιτικές ή θρησκευτικές διακρίσεις.
2. **Δημοκρατικός έλεγχος από τα μέλη:** Τα μέλη συμμετέχουν ενεργά στον καθορισμό πολιτικών και στη λήψη αποφάσεων, με ίσα δικαιώματα ψήφου (ένα μέλος, μία ψήφος). Οι εκλεγμένοι εκπρόσωποι λογοδοτούν στα μέλη.
3. **Οικονομική συμμετοχή των μελών:** Τα μέλη συνεισφέρουν ισότιμα και ελέγχουν δημοκρατικά το κεφάλαιο του συνεταιρισμού. Λαμβάνουν περιορισμένη αποζημίωση επί του κεφαλαίου που έχουν προσφέρει και κατανέμουν τα πλεονάσματα για την ανάπτυξη του συνεταιρισμού, τις παροχές προς τα μέλη και άλλες εγκεκριμένες δραστηριότητες.
4. **Αυτονομία και ανεξαρτησία:** Οι συνεταιρισμοί διατηρούν την αυτονομία τους ως οργανώσεις αυτοβοήθειας που ελέγχονται από τα μέλη, ακόμη και όταν συνάπτουν συμφωνίες με άλλες οργανώσεις ή αντλούν εξωτερικό κεφάλαιο.
5. **Εκπαίδευση, κατάρτιση και πληροφόρηση:** Οι συνεταιρισμοί παρέχουν εκπαίδευση και κατάρτιση στα μέλη τους, στους εκλεγμένους αντιπροσώπους, στα διευθυντικά στελέχη και στους υπαλλήλους, ώστε να μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην ανάπτυξη των συνεταιρισμών τους.
6. **Συνεργασία μεταξύ των συνεταιρισμών:** Οι συνεταιρισμοί ενισχύουν το συνεταιριστικό κίνημα συνεργαζόμενοι μέσω τοπικών, εθνικών, περιφερειακών και διεθνών δομών.
7. **Ενδιαφέρον για την κοινότητα:** Οι συνεταιρισμοί εργάζονται για τη βιώσιμη ανάπτυξη των κοινοτήτων τους μέσω πολιτικών που εγκρίνονται από τα μέλη τους.

Κεφάλαιο 3

Ορισμός, Σκοπός, και Τρόπος Λειτουργίας του Μηχανισμού Απόκρισης-Ζήτησης

3.1 Εισαγωγή στον Μηχανισμό Απόκρισης-Ζήτησης

Ιστορική Αναδρομή

Οι ρίζες της Απόκρισης-Ζήτησης (Demand-Response, DR) μπορούν να εντοπιστούν στην ευρύτερη έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης (Demand Side Management, DSM) ή αλλιώς της Διαχείρισης Ενεργειακών Υπηρεσιών (Energy Services Management, ESM), έννοια η οποία έχει ιστορία μεγαλύτερη των 40 ετών. Αρχικά, τη δεκαετία του 1970, εισήχθη η έννοια της διαχείρισης φορτίου. Ο όρος «διαχείριση φορτίου» αναφέρεται σε μια ποικιλία στρατηγικών που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, κυρίως μέσω του προγραμματισμού των φορτίων. Οι κύριοι στόχοι της διαχείρισης φορτίου ήταν (α) η μετατόπιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από περιόδους υψηλής ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, (β) η αποδοτικότερη χρήση της δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, (γ) η γενικότερη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της μέγιστης ζήτησης και (δ) η βελτίωση του συντελεστή φορτίου του συστήματος.

Οι στρατηγικές διαχείρισης φορτίου ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες:

1. Πλευρά του πελάτη (π.χ. συσκευές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, άμεσα ή έμμεσα ελεγχόμενες συσκευές)
2. Πλευρά της κοινής ωφέλειας (π.χ. αντλησιοταμιευτική υδροηλεκτρική αποθήκευση, αποθήκευση μπαταριών κοινής ωφέλειας)

Οι στρατηγικές διαχείρισης φορτίου αναπτύχθηκαν ως απάντηση στις ανησυχίες σχετικά με την εξάρτηση από ξένους πετρελαϊκούς πόρους και τις περιβαλλοντικές συνέπειες της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως με χρήση πυρηνικής ενέργειας.

Η έννοια της διαχείρισης ζήτησης εισήχθη για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1980, λόγω της αύξησης του κόστους και των περιβαλλοντικών πιέσεων, από το Electric Power Research Institute (EPRI) (αμερικανικός ανεξάρτητος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ασχολείται με την έρευνα και την ανάπτυξη σχετικά με την παραγωγή, την παροχή και τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο την αντιμετώπιση των προκλήσεων της ενεργειακής βιομηχανίας [61]). Η διαχείριση ζήτησης περιλάμβανε ένα φάσμα δραστηριοτήτων, τις οποίες αναλάμβαναν οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας για να μετασχηματίσουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη, να αναβάλουν τις επενδύσεις και να βελτιώσουν την αξιοπιστία της παροχής τους. Συγκεκριμένα, ορίζεται πως «Η DSM αναφέρεται σε τεχνολογίες, δράσεις και προγράμματα στην πλευρά της ζήτησης των ενεργειακών μέτρων που επιδιώκουν τη διαχείριση ή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, προκειμένου να μειωθούν οι συνολικές δαπάνες του ενεργειακού συστήματος ή να συμβάλουν στην επίτευξη στόχων πολιτικής, όπως η μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου ή η εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης.» [62]

Η κύρια διαφορά της DSM με τη διαχείριση φορτίου έγκειται στο πεδίο εφαρμογής κάθε μηχανισμού. Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαχείριση φορτίου, στόχος είναι η μετατόπιση της κατανάλωσης από περιόδους υψηλής ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, ενώ η DSM είχε ευρύτερο πεδίο εφαρμογής, περιλαμβάνοντας μια σειρά δραστηριοτήτων για τον μετασχηματισμό των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης φορτίου αλλά και άλλων πτυχών, όπως η στρατηγική εξοικονόμηση και ο εξηλεκτρισμός.

Καθώς η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να απελευθερώνεται κατά τη δεκαετία του 1990, με την αυξανόμενη διείσδυση των καταναμημένων πηγών παραγωγής σε διαφορετικά επίπεδα τάσης, τα μέτρα διαχείρισης φορτίου έπρεπε να εξελιχθούν για να ανταποκριθούν στις νέες προκλήσεις.

Η έννοια της DR, όπως είναι γνωστή σήμερα, καθορίστηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ το 2006. Αυτή η νέα προσέγγιση είχε ως στόχο να παρέχει στους χρήστες έναν πιο ενεργό ρόλο στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα συμφέροντα της κοινής ωφέλειας όσο και τα συμφέροντα των χρηστών. Η DR εισήχθη ως εργαλείο για την αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου, τη μείωση της ζήτησης αιχμής, τη διαχείριση της ανάπτυξης του δικτύου, τις πολιτικές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων τεχνολογιών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. [63]

3.2 Ορισμός της Απόκρισης-Ζήτησης

Σύμφωνα με τους Siano και συν. (2014)[64], «Η Απόκριση-Ζήτηση (DR) αναφέρεται σε αλλαγές στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές από τα συνήθη πρότυπα κατανάλωσής τους, ως απόκριση στις μεταβολές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου ή σε πληρωμές κινήτρων που έχουν σχεδιαστεί για να προκαλέσουν χαμηλότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλών τιμών χονδρικής αγοράς ή όταν η αξιοπιστία του συστήματος τίθεται σε κίνδυνο». Όταν οι πελάτες συμμετέχουν στην DR, υπάρχουν τρεις πιθανοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να αλλάξουν τη χρήση της ηλεκτρικής

ενέργειας:

- Μειώνοντας την ενεργειακή τους κατανάλωση, μέσω στρατηγικών περιορισμού του φορτίου
- Μετακινώντας την κατανάλωση ενέργειας σε διαφορετική χρονική περίοδο
- Χρησιμοποιώντας εφεδρική ενέργεια που παράγεται επιτόπου, περιορίζοντας έτσι την εξάρτησή τους από το κύριο δίκτυο.

Οι κύριοι στόχοι της απόκρισης στη ζήτηση είναι (α) η διατήρηση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου, (β) η μείωση της ζήτησης αιχμής, (γ) η μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και (δ) η υποστήριξη της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας εικοσαετίας επιτρέπουν την ευρύτερη και αποδοτικότερη χρήση των μηχανισμών DR, παραχωρώντας καλύτερη παρακολούθηση και έλεγχο, καθώς και δυνατότητες αποτελεσματικού αυτοματισμού. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες είναι

- Οι έξυπνοι μετρητές, οι οποίοι παρέχουν μια πλατφόρμα για την προσφορά δυναμικής τιμολόγησης στους πελάτες και επιτρέπουν την ακριβή μέτρηση των μεταβολών στην κατανάλωση ενέργειας
- Τα προηγμένα συστήματα επικοινωνίας, τα οποία επιτρέπουν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των πελατών
- Οι τεχνολογίες παρακολούθησης και ελέγχου με υπολογιστή, οι οποίες έχουν πλέον εισαχθεί σε όλα τα επίπεδα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, από τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής μέχρι τους τελικούς χρήστες

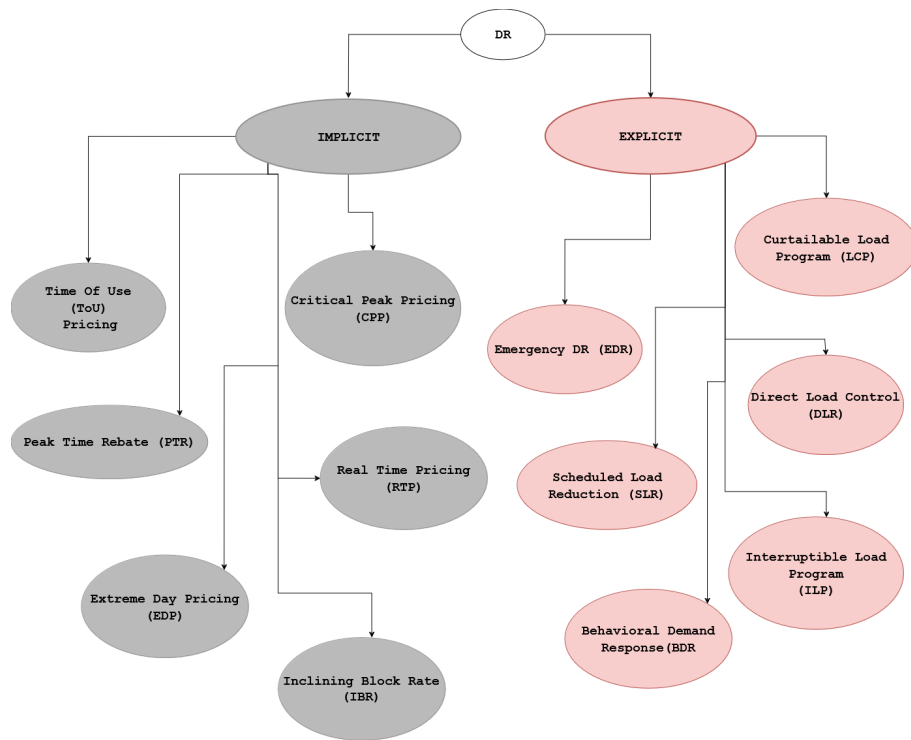
Ακόμα, η υποδομή του έξυπνου δικτύου, η οποία εξαπλώνεται όλο και περισσότερο, επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία και τον έλεγχο μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των πελατών, οι καταναλωτές ενεργειακοί πόροι, συμπεριλαμβανομένης της καταναεμμένης παραγωγής, των ελεγχόμενων φορτίων και των συστημάτων αποθήκευσης σε επίπεδο πελάτη, επιτρέπουν πιο ευέλικτες δυνατότητες απόκρισης στη ζήτηση, και οι έξυπνες οικιακές συσκευές που είναι εγκατεστημένες στα σπίτια μπορούν να λαμβάνουν σήματα τιμών και να ελέγχουν αυτόματα την κατανάλωση.

Όλες οι παραπάνω τεχνολογίες παρέχουν τις απαραίτητες δυνατότητες επικοινωνίας, ελέγχου, μέτρησης και αυτοματισμού για την εφαρμογή διαφόρων τύπων προγραμμάτων DR τόσο στη λιανική όσο και στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η υποδομή του έξυπνου δικτύου ειδικότερα έχει καθοριστική σημασία για τη δημιουργία πιο προηγμένων και αυτοματοποιημένων μορφών DR. [63]

3.2.1 Προγράμματα DR: Άμεση και Έμμεση DR

Σύμφωνα με τους Ranaboldo, Peñalba και συν. (2024) [65], τα προγράμματα DR μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (α) έμμεση (implicit) και (β) άμεση

(explicit) DR. Στα προγράμματα έμμεσης (ή βασισμένα στις τιμές) DR, οι καταναλωτές παρέχουν οικειοθελώς μειώσεις φορτίου, ανταποκρινόμενοι σε οικονομικά σήματα (π.χ. σε χρονικά μεταβαλλόμενες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας). Αντίθετα, στα άμεσα (ή βασισμένα σε κίνητρα) προγράμματα, προσφέρονται πληρωμές στους πελάτες, προκειμένου να παρέχουν ένα συγκεκριμένο ποσό τροποποίησης φορτίου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Τα προγράμματα implicit και explicit DR χωρίζονται με τη σειρά τους σε υποκατηγορίες (βλ. σχήμα 3.1), οι οποίες αναλύονται παρακάτω.



Σχήμα 3.1: Προγράμματα DR

Implicit DR

Τα προγράμματα αυτής της κατηγορίας βασίζονται στη δυναμική τιμολόγηση της ενέργειας. Σκοπός τους είναι να προσαρμόζεται η κατανάλωση των πελατών ανάλογα με τις διακυμάνσεις στις τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος, επιδιώκοντας είτε τη μείωση του φορτίου κατά τις ώρες αιχμής είτε τη μεταφορά του σε ώρες με χαμηλότερες τιμές.

Παρατηρούνται τρεις κύριοι τύποι προγραμμάτων έμμεσης DR:

- Στην τιμολόγηση Time-of-Use (TOU), οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν ανάλογα με το χρονικό διάστημα χρήσης. Συνήθως, μια ημέρα χωρίζεται σε διαστήματα αιχμής, μέσης αιχμής και εκτός αιχμής, με το κάθε διάστημα να έχει διαφορετικές τιμές. Αυτή η δομή δίνει κίνητρα στους καταναλωτές να μεταφέρουν τις ενεργοβόρες λειτουργίες τους σε περιόδους όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι φθηνότερη.

- Η τιμολόγηση Critical Peak (CPP) είναι παρόμοια με την TOU, αλλά εισάγει πολύ υψηλές τιμές κατά τις κρίσιμες ώρες αιχμής Critical Peak Hours. Οι καταναλωτές λαμβάνουν μια έκπτωση τιμών σε περίοδο εκτός Critical Peak Hours, ενώ περιλαμβάνεται και μια βασική χρέωση TOU. Οι τιμές κρίσιμης αιχμής εφαρμόζονται μόνο για λίγες ώρες ετησίως (όταν η αξιοπιστία του δικτύου κινδυνεύει) παρέχοντας ισχυρό κίνητρο στους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση κατά τις κρίσιμες αυτές περιόδους.
- Η τιμολόγηση Real Time Pricing (RTP) είναι ίσως το πιο δυναμικό από τα implicit προγράμματα DR. Σε αυτό το σύστημα, τα τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζουν ανά ώρα για να αντικατοπτρίζουν τις διακυμάνσεις στις τιμές της χονδρικής αγοράς. Οι καταναλωτές συνήθως ενημερώνονται για τις τιμές σε ημερήσια ή ωριαία βάση. Αν οι τιμές δεν δημοσιεύονται εκ των προτέρων, μπορεί να είναι απαραίτητα τα εργαλεία πρόβλεψης των τιμών για την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας. [65]

Τα προγράμματα TOU έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν στους καταναλωτές να προγραμματίζουν τα πρότυπα κατανάλωσης των διαφόρων συσκευών, κατά τη διάρκεια της ημέρας στην αρχή του προγράμματος και, στη συνέχεια, να ακολουθούν αυτόν τον προγραμματισμό. Από τη σκοπιά του συσσωρευτή, τα προγράμματα αυτά είναι απλούστερα στον σχεδιασμό και τη διαχείριση (δεδομένου ότι δεν απαιτούν την παρακολούθηση και την αλλαγή της τιμής ή την επικοινωνία με τους καταναλωτές σε καθημερινή βάση). Συνολικά, φαίνεται να είναι πιο δημοφιλή για τους καταναλωτές από τα προγράμματα δυναμικής προσαρμογής των τιμών. Παρόλα αυτά, τα προγράμματα δυναμικής προσαρμογής, με ακρογωνιαίο λίθο τα προγράμματα RTP, επιτρέπουν στους προμηθευτές να μεταβάλλουν την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις συνθήκες στο δίκτυο και τη σχέση παραγωγής-ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [66], οπότε και εξυπηρετούν καλύτερα τη λειτουργία του DR. Στα παραπάνω προγράμματα DR βασισμένα στις τιμές, η κατηγοριοποίηση των Honarmand, Hosseinneshad και συν. (2021)[63] σημειώνει άλλα τρία είδη implicit προγραμμάτων DR:

- Peak-Time Rebate (PTR) ή Critical Peak Rebate (CPR) : Αυτό το πρόγραμμα προσφέρει κατ' αποκοπή τιμολόγηση, όπου ανταμείβονται οι πελάτες που μειώνουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής φορτίου. Όσοι δεν μειώνουν την κατανάλωση πληρώνουν την κανονική τιμή.
- Extreme Day Pricing (EDP): Το πρόγραμμα αυτό είναι παρόμοιο με το TOU, αλλά εφαρμόζεται υψηλή τιμή κατανάλωσης για περιορισμένο αριθμό κρίσιμων ημερών. Τα πρότυπα τιμών ανακοινώνονται μία ημέρα πριν από την εφαρμογή.
- Inclining Block Rate (IBR): Χρησιμοποιείται συχνά για οικιακούς πελάτες. Το ποσοστό τιμής αυξάνεται, καθώς αυξάνεται ο ρυθμός κατανάλωσης του πελάτη. Συνήθως είναι δομημένο βήμα προς βήμα, ώστε να ενθαρρύνει τους πελάτες να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Explicit DR

Τα προγράμματα Explicit DR, επίσης γνωστά και ως προγράμματα DR βασισμένα σε κίνητρα, είναι μια κατηγορία προγραμμάτων απόκρισης-ζήτησης, στην οποία προσφέρονται στους πελάτες πληρωμές για την παροχή συγκεκριμένων τροποποιήσεων φορτίου σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Τα προγράμματα αυτά ρυθμίζονται συνήθως από εθνικά ή περιφερειακά ηλεκτρικά δίκτυα, μέσω αγορών ευελιξίας, οι οποίες επιτρέπουν την αγορά και πώληση ευέλικτων ενεργειακών υπηρεσιών, σε απόκριση στις μεταβαλλόμενες συνθήκες προσφοράς και ζήτησης. Παρακάτω, σημειώνονται οι βασικοί τύποι προγραμμάτων explicit DR [63][65]:

- Τα προγράμματα Curtailable Load Program (CLP): Τα προγράμματα αυτά εφαρμόζονται πάνω από 50 χρόνια και θεωρούνται σχετικά ώριμη μορφή DR. Απευθύνονται σε μεσαίους και μεγάλους καταναλωτές, προσφέροντας κίνητρα για την απενεργοποίηση συγκεκριμένων φορτίων ή τη διακοπή της χρήσης ενέργειας, ως απάντηση σε κλήσεις από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, με πιθανές κυρώσεις για μη συμμετοχή. Οι συμμετέχοντες συμφωνούν σε χειροκίνητη ή αυτόματη προσαρμογή του φορτίου. Τα κίνητρα μπορεί να είναι τόσο οικονομικά όσο και βασισμένα στην αξιοπιστία του συστήματος.
- Το πρόγραμμα DR έκτακτης ανάγκης (EDR): Αυτό το πρόγραμμα χρησιμοποιείται σε καταστάσεις με ελλείψεις δυναμικότητας εφοδιασμού. Οι συμμετέχοντες ανταμείβονται μόνο για μειώσεις φορτίου έκτακτης ανάγκης που συμβάλλουν στη διατήρηση της αξιοπιστίας του δικτύου. Ο περιορισμός του φορτίου είναι εθελοντικός και το πρωταρχικό κίνητρο είναι η διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος.
- Τα προγράμματα Direct Load Control (DLC): Τα προγράμματα αυτά επιτρέπουν στην εταιρεία κοινής ωφέλειας να διακόπτει ή να μειώνει την κατανάλωση μικρών εμπορικών και οικιακών πελατών κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης, σε συγκεκριμένες συσκευές όπως θερμοσίφωνες και κλιματιστικά. Οι συμμετέχοντες λαμβάνουν κίνητρα για τη μείωση της κατανάλωσης κάτω από προκαθορισμένα όρια. Τα κίνητρα αυτά μπορεί να είναι τόσο οικονομικά, όσο και βασισμένα στην αξιοπιστία. Τα προγράμματα DLC χρησιμοποιούνται συνήθως κατά τη διάρκεια αιχμής της ζήτησης, ενώ η συμμετοχή είναι υποχρεωτική για τους συμμετέχοντες, αν και μπορεί να είναι δυνατή η παράκαμψη.
- Τα προγράμματα Demand Side Bidding and Ancillary Services και το πρόγραμμα Interruptible Load (ILP): Και τα δύο είδη προγραμμάτων προσφέρονται σε καταναλωτές μεγάλης κλίμακας (συχνά με φορτία άνω του 1 MW). Στην περίπτωση των προγραμμάτων Demand Side Bidding, κατά τη διάρκεια απρόβλεπτων καταστάσεων ή αιχμής, οι καταναλωτές μπορούν να υποβάλουν προσφορά για την περικοπή μέρους της κατανάλωσής τους σε καθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση του προγράμματος ILP, οι πελάτες συμφωνούν να απενεργοποιήσουν το μεγαλύτερο μέρος ή το σύνολο του φορτίου τους για μια συγκεκριμένη περίοδο, κατά την οποία συνήθως χρησιμοποιούν

εφεδρικές γεννήτριες. Προσφέρονται μειωμένες τιμές, αλλά ισχύουν κυρώσεις για μη συμμετοχή. Το κίνητρο είναι η αξιοπιστία του συστήματος.

- Τα προγράμματα Behavioral Demand Response (BDR): Τα προγράμματα BDR αποσκοπούν στην τροποποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε αιχμές μέσω στοχευμένης διαφήμισης και ενθάρρυνσης της εθελοντικής εξοικονόμησης ενέργειας. Η BDR βασίζεται στον επηρεασμό της συμπεριφοράς των πελατών για τη μείωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής, αντί της χρήσης άμεσου ελέγχου ή οικονομικών κινήτρων. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούν συνήθως στοχευμένα μηνύματα και εκστρατείες ενημέρωσης, προκειμένου να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να μειώσουν οικειοθελώς την κατανάλωση ενέργειας, ενώ τα κίνητρα βασίζονται κυρίως στην προσέλκυση της επιθυμίας των πελατών να βοηθήσουν το δίκτυο και, ενδεχομένως, να εξοικονομήσουν κόστος ενέργειας. Στην περίπτωση ενός προγράμματος BDR, η εταιρεία κοινής ωφέλειας δεν μπορεί να ελέγξει ή να καταναίμει άμεσα η μείωση του φορτίου. Η BDR θεωρείται μια επιλογή χαμηλού κόστους για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, όσον αφορά τη συμμετοχή των πελατών στην απόκριση-ζήτηση, καθώς δεν απαιτεί πολύπλοκα συστήματα ή άμεσα οικονομικά κίνητρα. Η αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων BDR μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται και παραδίδεται το μήνυμα στους πελάτες. Αξίζει να σημειωθεί πως, πλέον, με την ευρεία διάδοση των έξυπνων μετρητών, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας είναι σε θέση να μετρήσουν και να αναλύσουν καλύτερα τις επιπτώσεις των προγραμμάτων BDR στα πρότυπα κατανάλωσης.

3.2.2 Στρατηγικές Εξομάλυνσης Καμπύλης Ζήτησης

Πολλοί μηχανισμοί DR, συμπεριλαμβανομένων αυτών που αναφέρονται στους Wang, Zhang και συν. (2024)[67], Wu και συν. (2024)[68] και Langer και συν. (2024)[69], στηρίζονται σε στρατηγικές διαχείρισης της πλευράς της ζήτησης από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και τους καταναλωτές ενέργειας, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και τη μείωση του κόστους. Τρεις στρατηγικές-κλειδιά για τη διαχείριση ζήτησης είναι το σύστημα εξομάλυνσης αιχμών (Peak Shaving), η μετατόπιση φορτίων (Load Shifting) και η πλήρωση κοιλάδας (Valley Filling):

Peak Shaving: Η εξομάλυνση αιχμών είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους μη υψηλής ζήτησης. Λειτουργεί είτε με την έγχυση ενέργειας στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο είτε με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τη μείωση της συνολικής ζήτησης αιχμής σε ένα ορισμένο κατώτατο επίπεδο. Αυτό γίνεται, συνήθως, κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής της ζήτησης, οι οποίες εμφανίζονται συνήθως για περίπου 3 έως 5 ώρες την ημέρα, συνήθως μεταξύ 11:00 π.μ. και 4:00 μ.μ.. Η αρχή πίσω από την εξοικονόμηση αιχμής είναι η αποτελεσματικότερη εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης, παρέχεται πρόσθετη ισχύς ή μειώνεται η κατανάλωση, για να αποφευχθεί η επιβάρυνση του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό μπορεί να

επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αιχμής, συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και υβριδικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αιχμής, όπως οι αεριοστρόβιλοι ανοικτού κύκλου ή οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μπορούν να αυξήσουν γρήγορα την παραγωγή για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ή η αντλησιοταμίευση, αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και την απελευθερώνουν σε περιόδους αιχμής. Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με δυνατότητες αποθήκευσης για να παρέχουν πιο σταθερή παροχή ενέργειας [70].

Load Shifting: Η μετατόπιση φορτίου είναι μια τεχνική διαχείρισης της ζήτησης που αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση των προτύπων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλάζοντας την χρονική στιγμή χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνει τη μετακίνηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις ώρες αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής, πρακτική η οποία συμβάλλει στην εξομάλυνση του συνολικού προφίλ ζήτησης. Ο κύριος στόχος της μετατόπισης φορτίου είναι η μείωση της ζήτησης αιχμής, η κάλυψη των κοιλάδων στην καμπύλη ζήτησης και η δημιουργία ενός πιο σταθερού προτύπου χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την εφαρμογή της μετατόπισης φορτίου. Αυτές περιλαμβάνουν (α) την προσαρμογή της χρήσης υγρών συσκευών (π.χ. πλυντήρια πιάτων και πλυντήρια ρούχων), (β) την προθέρμανση ή προ-ψύξη χώρων και νερού κατά τις ώρες εκτός αιχμής και (γ) τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν, συνήθως, τη μετατόπιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά αρκετές ώρες, συχνά από τις απογευματινές ή βραδινές ώρες αιχμής σε ώρες αργά τη νύχτα ή νωρίς το πρωί, όταν η ζήτηση είναι χαμηλότερη [71].

Valley Filling: Η πλήρωση κοιλάδας αναφέρεται στη διαδικασία αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης για την εξομάλυνση του συνολικού προφίλ κατανάλωσης ενέργειας ενός κτηρίου ή ηλεκτρικού συστήματος. Ο στόχος είναι να αυξηθεί η κατανάλωση ενέργειας κατά τις περιόδους εκτός αιχμής της ζήτησης, όταν η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος είναι χαμηλή, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα πιο σταθερό συνολικό προφίλ κατανάλωσης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας [72]. Η πλήρωση κοιλάδας είναι έννοια γειτονική με αυτή της μετατόπισης φορτίου. Οι διαφορές τους έγκεινται κυρίως στην αντιμετώπιση του ζητήματος εξομάλυνσης της καμπύλης ζήτησης ενέργειας. Ενώ η μετατόπιση φορτίου στοχεύει, όπως καταδεικνύει το όνομά της, στη μετατόπιση του φορτίου από τις ώρες αιχμής, στις ώρες εκτός αιχμής, η πλήρωση κοιλάδας στοχεύει μόνο στην αύξηση της ζήτησης των ωρών εκτός αιχμής. Η πρακτική αυτή μπορεί και να οδηγήσει στην αύξηση της συνολικής ζήτησης ενός συστήματος, καθώς στο πλαίσιο πλήρωσης κοιλάδας δύναται να εισαχθούν νέα φορτία μέσα στο δίκτυο [73].

Πλαίσιο 7.: Βραχυπρόθεσμες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ

Η ΕΕ έχει θεσπίσει τρεις κύριους τύπους βραχυπρόθεσμων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας: την ημερήσια αγορά, την ενδοημερήσια αγορά και την αγορά εξισορρόπησης. Σύμφωνα με τον οργανισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (Agency for the Cooperation of Energy Regulators, ACER):

1. **Ημερήσια αγορά:** Η ημερήσια αγορά βασίζεται σε ένα μοντέλο ευρωπαϊκής σύζευξης τιμών, το οποίο καθορίζει ταυτόχρονα τις ποσότητες και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις σχετικές ζώνες της Ευρώπης. Στην ημερήσια αγορά, οι τιμές και οι όγκοι ενέργειας υπολογίζονται με βάση την αρχή της οριακής τιμολόγησης, χρησιμοποιείται ένας ενιαίος αλγόριθμος για την αποτελεσματική κατανομή της δυναμικότητας σε όλα τα κράτη-μέλη και η συναλλαγή ενέργειας πραγματοποιείται μία ημέρα πριν από την πραγματική παράδοση ενέργειας. Η ημερήσια αγορά καθορίζει τη σειρά ισχύος για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας και καθορίζει τα αρχικά προγράμματα για τους παραγωγούς ενέργειας.
2. **Ενδοημερήσια αγορά:** Η ενδοημερήσια αγορά επιτρέπει τη συνεχή συναλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας πιο κοντά στον πραγματικό χρόνο. Στην ενδοημερήσια αγορά, επιτρέπεται η συναλλαγή ενέργειας μέχρι και λίγο πριν από την πραγματική παράδοση και εκτυλίσσονται τόσο συνεχείς συναλλαγές όσο και ενδοημερήσιες δημοπρασίες, βοηθώντας τους συμμετέχοντες στην αγορά να εξισορροπούν τις θέσεις τους, καθώς βελτιώνονται οι προβλέψεις.
3. **Αγορά εξισορρόπησης:** Η αγορά εξισορρόπησης διέπεται από την κατευθυντήρια γραμμή για την εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ [74]. Η αγορά εξισορρόπησης επιτρέπει στους διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς να προμηθεύονται ενέργεια εξισορρόπησης σε πραγματικό χρόνο. Αποσκοπεί στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιεί κοινές ευρωπαϊκές πλατφόρμες για την ανταλλαγή ενέργειας εξισορρόπησης και εφαρμόζει τυποποιημένα προϊόντα εξισορρόπησης για τη διευκόλυνση των διασυνοριακών ανταλλαγών. Παρότι δεν θεωρείται αυστηρά βραχυπρόθεσμη αγορά, η αγορά εξισορρόπησης λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο για τη διατήρηση της ισορροπίας του συστήματος.

3.3 Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο και Πολιτικές

3.3.1 Κανονισμός 2019/943 και Οδηγία 2019/944

Στο πλαίσιο του πακέτου οδηγιών καθαρής ενέργειας για όλους τους Ευρωπαίους[29], ο κανονισμός 2019/943[75] και η οδηγία 2019/944[76], έρχονται να διαμορφώσουν από κοινού ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την απόκριση-ζήτηση στην Ευρώπη, θεσπίζοντας βασικές αρχές και κανόνες για να καταστεί δυνατή η συμμετοχή της στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλαίσιο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία ενός πιο ευέλικτου, επικεντρωμένου στον καταναλωτή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο μπορεί να ενσωματώνει υψηλότερα μερίδια ανανεώσιμης ενέργειας.

Η οδηγία ορίζει την απόκριση στη ζήτηση ως «την αλλαγή του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς πελάτες από τα συνήθη ή τρέχοντα πρότυπα κατανάλωσής τους ως απόκριση στα σήματα της αγοράς» και την αναγνωρίζει ως κρίσιμο πόρο ευελιξίας για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Επιβάλλεται η πρόσβαση της απόκρισης-ζήτησης σε όλες τις αγορές ενέργειας επί ίσους όρους, με τη δημιουργία αγοράς χονδρικής, αγοράς εξισορρόπησης και αγοράς επικουρικών υπηρεσιών. Τα κράτη-μέλη οφείλουν να διασφαλίζουν ότι τα εθνικά ρυθμιστικά πλαίσια δεν εισάγουν διακρίσεις εις βάρος των παρόχων απόκρισης-ζήτησης ή των συγκεντρωτών (βλ. πλαίσιο 8). Ακόμη, δίνεται το δικαίωμα στους τελικούς πελάτες να συμμετέχουν σε συστήματα απόκρισης στη ζήτηση και να συνάπτουν συμβάσεις με συσσωρευτές, ανεξάρτητα από τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλαίσιο απαγορεύει στους προμηθευτές να χρεώνουν τιμωρητικά τέλη στους πελάτες που μεταπηδούν σε παρόχους απόκρισης-ζήτησης. Για να καταστεί δυνατή η απόκριση στη ζήτηση, η οδηγία ορίζει ότι οι καταναλωτές πρέπει να έχουν πρόσβαση σε δυναμικές συμβάσεις τιμών ηλεκτρικής ενέργειας που αντικατοπτρίζουν τις τιμές της αγοράς σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους καταναλωτές να προσαρμόζουν την κατανάλωσή τους, με βάση τα σήματα τιμών. Ενώ καθορίζει αρχές σε επίπεδο ΕΕ, το πλαίσιο επιτρέπει σημαντική ευελιξία στα κράτη-μέλη, τα οποία μπορούν να εφαρμόζουν τους κανόνες για την απόκριση στη ζήτηση, σύμφωνα με τις εθνικές τους συνθήκες. Οι ρυθμιστικές αρχές είναι επιφορτισμένες με την άρση των εμποδίων για την απόκριση στη ζήτηση, σε εθνικό επίπεδο. Το κανονιστικό πλαίσιο καθορίζει τους ρόλους και τις αρμοδιότητες των διαφόρων φορέων, σε σχέση με την απόκριση στη ζήτηση:

- Οι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς και διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απόκριση της ζήτησης στον σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου
- Οι προμηθευτές πρέπει να προσφέρουν συμβάσεις δυναμικής τιμολόγησης
- Οι συσσωρευτές αναγνωρίζονται ως συμμετέχοντες στην αγορά με συγκεκριμένα δικαιώματα και υποχρεώσεις (βλ. πλαίσιο 8)

Τέλος, σύμφωνα με τον κανονισμό 2019/943 και την οδηγία 2019/944, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποχρεούται να παρακολουθεί την εφαρμογή των διατάξεων για την απόκριση στη ζήτηση και να υποβάλλει έκθεση σχετικά με την πρόοδο. Τα κράτη-μέλη πρέπει επίσης να υποβάλλουν εκθέσεις σχετικά με τα μέτρα που έχουν ληφθεί για να καταστεί δυνατή και να

αναπτυχθεί η απόκριση στη ζήτηση, συμπεριλαμβανομένων των εμποδίων και των δράσεων για την αντιμετώπισή τους. Αυτό το ολοκληρωμένο κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί την πρώτη προσπάθεια της Ευρωπαϊκής επιτροπής για αξιοποίηση δυναμικού της απόκρισης στη ζήτηση σε ολόκληρη την Ευρώπη, συμβάλλοντας σε ένα πιο αποδοτικό, ευέλικτο και απαλλαγμένο από τις ανθρακούχες εκπομπές σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Θέτοντας κοινές αρχές και επιτρέποντας παράλληλα την προσαρμογή σε εθνικό επίπεδο, επιδιώκει να δημιουργήσει ένα εναρμονισμένο αλλά και ποικιλόμορφο τοπίο για την ανάπτυξη της απόκρισης ζήτησης.

Πλαίσιο 8.: Οντότητες Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην ΕΕ

Στην ΕΕ, οι καταναλωτές μπορούν να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από διάφορες οντότητες που αναγνωρίζονται από τη νομοθεσία της ΕΕ, καθεμία από τις οποίες διαδραματίζει διακριτό ρόλο στην αγορά. Παρακάτω παρατίθεται μια ανάλυση των οντοτήτων αυτών:

1. **Λιανικοί προμηθευτές:** Πρόκειται για αδειοδοτημένες οντότητες που πωλούν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας στους καταναλωτές σε ανταγωνιστικές αγορές. Οι καταναλωτές μπορούν να επιλέγουν ελεύθερα τους προμηθευτές και να αλλάζουν πάροχο χωρίς επιπλέον χρεώσεις. Οι προμηθευτές προσφέρουν ποικίλες συμβάσεις (π.χ. σταθερή τιμή, δυναμική τιμολόγηση), επιτρέποντας στους καταναλωτές να διαχειρίζονται το κόστος και τη χρήση ενέργειας.
2. **Ενεργειακές κοινότητες:** βλ. υποκεφάλαιο 1.2
3. **Συγκεντρωτές:** Διαμεσολαβητές που συγκεντρώνουν τη ζήτηση των καταναλωτών ή τους κατανεμημένους ενεργειακούς πόρους για τη συμμετοχή τους στην αγορά. Οι συγκεντρωτές διαχειρίζονται ευέλικτα φορτία (π.χ. φόρτιση EVs) για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του δικτύου και τη μείωση του κόστους και επιτρέπουν στους καταναλωτές τη συμμετοχή σε προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση και σε VPPs. Ορίζονται στην Οδηγία 2019/944[76] της ΕΕ ως οντότητες που συνδυάζουν φορτία πελατών για αγοραπωλησία σε αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.
4. **Αυτοκαταναλωτές:** Καταναλωτές που παράγουν επίσης ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν να πωλούν την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο ή να την μοιράζονται εντός ενεργειακών κοινοτήτων.
5. **Προμηθευτές έσχατης λύσης:** Οντότητες που ορίζονται από τις χώρες της ΕΕ για να εξασφαλίζουν την αδιάλειπτη προμήθεια σε περίπτωση που ένας πάροχος αποτύχει. Οι χώρες της ΕΕ υποχρεώνονται, βάσει της οδηγίας 2024/1711 και του κανονισμού 2024/1747 [77][78], να ορίσουν τέτοιες οντότητες, με σκοπό την προστασία των καταναλωτών στην περίπτωση χρεοκοπίας τυχόν προμηθευτή.

3.3.2 Κανονισμός 2024/1711 και Οδηγία 2024/1747

Στις 21 Μαΐου 2024, η ΕΕ ενέκρινε τη μεταρρύθμιση του σχεδιασμού της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει την οδηγία 2024/1711[77] και τον κανονισμό 2024/1747[78], με σκοπό τον σχεδιασμό μιας πιο ανθεκτικής ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας. Η οδηγία 2024/1711 και ο κανονισμός 2024/1747 διαμορφώνουν ένα ανανεωμένο πλαίσιο κανονιστικών ρυθμίσεων για την DR στην Ευρώπη, χτίζοντας πάνω στις οδηγίες του πακέτου καθαρής ενέργειας για όλους τους Ευρωπαίους.

Όπως αναφέρεται στα έγγραφα [77] και [78], η μετάβαση από τις οδηγίες και τους κανονισμούς για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας του 2019 στις τροποποιήσεις του 2024 καθοδηγήθηκε κυρίως από την ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι ελλείψεις που αποκαλύφθηκαν κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης που ξεκίνησε το 2021. Η κρίση αυτή, η οποία επιδεινώθηκε από τον πόλεμο της Ρωσίας κατά της Ουκρανίας, αποκάλυψε τρωτά σημεία στον σχεδιασμό της ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως σε σχέση με τις υψηλές και ασταθείς τιμές των ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, η κλιμάκωση του ρωσικού πολέμου κατά της Ουκρανίας διατάραξε τις παγκόσμιες ενεργειακές αγορές, προκαλώντας αβεβαιότητα στην προμήθεια αγαθών, όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και το πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή, ενώ συνολικά η κρίση εξέθεσε τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις σε σημαντικές αυξήσεις τιμών, γεγονός που κατέστησε αναγκαία τη βελτίωση των δικαιωμάτων και των μέτρων προστασίας των καταναλωτών. Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και η κλιματική κρίση, με την ανάγκη ταχείας ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ευρωπαϊκή αγορά να είναι επιτακτική, όχι μόνο ως εναλλακτική για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά και ως εργαλείο προς μια 'πράσινη' Ευρώπη.

Το ανανεωμένο πλαίσιο που διαμορφώνεται εισάγει τις εξής αλλαγές:

- 1. Βελτιωμένη πρόσβαση του DR στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας:**
Το ελάχιστο μέγεθος προσφοράς για την ημερήσια και ενδοημερήσια αγορά μειώνεται σε 100 kW ή λιγότερο, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη συμμετοχή της απόκρισης-ζήτησης, της αποθήκευσης ενέργειας και των ΑΠΕ μικρής κλίμακας. Επιπλέον, οι καταναλωτές αποκτούν το δικαίωμα να έχουν πολλαπλούς προμηθευτές και σημεία μέτρησης σε ένα μόνο σημείο σύνδεσης, επιτρέποντας χωριστές συμβάσεις προμήθειας για συσκευές υψηλής κατανάλωσης ή ευέλικτες συσκευές, όπως αντλίες θερμότητας και ηλεκτρικά οχήματα.
- 2. Εισαγωγή της έννοιας του "Peak Shaving":** Τα κράτη μέλη μπορούν να ζητούν από τους διαχειριστές συστημάτων να προτείνουν την προμήθεια προϊόντων Peak Shaving κατά τη διάρκεια κηρυγμένων κρίσεων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας (βλ. υποκεφάλαιο 3.2.2). Περιγράφονται αυστηρές αρχές σχεδιασμού, για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με την αγορά και να αποφευχθούν στρεβλώσεις.
- 3. Χρήση ειδικών συσκευών μέτρησης:** Οι διαχειριστές συστημάτων και οι συμμετέχοντες στην αγορά μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα από ειδικές συσκευές μέτρησης ώστε να παρατηρούν τις υπηρεσίες ευελιξίας και να εξασφαλίζουν την

συμμόρφωση με τους διακανονισμούς DR, πάντα με τη συγκατάθεση του πελάτη. Η διάταξη αυτή είναι ιδίως χρήσιμη, όταν δεν έχουν εγκατασταθεί ακόμη έξυπνοι μετρητές ή δεν παρέχουν επαρκή κοχκομετρική ανάλυση των δεδομένων.

4. **Αξιολόγηση αναγκών ευελιξίας:** Οι ρυθμιστικές αρχές οφείλουν να αξιολογούν περιοδικά τις εθνικές ανάγκες ευελιξίας, με βάση τις πληροφορίες από τους διαχειριστές του συστήματος. Τα κράτη-μέλη πρέπει να καθορίσουν ενδεικτικούς εθνικούς στόχους για την ευελιξία χωρίς ορυκτά καύσιμα, με ειδικές αναφορές στη συνεισφορά της απόκρισης στη ζήτηση και της αποθήκευσης ενέργειας.
5. **Ενδυνάμωση των καταναλωτών:** Οι καταναλωτές πρέπει πλέον να έχουν πρόσβαση σε ευρύτερο φάσμα προσφορών, συμπεριλαμβανομένων των συμβάσεων σταθερής τιμής και των συμβάσεων δυναμικής τιμής. Ακόμη εισάγονται ρυθμίσεις επιμερισμού της ενέργειας, οι οποίες επιτρέπουν στους ενεργούς πελάτες να μοιράζονται την πλεονάζουσα παραγωγή και να ενδυναμώνουν άλλους καταναλωτές προκειμένου να γίνουν ενεργοί συμμετέχοντες.

Το νέο πλαίσιο επιδιώκει να διασφαλίσει ότι τα οφέλη από την αυξανόμενη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μετακυλίνουν στους καταναλωτές, να μετριάσει τον αντίκτυπο των υψηλών τιμών των ορυκτών καυσίμων στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και, τελικά, να θωρακίσει τους καταναλωτές από μελλοντικές ενεργειακές κρίσεις. Αποσκοπεί, επίσης, στην υποστήριξη των ευρύτερων στόχων της Ένωσης για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας, μέσω ενός πιο ολοκληρωμένου και ευέλικτου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3.3 Επόμενα βήματα: Νέος Κώδικας Δικτύου για την Απόκριση-Ζήτηση

Στις 8 Μαΐου 2024, η Ευρωπαϊκή Οντότητα Διαχειριστών Συστημάτων Διανομής (EU DSO Entity) και το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E) υπέβαλαν κοινή πρόταση για έναν κώδικα δικτύου ειδικά για την απόκριση ζήτησης [79] στον ACER. Ο προτεινόμενος κώδικας δικτύου για την απόκριση ζήτησης αποσκοπεί στη θέσπιση ενός ολοκληρωμένου ρυθμιστικού πλαισίου για την ενσωμάτωση της απόκρισης ζήτησης, της αποθήκευσης ενέργειας και της κατανεμημένης παραγωγής στις ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένες βασικές πτυχές της πρότασης ακολουθούν παρακάτω:

1. **Ενσωμάτωση στην αγορά και μη διάκριση:** Ο κώδικας επιδιώκει την άρση των εμποδίων για τη συμμετοχή των πόρων από την πλευρά της ζήτησης στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, διασφαλίζοντας τον θεμιτό ανταγωνισμό και την αποτελεσματική λειτουργία της αγοράς. Δίνει έμφαση στη μη διάκριση και την τεχνολογική ουδετερότητα, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά της απόκρισης στη ζήτηση, της αποθήκευσης ενέργειας και της κατανεμημένης παραγωγής.

2. **Ορισμός μοντέλων συγκέντρωσης:** Δίνεται σημαντική έμφαση στον καθορισμό μοντέλων συγκέντρωσης που επιτρέπουν στους παρόχους υπηρεσιών να συνδυάζουν πολλαπλές ελεγχόμενες μονάδες για συμμετοχή στις αγορές εξισορρόπησης και τοπικών υπηρεσιών.
3. **Καθορισμός τεχνολογιών βάσης:** Η πρόταση θεσπίζει αρχές για την ανάπτυξη μεθοδολογιών βάσης, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τη μέτρηση και την επαλήθευση της απόδοσης της απόκρισης ζήτησης. Επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών μεθόδων καθορισμού βάσης, ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας και τον σχεδιασμό της αγοράς, ενώ παράλληλα παρέχει ένα πλαίσιο για την πρόταση και την έγκριση νέων προσεγγίσεων.
4. **Εγκαθίδρυση τοπικών αγορών και συντονισμός των διαχειριστών του συστήματος:** Ο κώδικας εισάγει διατάξεις για την ανάπτυξη τοπικών αγορών για την αντιμετώπιση προβλημάτων συμφόρησης και τάσης στα δίκτυα διανομής. Τονίζει, επίσης, την ανάγκη για βελτιωμένο συντονισμό μεταξύ των διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς και διανομής κατά τη διαχείριση αυτών των πόρων.
5. **Εισαγωγή μητρώου ευελιξίας:** Μια βασική καινοτομία είναι η έννοια του μητρώου ευελιξίας, το οποίο θα χρησιμεύσει ως σύστημα πληροφοριών για την καταγραφή και διαχείριση δεδομένων που σχετίζονται με τους πόρους απόκρισης στη ζήτηση και τη συμμετοχή τους σε διάφορες υπηρεσίες.
6. **Εφαρμογή και εναρμόνιση:** Η πρόταση περιγράφει τις διαδικασίες για την ανάπτυξη εθνικών όρων και προϋποθέσεων, ενώ επιπλέον περιλαμβάνει διατάξεις για την παρακολούθηση και ενδεχομένως την περαιτέρω εναρμόνιση των πρακτικών απόκρισης-ζήτησης μεταξύ των κρατών μελών, καθώς εξελίσσεται η αγορά.

Ο εν λόγω κώδικας δικτύου αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη δημιουργία ενός πιο ευέλικτου και ολοκληρωμένου ευρωπαϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα είναι σε θέση να φιλοξενήσει το αυξανόμενο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να δώσει στους καταναλωτές τη δυνατότητα να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά ενέργειας.

Η ACER αναμένεται να προβεί σε διαβούλευση σχετικά με την πρόταση και να την υποβάλει προς έγκριση στην Ευρωπαϊκή επιτροπή την άνοιξη του 2025, με απώτερο σκοπό την εφαρμογή του νέου κώδικα πανευρωπαϊκά, την άνοιξη του 2027.

3.4 Η Απόκριση-Ζήτηση στην Ελλάδα

Η έννοια της απόκρισης στη ζήτηση στην Ελλάδα καθυστερεί να εφαρμοστεί, σε σχέση με τις αρχικές ευρωπαϊκές οδηγίες του 2019, με την πρώτη ρητή αναφορά σε εφαρμογή του DR να παρατηρείται από ελληνική αρχή το 2021. Παρόλα αυτά, στα προηγούμενα χρόνια διαμορφώνεται μέσω πλάνων και οδηγιών ένα κλίμα εύκρατο, ώστε να ορθοποδήσει αργότερα η έννοια της απόκρισης ζήτησης.

Συγκεκριμένα, με το «Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα(ΕΣΕΚ)(2019) [80], επιδεικνύονται οι διαθέσεις εκσυγχρονισμού της ελληνικής αγοράς ενέργειας και της συμπεριφοράς των ενεργειακών παρόχων και καταναλωτών. Πιο λεπτομερώς, το σχέδιο στοχεύει στην προώθηση συστημάτων ευελιξίας, αποθήκευσης και απόκρισης για τη διασφάλιση της επάρκειας ισχύος της Ελλάδας. Μάλιστα, αυτό αναφέρεται ως μια από τις βασικές προτεραιότητες πολιτικής για την ενεργειακή ασφάλεια. Επιπλέον, απαιτεί την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων, σημαντικό εργαλείο για την μετέπειτα εφαρμογή απόκρισης στη ζήτηση. Τα έξυπνα δίκτυα αναφέρονται ως μια από τις προτεραιότητες για την έρευνα, την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα. Δίνεται ακόμη έμφαση στην ψηφιοποίηση των ενεργειακών δικτύων, η οποία είναι απαραίτητη για την εφαρμογή απόκρισης στη ζήτηση. Τέλος, δίνεται έμφαση στην ενίσχυση του ρόλου των καταναλωτών και της συμμετοχής τους στην αγορά ενέργειας, σε συμφωνία με τη λειτουργία του DR.

Τον Ιούλιο του 2021, η ελληνική κυβέρνηση, σε συμμόρφωση με τον κανονισμό 2019/943[75] της ΕΕ, παρέδωσε στην Κομισιόν πλάνο για την εξάλειψη των κανονιστικών στρεβλώσεων και των στρεβλώσεων της ελληνικής αγοράς ενέργειας. Στο πλάνο αυτό, αναγνωρίζεται πως δεν υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής μηχανισμών DR για τις αγορές ημερήσιας και ενδοημερήσιας ζήτησης στην Ελλάδα. Παρόλα αυτά, ορίζεται πως το ρυθμιστικό πλαίσιο, τα συστήματα πληροφορικής και η κατάλληλη υποδομή μέτρησης για να επιτραπεί η εφαρμογή μηχανισμών DR στην Ελλάδα σχεδιάζεται να δημιουργηθούν έως τον Φεβρουάριο του 2022. Μέχρι τον Φεβρουάριο του 2022, η Ελλάδα δεσμεύτηκε να αναπτύξει ένα πλαίσιο συγχέντρωσης ζήτησης, συμπεριλαμβανομένων ρυθμιστικών θεμάτων, αδειοδότησης, απαιτήσεων μέτρησης, αρμοδιοτήτων και δεσμεύσεων. Η Κομισιόν, με γνωμοδότηση σχετικά με το κατά πόσο τα προτεινόμενα μέτρα και το χρονοδιάγραμμα θέσπισής τους είναι επαρκή [81], παρότρυνε την ελληνική κυβέρνηση (α) να καθορίσει τις προϋποθέσεις και να παρέχει ακριβές χρονοδιάγραμμα για μια βιώσιμη λύση, που θα επιτρέπει την εφαρμογή DR στις αγορές εξισορρόπησης, άμεσα ή μέσω συγκεντρωτών (βλ. πλαίσιο 8), (β) να εφαρμόσει, το συντομότερο δυνατό, διατάξεις που επιτρέπουν στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση σε συμβάσεις δυναμικών τιμών και (γ) να εξετάσει το ενδεχόμενο να επιτραπεί η συμμετοχή του DR στην αυτόματη εφεδρεία αποκατάστασης συχνότητας (aFRR), το αργότερο έως τον Σεπτέμβριο του 2022.

Τον Οκτώβριο του 2022, εφαρμόζεται ο Ν. 4986/2022, με τον οποίο ενσωματώνεται η Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019, σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την τροποποίηση της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ και άλλων επειγουσών διατάξεων. Ο νόμος στοχεύει

στη δημιουργία μιας πιο ανταγωνιστικής, ευέλικτης και επικεντρωμένης στον καταναλωτή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με την απόκριση ζήτησης να παίζει κεντρικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων. Οι κύριες ρυθμίσεις του Ν. 4986/2022 είναι οι εξής:

1. **Θεσμοθέτηση DR:** Θεσμοθετεί τη σύμβαση παροχής υπηρεσιών απόκρισης ζήτησης, με την προσθήκη άρθρου 48B στον Ν. 4001/2011 και προβλέπει τη συμμετοχή της απόκρισης ζήτησης στην αγορά εξισορρόπησης. Ακόμη, προωθεί την απόκριση ζήτησης ως μέσο για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο.
2. **Ενεργή Συμμετοχή Καταναλωτών:** Επιτρέπει στους τελικούς πελάτες να αγοράζουν και να πωλούν υπηρεσίες ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της συσσωρευτικής εκπροσώπησης, ανεξάρτητα από τη σύμβαση προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, δίνει στους καταναλωτές τη δυνατότητα να συμμετέχουν στη χονδρεμπορική αγορά, μέσω φορέων σωρευτικής εκπροσώπησης (ΦοΣΕ), υποβάλλοντας προσφορές για περικοπές φορτίων έναντι αμοιβής. Οι ΦοΣΕ εκπροσωπούν ομάδες καταναλωτών στην αγορά εξισορρόπησης και διευκολύνουν τη συμμετοχή τους. Λειτουργούν ως διαμεσολαβητές μεταξύ καταναλωτών και παρόχων ενέργειας. Επιπλέον, καλούν τους καταναλωτές να προσαρμόσουν τη ζήτησή τους σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τα σήματα της αγοράς.
3. **Υποστήριξη Ψηφιακής Υποδομής και Διαφάνειας:** Ενισχύει τη διαφάνεια των λογαριασμών ρεύματος και την προστασία των δεδομένων κατανάλωσης σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων και προβλέπει την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων και την εγκατάσταση ψηφιακών μετρητών που επιτρέπουν την αυτόματη απόκριση σε σήματα της αγοράς.

Σχετικά με μελλοντικές εξελίξεις, τον Αύγουστο του 2024, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας εξέδωσε την αναθεωρημένη έκδοση του ΕΣΕΚ, σε συμφωνία με τον κανονισμό 2018/1999 της ΕΕ [82] που απαιτεί την περιοδική επικαιροποίηση των ΕΣΕΚ από τα κράτη-μέλη. Το σχέδιο αυτό στοχεύει στην προετοιμασία της Ελλάδας για την προσαρμογή στους νέους, πιο φιλόδοξους στόχους της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αύξησης του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2030, ενώ προσαρμόζεται και στις νέες προκλήσεις της ενεργειακής κρίσης και της μεγαλύτερης ανάγκης για ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία. Όσον αφορά στην απόκριση ζήτησης, η ευρεία χρήση της αναγνωρίζεται από το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ ως εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος και τη μείωση του κόστους ενέργειας, ειδικά σε ένα περιβάλλον αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ. Αναλυτικότερα, σχετικά με τη DR αναφέρεται πως προβλέπεται σημαντική αύξηση της απόκρισης ζήτησης στη βιομηχανία κατά την περίοδο 2030-2040, πως θα μετατεθεί η ζήτηση προς τις ώρες (υπερ)παραγωγής ΑΠΕ, μειώνοντας συνολικά τα κόστη για το σύστημα και πως προβλέπεται η ολοκλήρωση της εγκατάστασης έξυπνων μετρητών σε όλους τους καταναλωτές ηλεκτρισμού μέχρι το 2030, ώστε να καταστεί δυνατή η εφαρμογή Real Time Pricing DR [83].

3.5 Πρακτική Χρήση DR

Ο παρακάτω πίνακας συγκεντρώνει πληροφορίες από δεκαεννέα άρθρα πρόσφατης βιβλιογραφίας, τα οποία εφαρμόζουν ή σχεδιάζουν προγράμματα DR σε ποικίλα πλαίσια. Συγκεκριμένα, για κάθε άρθρο σημειώνεται ο πρώτος συγγραφέας και η ημερομηνία δημοσίευσής του, το πρόγραμμα DR που χρησιμοποιείται, τα εργαλεία hardware και Software που αξιοποιούνται ώστε να εφαρμοστεί το πρόγραμμα DR και ο τομέας εφαρμογής του.

Ref.	Πρόγραμμα DR	Τεχνολογίες DR		Τομέας Εφαρμογής
		Hardware	Software	
Wang και συν. (2024)[84]	Real-time Pricing		- Thermal mass utilization - Hierarchical nonlinear model for predictive control	Residential buildings
Harsh και συν. (2024)[85]	Incentive-Based		Time-slot Registration	Virtual Power Plants
Saif και συν. (2023)[86]	Time of Use Pricing	Residential Energy Storage Systems	P2P energy transactions	Smart homes and community based electricity markets
Bahloul και συν. (2022)[87]	Time of Use Pricing	Energy Storage		Residential buildings
Gao και συν. (2023)[88]	Real-Time Pricing	Substation level disaggregation		Residential buildings
Eisele και συν. (2024)[89]	Both Implicit & Explicit	Advanced Metering Infrastructure for real-time data communication	- Cloud-based platforms for coordination and management - Control and optimization algorithms	Energy Communities

Ref.	Πρόγραμμα DR	Τεχνολογίες DR		Τομέας Εφαρμογής
		Hardware	Software	
Barnabé και συν. (2024)[90]	Does not require active user participation		• Smart Charging algorithm	Electric Vehicle Charging Stations
Li και συν. (2024)[91]	Price-based for medium and long term and incentive based with day-ahead market	• Energy Storage		Renewable Energy electricity market
Swami και συν. (2024)[92]	Combined Time of Use and Direct Load Control		• GAMS software for real-time optimization • Unit commitment and economic dispatch models	Insular Microgrids
Wang, Wang και συν. (2024)[93]	Incentive & Price-based		• AI techniques	Smart energy systems
Yuxin και συν. (2021)[94]	Real-Time Pricing		• NSGA-II algorithm for optimization of electricity cost	Residential smart grids
Kanakadhurga και συν. (2024)[95]	Time of Use Pricing, Block Pricing, Real-Time Pricing		• Binary dragonfly algorithm • P2P energy trading	Residential microgrids
Kandpal και συν. (2024)[96]	Day-ahead market	• Battery energy storage system	• Support Vector Machine classification	Energy communities

Ref.	Πρόγραμμα DR	Τεχνολογίες DR		Τομέας Εφαρμογής
		Hardware	Software	
Li, Zhang και συν. (2024)[97]	Real-Time Pricing	Hydrogen Storage		Hydrogen-based renewable microgrids
Wan και συν. (2022)[98]	PB-RDRM		Reinforcement learning	Residential smart grids with charging EVs
Nokandi και συν. (2024)[99]	Price-based		P2P trading	Wind power electricity markets
Lyu-Guang και συν. (2024)[100]	Day-ahead pricing		Multi-Objective Wind-Driven optimization algorithm	Smart Grids
Jawad και συν. (2024)[101]	Price-based & Incentive based		- Non-cooperative game theory - Nash Equilibrium strategies	Community microgrid
Langner και συν. (2024)[69]	Dynamic Pricing	Hot water storage	EPSC+ rule-based control algorithm	Building clusters

Πίνακας 3.1: Βιβλιογραφική ανασκόπηση πρακτικών εφαρμογών DR

Ακολουθεί μία πιο λεπτομερής ανάλυση των παραπάνω ερευνών:

Οι Wang και συν. (2024) προτείνουν ένα πλαίσιο ιεραρχικού μη γραμμικού ελέγχου μοντέλου πρόβλεψης (HNLMP) για την DR σε οικιστικά κτήρια με κλιματιστικά inverter (AC). Το σύστημα ανταποκρίνεται σε σήματα τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο για τη μετατόπιση του φορτίου αιχμής και τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Real-time pricing). Οι κύριοι μηχανισμοί που αξιοποιούνται για την υλοποίηση του DR προγράμματος είναι οι εξής:

- Αξιοποίηση θερμικής μάζας:** Ο ελεγκτής αξιοποιεί τη θερμική αδράνεια του κτηρίου για τη φόρτιση και την εκφόρτιση της ψύξης, επιτρέποντας τη μετατόπιση του

φορτίου χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση.

- **Βέλτιστος έλεγχος εναλ/νου ρεύματος:** Η χρήση HNLMPC βελτιστοποιεί τη λειτουργία του εναλλασσόμενου ρεύματος μετατροπέα, προσαρμόζοντας τα σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας δωματίου, με βάση τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και τους περιορισμούς θερμικής άνεσης

Οι μέθοδοι εφαρμογής των παραπάνω επιτρέπουν τη λειτουργικότητα plug-and-play, χρησιμοποιώντας τα σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα ως μεταβλητή ελέγχου, αποφεύγοντας τροποποιήσεις στην υπάρχουσα λογική ελέγχου εναλλασσόμενου ρεύματος και μειώνοντας την εξάρτηση από την τοπική υπολογιστική ισχύ μέσω επικοινωνίας cloud ή Internet of Things (IoT)

Οι Harsh και συν. (2024) [85] προτείνουν ένα πρόγραμμα DR με κίνητρα για έναν φορέα εκμετάλλευσης που ενσωματώνει σταθμούς παραγωγής με ηλιακή ενέργεια, σταθμούς ανταλλαγής μπαταριών, σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και καταναλωτές με ελεγχόμενα φορτία. Το πρόγραμμα DR χρησιμοποιεί τα ηλεκτρικά οχήματα σε σταθμούς φόρτισης ως ευέλικτους ενεργειακούς πόρους. Οι βασικοί μηχανισμοί είναι οι εξής:

- **Χρέωση βάσει προτεραιότητας:** Υπολογίζεται ένας παράγοντας προτεραιότητας για κάθε EV, με βάση την κατάσταση φόρτισης, τον απαιτούμενο χρόνο φόρτισης και την ώρα αναχώρησης. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να δίνει προτεραιότητα στα EV με πιο επείγουσες ανάγκες φόρτισης.
- **Συντονισμένη λειτουργία G2V/V2G:** Τα EVs μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικές καταστάσεις, σε κατάσταση αδράνειας, μη συντονισμένη G2V (Grid-to-Vehicle) και συντονισμένη G2V/V2G (Vehicle-to-Grid). Η συντονισμένη λειτουργία επιτρέπει την ελεγχόμενη φόρτιση για την ελάφρυνση της επιβάρυνσης του δικτύου.
- **Χρονοπρογραμματισμός βάσει τιμών:** Ένας δυαδικός παράγοντας τιμολόγησης χρησιμοποιείται για την απαγόρευση της φόρτισης EV κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής τιμών, ελαχιστοποιώντας τα έξοδα φόρτισης.
- **Δομή κινήτρων:** Οι χρήστες σταθμών φόρτισης λαμβάνουν κίνητρα από τον φορέα εκμετάλλευσης με τη μορφή μειωμένων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας για τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα DR.

Το πρόγραμμα DR περιλαμβάνει επίσης καταναλωτές με ελεγχόμενα φορτία. Οι καταναλωτές έχουν το ελεύθερο να συμμετάσχουν εθελοντικά στο πρόγραμμα, ενώ ακόμα δίνεται δυνατότητα εγγραφής σε χρονοθυρίδες περιοχής φορτίου. Το φορτίο μετατοπίζεται από τον διαχειριστή του VPP, βάσει των τιμών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η πιθανή δυσφορία των καταναλωτών, λόγω της μετατόπισης φορτίου, η οποία εκφράζεται μαθηματικά ως κόστος δυσφορίας. Η εφαρμογή αυτού του προγράμματος DR αποσκοπεί στην επίτευξη πολλαπλών στόχων, συμπεριλαμβανομένης της μεγιστοποίησης

του κέρδους του φορέα εκμετάλλευσης VPP, της ελαχιστοποίησης των ενεργειακών δαπανών για τους συμμετέχοντες, της μείωσης της υποβάθμισης της μπαταρίας και της δυσφορίας των καταναλωτών, καθώς και της μείωσης της εξάρτησης από το δίκτυο κοινής ωφέλειας. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια στοχαστική προσέγγιση βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων για την εξισορρόπηση αυτών των διαφόρων συμφερόντων των ενδιαφερομένων στο πλαίσιο ενός VPP.

Οι Saif και συν. (2024) [86] εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο μηχανισμοί DR, οι οποίοι εφαρμόζονται μέσω συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και υποστηρίζονται από την έξυπνη κοινοτική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας SCEM, επηρεάζουν τα οφέλη για τα έξυπνα σπίτια, καθώς τα μεταλλάσσουν από ενεργειακό παθητικό σε ενεργειακό ενεργό συμμετέχοντα στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πρωταρχικός μηχανισμός DR που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μελέτη είναι τα οικιακά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Ως οικιακές μονάδες αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται μπαταρίες ιόντων λιθίου. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της DR μέσω δύο κύριων στρατηγικών:

- **Αυτοκατανάλωσης:** Τα συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούνται για τη μεγιστοποίηση της αυτοκατανάλωσης της τοπικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα στέγης
- **Αρμπιτράζ ενέργειας:** Τα συστήματα αποθήκευσης αξιοποιούν τη διαφορική τιμολόγηση στη λιανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας διαχρονικά για την εκτέλεση ενεργειακού αρμπιτράζ. Αυτό καθίσταται εφικτό από τη δομή των τιμολογίων χρόνου χρήσης (TU) με διαφορετικές τιμές ημέρας και νύχτας

Όλα τα παραπάνω ενισχύονται με τη συμμετοχή στη SCEM. Παρότι δεν αποτελεί η ίδια μηχανισμό DR, η SCEM επιτρέπει πρόσθετη ευελιξία για έξυπνα σπίτια με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Επιτρέπει τις συναλλαγές ενέργειας μεταξύ ομοτίμων (P2P) εντός της κοινότητας, ενισχύοντας περαιτέρω τα οφέλη από την εφαρμογή της DR και ενισχύει την κατανάλωση τοπικής πράσινης ενέργειας, σε σύγκριση με την ατομική διαχείριση ενέργειας σε μεμονωμένα σπίτια.

Οι Bahloul και συν. (2022)[87] περιγράφουν μια λύση ιεραρχικού ελέγχου για οικιακά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο την ελαχιστοποίηση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας στο πλαίσιο ενός συστήματος τιμολόγησης Time of Use. Το πρόγραμμα ToU χρησιμοποιεί ένα σύστημα τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας ημέρας/νύχτας με δύο ζώνες ώρας. Η ιεραρχική λύση ελέγχου αποτελείται από δύο επίπεδα:

Το επίπεδο ελεγκτή εκτός λειτουργίας, το οποίο υλοποιείται στο σύννεφο, και το επίπεδο τοπικού ελεγκτή πραγματικού χρόνου, που εφαρμόζεται στο οικιακό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Ο ελεγκτής εκτός λειτουργίας εκτελεί βελτιστοποίηση για την επόμενη ημέρα, χρησιμοποιώντας την προβλεπόμενη ζήτηση και τη φωτοβολταϊκή παραγωγή και δημιουργεί το βέλτιστο προφίλ αναφοράς κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας. Ο τοπικός ελεγκτής παρακολουθεί την αναφορά κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας, ενώ αντιμετωπίζει περιορισμούς πραγματικού χρόνου και αβεβαιότητες πρόβλεψης και διαχειρίζεται τις ροές ισχύος μεταξύ φορτίου, μπαταρίας, φωτοβολταϊκών και δικτύου. Επιπλέον, ο ελεγκτής

πραγματικού χρόνου εφαρμόζει διαφορετικές στρατηγικές, ανάλογα με τη ζώνη ώρας, με σκοπό τη μετατόπιση φορτίου με την αποθήκευση ενέργειας κατά τις ώρες εκτός αιχμής και τη χρήση της κατά τις ώρες αιχμής. Το σύστημα υλοποιήθηκε και δοκιμάστηκε, πετυχαίνοντας λειτουργία σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, σε ένα έργο επίδειξης με την ονομασία StoreNet, που βρίσκεται στην Ιρλανδία.

Οι Gao και συν. (2023)[88] εστιάζουν στη διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης, μέσω της ευέλικτης κατανομής φορτίου σε επίπεδο υποσταθμού, με ιδιαίτερη έμφαση στα θερμοστατικά ελεγχόμενα φορτία (TCL). Συγκεκριμένα, προτείνεται ένας αλγόριθμος εκμάθησης από ακολουθία σε σημείο με αντιδιαστολή για ευέλικτη διαίρεση φορτίου σε επίπεδο υποσταθμού, στοχεύοντας ειδικά σε TCLs, όπως κλιματιστικά, συστήματα HVAC και φούρνους. Η προσέγγιση αυτή επιλέγεται λόγω του μεγάλου ποσοστού και της υψηλής ελαστικότητας των TCLs στα οικιακά ευέλικτα φορτία, που τα καθιστούν ιδανικούς υποψήφιους για προγράμματα DR. Η εφαρμογή αυτού του μηχανισμού DR βασίζεται στον διαχωρισμό σε επίπεδο υποσταθμού.

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μη παρεμβατική παρακολούθηση του φορτίου σε επίπεδο νοικοκυριού, η προσέγγιση αυτή διαχωρίζει τα ευέλικτα φορτία σε επίπεδο υποσταθμού, διατηρώντας την ιδιωτικότητα των κατοικιών και μειώνοντας το κόστος των εγκαταστάσεων. Ακόμη, ο αλγόριθμος βασίζεται σε μετρήσεις χαμηλής συχνότητας σε επίπεδο υποσταθμού, καθιστώντας τον πιο πρακτικό για εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα. Για τη διασφάλιση της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας, χρησιμοποιείται μια αντιθετική δομή μάθησης από ακολουθία σε σημείο για την εξαγωγή βαθιών σχέσεων μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν και των ευέλικτων φορτίων, καθώς και μετεωρολογικοί παράγοντες, ως βοηθητικά δεδομένα εισόδου για την αρχιτεκτονική μάθησης.

Τέλος, χρησιμοποιούνται SHapley Additive exPlanations (SHAP), για να εξασφαλιστεί η βελτιστοποίηση και η ερμηνευσιμότητα του αλγορίθμου, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη συμβολή των διαφόρων παραγόντων επίδρασης. Η έρευνα αποσκοπεί στην ακριβή εκτίμηση του ποσοστού των ευέλικτων πόρων, ιδίως των TCL, από το επίπεδο του υποσταθμού. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη στρατηγικών τιμολόγησης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και έξυπνων προγραμμάτων DR, βελτιστοποιώντας τη διανομή ενέργειας και προωθώντας την αποδοτική και βιώσιμη κατανάλωση ενέργειας.

Οι Eisele και συν. (2024)[89], παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ετοιμότητας της τεχνολογίας απόκρισης στη ζήτηση (DR) για τις ισπανικές ενεργειακές κοινότητες, με τη χρήση της μεθοδολογίας αξιολόγησης του ισορροπημένου επιπέδου ετοιμότητας. Οι συγγραφείς αξιολογούν πέντε βασικές διαστάσεις, με μέγιστη βαθμολογία να είναι το 10:

1. **Επίπεδο τεχνολογικής ετοιμότητας:** Αξιολογείται στο 9, υποδεικνύοντας ότι η τεχνολογία DR είναι πλήρως λειτουργική και αποδεδειγμένη σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου. Βασικά στοιχεία, όπως τα ελεγχόμενα φορτία, η προηγμένη υποδομή μέτρησης και οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι διαθέσιμα και λειτουργικά.

2. **Επίπεδο ρυθμιστικής ετοιμότητας:** Βαθμολογείται στο 7, υποδηλώνοντας ότι οι απαραίτητες εγκρίσεις για την εφαρμογή της DR είναι κοντά, αλλά δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί πλήρως. Ενώ η Ισπανία έχει σημειώσει πρόοδο στην ευθυγράμμιση με τις ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμοί, ιδίως για τα μικρότερα φορτία στις αγορές εξισορρόπησης.
3. **Επίπεδο ετοιμότητας της αγοράς:** Διαχωρίζεται σε δύο αξιολογήσεις, μία για implicit και μία για explicit DR. Για την implicit DR βαθμολογείται στο 7, με ευρεία υιοθέτηση δυναμικών τιμολογίων, όπως το PVPC (precio voluntario para el pequeño consumidor). Για την explicit DR βαθμολογείται στο 5, υποδεικνύοντας λιγότερο ανεπτυγμένη υποδομή αγοράς, λόγω κανονιστικών περιορισμών.
4. **Επίπεδο ετοιμότητας αποδοχής:** Αξιολογείται στο 7, με βάση μελέτες που αποδεικνύουν αποτελεσματικές στρατηγικές DR και δυνητική ενσωμάτωση στις Ενεργειακές Κοινότητες. Ωστόσο, σημειώνονται ανησυχίες σχετικά με την ταλαιπωρία των καταναλωτών και την ανάγκη για φιλικές προς το χρήστη διεπαφές.
5. **Επίπεδο οργανωτικής ετοιμότητας:** Δεν έχει συγκεκριμένη βαθμολογία, καθώς απαιτεί ατομική αξιολόγηση από τις ενεργειακές κοινότητες. Το άρθρο παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση της οργανωτικής ετοιμότητας, συμπεριλαμβανομένης της δέσμευσης της ηγεσίας, των εσωτερικών δυνατοτήτων, της ευαισθητοποίησης σε θέματα κανονισμών και των οικονομικών πόρων.

Οι συγγραφείς καταλήγουν σε μια συνολική βαθμολογία BRL 7,25 για την τεχνολογία DR στις ισπανικές ενεργειακές κοινότητες. Επισημαίνουν τη δυνατότητα της DR να συμβάλει στην ενεργειακή ευελιξία και τη συμμετοχή στην αγορά, ενώ παράλληλα εντοπίζουν τα εναπομείναντα εμπόδια, ιδίως στα ρυθμιστικά πλαίσια και τις δομές της αγοράς για την explicit DR.

Οι Barnabé και συν. (2024)[90] εξετάζουν μια μη παρεμβατική στρατηγική διαχείρισης της απόκρισης στη ζήτηση (DRM) που έχει σχεδιαστεί για να μετριάσει τις επιπτώσεις της φόρτισης EVs στα συστήματα διανομής. Προτείνεται ένας αλγόριθμος έξυπνης φόρτισης που λαμβάνει υπόψη την απόκριση της ζήτησης του δικτύου. Η στρατηγική DRM δίνει έμφαση σε μη παρεμβατικά μέτρα που δεν επηρεάζουν σημαντικά τους τελικούς καταναλωτές. Επικεντρώνεται στις χρονικές μετατοπίσεις των λειτουργιών φόρτισης εντός του χρόνου σύνδεσης, επιτρέποντας τη μετατόπιση της ζήτησης σε ώρες εκτός αιχμής, χωρίς σημαντική ταλαιπωρία των χρηστών. Για τον κατάλληλο σχεδιασμό της στρατηγικής, οι ερευνητές δημιούργησαν τεχνητούς στόλους EVs, με χρήση δειγματοληψίας EVs, με βάση τα πρότυπα φόρτισης του πραγματικού κόσμου, τους οποίους ύστερα διένειμαν εντός του συστήματος δοκιμής για την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στη ροή ισχύος. Αποδεικνύεται πως, ακόμη και σε μικρό μέγεθος στόλου EVs, η φόρτιση EV συμβάλλει στην αύξηση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτυγχάνει μείωση της ζήτησης κατά 9-11% στην περιοχή αιχμής, ενώ σημειώνεται ακόμα πως οι μικρότεροι στόλοι απαιτούν περίπου 47%

συμμετοχή για την επίτευξη των στόχων DRM, ενώ οι μεγαλύτεροι χρειάζονται μόνο περίπου 15% συμμετοχή.

Οι Li και συν. (2024)[91] παρουσιάζουν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης δύο σταδίων για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας λιανικής, με στόχο την ανάπτυξη διαφοροποιημένων στρατηγικών τιμολόγησης, που δίνουν κίνητρα σε πολλούς τύπους χρηστών να συμμετέχουν στην DR για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στο πρώτο στάδιο, το μοντέλο βελτιστοποιεί τη στρατηγική αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας του παρόχου στη μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη αγορά. Οι πάροχοι χρησιμοποιούν μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας για να συμμετέχουν στην PBDR, μετατοπίζοντας τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας από περιόδους με υψηλές τιμές σε περιόδους με χαμηλές τιμές, ώστε να ελαχιστοποιήσει το κόστος, καλύπτοντας παράλληλα τη συνολική ζήτηση φορτίου.

Στο δεύτερο στάδιο, κατασκευάζεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων για την αγορά της επόμενης ημέρας. Στο ανώτερο στρώμα, ο πάροχος συμμετέχει στην IBDR με μεταβλητές τιμές κινήτρων που αυξάνονται με την ποσότητα απόκρισης. Ο πάροχος ορίζει, επίσης, διαφοροποιημένες τιμές για διαφορετικούς τύπους χρηστών. Στο κατώτερο στρώμα, πολλαπλοί τύποι χρηστών (βιομηχανικοί, εμπορικοί και οικιακοί) προσαρμόζουν την κατανάλωσή τους σε ηλεκτρική ενέργεια, για να μεγιστοποιήσουν τη συνδυασμένη ικανοποίησή τους, λαμβάνοντας υπόψη την άνεση αλλά και τους οικονομικούς παράγοντες. Η μελέτη ενσωματώνει τους παραγωγούς ενέργειας, τους παρόχους, τους πολλαπλούς τύπους χρηστών και την αποθήκευση ενέργειας σε ένα ενοποιημένο πλαίσιο βελτιστοποίησης. Κατασκευάζει ένα διαφοροποιημένο μοντέλο τιμολόγησης που λαμβάνει υπόψη τις οικονομικές προτιμήσεις και τις προτιμήσεις άνεσης των χρηστών όσο αφορά στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω προσομοιώσεων πολλαπλών σεναρίων, η έρευνα αποκαλύπτει πώς η αποθήκευση ενέργειας και οι στρατηγικές διαφοροποιημένης τιμολόγησης επηρεάζουν τη συμμετοχή διαφορετικών τύπων χρηστών στην DR, καθώς και τον αντίκτυπό τους στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Τα βασικά ευρήματα αποδεικνύουν (α) πως ο συνδυασμός αποθήκευσης ενέργειας και DR από την πλευρά του χρήστη αυξάνει σημαντικά την απόκριση, σε σύγκριση με τη χρήση μόνο αποθήκευσης ενέργειας ή απόκρισης μόνο από την πλευρά του χρήστη, (β) πως η αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει στους παρόχους να δημιουργήσουν πιο ελκυστικές τιμές για τους οικιακούς χρήστες, ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή τους στην DR, και (γ) πως η διαφοροποιημένη τιμολόγηση ενισχύει τη συμμετοχή των βιομηχανικών χρηστών στην DR, με αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά απόκρισης σε σύγκριση με την ενιαία τιμολόγηση. Το άρθρο παρέχει συστάσεις πολιτικής προς τους διαχειριστές ενέργειας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών προγραμμάτων DR, τονίζοντας τη σημασία του συνδυασμού της αποθήκευσης ενέργειας με DR από την πλευρά των χρηστών, της εφαρμογής διαφοροποιημένων συστημάτων τιμολόγησης και της προώθησης της συνεργασίας μεταξύ των εταιρειών παραγωγής ενέργειας, των παρόχων ενέργειας, των διαχειριστών αποθήκευσης ενέργειας και των πολλαπλών τύπων χρηστών. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στη μετάβαση από το μοντέλο «η παραγωγή ακολουθεί το φορτίο» σε ένα πιο ευέλικτο σύστημα, όπου «το φορτίο ακολουθεί την παραγωγή», ενισχύοντας τη σταθερότητα του δικτύου και προωθώντας την κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Οι Swami και συν. (2024)[92] παρουσιάζουν μια νέα προσέγγιση για την ενσωμάτωση προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης (ΔΡ) με την οικονομική κατανομή δέσμευσης μονάδας (UCED) για ένα νησιωτικό μικροδίκτυο. Εξετάζουν ένα μικροδίκτυο που αποτελείται από δύο μικροτουρμπίνες, μια ανεμογεννήτρια, ηλιακά φωτοβολταϊκά και αποθήκευση μπαταριών. Οι συγγραφείς διατυπώνουν ένα στοχαστικό πρόβλημα UCED ως ένα μοντέλο μη γραμμικού προγραμματισμού μικτών τετραγώνων, το οποίο επιλύεται με τη χρήση του λογισμικού GAMS για μια περίοδο 24 ωρών. Η βασική καινοτομία αυτής της εργασίας είναι η ενσωμάτωση τριών σεναρίων DR: του DLC, του ToU και ενός νέου συνδυασμού ToU και DLC. Οι συγγραφείς αναλύουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα προγράμματα ΔΡ επηρεάζουν το λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου, την αποκοπή φορτίου και τα κέρδη των καταναλωτών.

Η μελέτη καταδεικνύει σημαντικές βελτιώσεις στη λειτουργία του μικροδικτύου, μέσω της εφαρμογής των προγραμμάτων DR. Χωρίς DR, το λειτουργικό κόστος ήταν 41.214 λεπτά με 14,66 kWh αποκοπής φορτίου. Το TOU μείωσε το λειτουργικό κόστος κατά 13,55%, αλλά οδήγησε σε απώλεια για τους καταναλωτές. Το DLC μείωσε το κόστος κατά 9,68% και προσέφερε κέρδος στους καταναλωτές. Ο νέος συνδυασμός TOU+DLC μείωσε το κόστος κατά 10,73%, ενώ παρείχε κέρδη στους καταναλωτές. Οι συγγραφείς εξέτασαν -επίσης- τον αντίκτυπο των διαφορετικών επιπέδων συμμετοχής DR, τις αλλαγές στον συντελεστή φορτίου και τη μείωση της ζήτησης αιχμής, καθώς και τα πρότυπα εκφόρτισης των μπαταριών υπό διαφορετικά σενάρια DR. Διαπίστωσαν ότι η συμμετοχή 40% των χρηστών στο πρόγραμμα DR ήταν η βέλτιστη για το προτεινόμενο πρόγραμμα TOU+DLC στο μικροδίκτυο που μελετήθηκε. Συνολικά, η μελέτη αυτή καταδεικνύει τα δυνητικά οφέλη του συνδυασμού διαφορετικών προγραμμάτων DR στη λειτουργία μικροδικτύων, με στόχο την εξισορρόπηση της μείωσης του κόστους για τους φορείς εκμετάλλευσης με τα κέρδη για τους καταναλωτές.

Οι Wang, Wang και συν. (2024)[93] εξετάζουν διάφορες τεχνικές Artificial Intelligence (AI) που χρησιμοποιούνται για την έξυπνη κατανάλωση ενέργειας, εστιάζοντας σε τρεις κύριους τομείς: πρόβλεψη φορτίου, ανίχνευση ανωμαλιών και απόκριση-ζήτηση. Οι βασικές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που αναφέρονται όσο αφορά στον τομέα της απόκρισης-ζήτησης είναι (α) μηχανισμοί ML, όπως τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs), (β)μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) και τυχαίο δάσος, (γ) μέθοδοι βαθιάς μάθησης, όπως επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (RNNs), δίκτυα μακράς βραχυπρόθεσμης μνήμης (LSTM) και συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN), και (δ) μέθοδοι ενισχυτικής μάθησης. Η ανασκόπηση τονίζει ότι η επιλογή της τεχνικής AI εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή DR, τα διαθέσιμα δεδομένα και τους υπολογιστικούς πόρους. Επισημαίνεται, επίσης, η τάση προς πιο προηγμένα υβριδικά μοντέλα που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα διαφορετικών προσεγγίσεων AI για τη βελτίωση των επιδόσεων DR.

Οι Yuxin και συν. (2021)[94] προτείνουν μια προσέγγιση προγραμματισμού DR για κτήρια κατοικιών, εστιάζοντας σε τέσσερις τύπους φορτίων: διακοπτόμενα και αναβλητέα, μη διακοπτόμενα και αναβλητέα, μη διακοπτόμενα και μη αναβλητέα, και φορτία AC. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν έναν γενετικό αλγόριθμο μη επικρατούσας ταξινόμησης II (NSGA-II) ως αλγόριθμο βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων για την ελαχιστοποίηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και της ενόχλησης των κατοίκων. Η προσέγγιση λαμβάνει

υπόψη την ενεργειακή ευελιξία των συστημάτων AC και άλλων οικιακών συσκευών για τη μετατόπιση των φορτίων αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής. Μοντελοποιούν διαφορετικούς τύπους φορτίων, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων, των πλυντηρίων ρούχων, των στεγνωτηρίων, των πλυντηρίων πιάτων και των συστημάτων AC. Η ευελιξία του φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος διερευνάται με τη χρήση στρατηγικών όπως η προ-ψύξη και η επαναφορά του σημείου ρύθμισης της θερμοκρασίας.

Αξιολογούνται δύο σενάρια: μια εργάσιμη ημέρα και ένα Σαββατοκύριακο. Για το σενάριο της εργάσιμης ημέρας, εφαρμόζουν μια στρατηγική προ-ψύξης πριν από την επιστροφή των ενοίκων στο σπίτι. Για το σενάριο του Σαββατοκύριακου, χρησιμοποιούν επαναφορά του σημείου ρύθμισης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των περιόδων όπου οι ένοικοι βρίσκονται στο σπίτι. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, με βάση την «καμπύλη πάπιας» της καθαρής ζήτησης φορτίου στα έξυπνα δίκτυα, για να αντικατοπτρίζουν τον αντίκτυπο της υψηλής διείσδυσης των φωτοβολταϊκών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τα φορτία αιχμής, να μειώσει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και να διατηρήσει την άνεση των ενοίκων. Η μελέτη διαπιστώνει ότι μια στρατηγική προ-ψύξης δύο ωρών είναι πιο αποτελεσματική για τις εργάσιμες ημέρες, ενώ οι μικρότερες διάρκειες επαναφοράς της θερμοκρασίας είναι προτιμότερες για τα Σαββατοκύριακα. Η συγκεκριμένη έρευνα συμβάλλει στον τομέα της απόκρισης-ζήτησης σε οικιακές μονάδες, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλούς τύπους φορτίων, ενσωματώνοντας την ευελιξία του συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος και βελτιστοποιώντας τόσο το κόστος όσο και την άνεση. Η προσέγγιση μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτηρίων για πιο αποτελεσματική συμμετοχή σε προγράμματα απόκρισης-ζήτησης.

Οι Kanakadhurga και συν. (2024)[95] παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη μελέτη για την εφαρμογή της DR και της ομότιμης (P2P) εμπορίας ενέργειας σε οικιστικά έξυπνα σπίτια για τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και της εξάρτησης από το δίκτυο. Οι συγγραφείς προτείνουν μια προσέγγιση δύο σταδίων, με τη χρήση ενός δυαδικού αλγορίθμου Dragonfly και μιας βελτιωμένης στρατηγικής υποβολής προσφορών. Στο πρώτο στάδιο, εφαρμόζουν DR με τρεις διαφορετικές δομές τιμολόγησης (Block, ToU και RTP) για τον βέλτιστο προγραμματισμό έξυπνων συσκευών σε οικιστικές κατοικίες. Εξετάζουν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις με ποικίλους συνδυασμούς πηγών κατανεμημένης παραγωγής, αποθήκευσης μπαταριών και ηλεκτρικών οχημάτων. Ο αλγόριθμος Dragonfly χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού, λαμβάνοντας υπόψη την άνεση των χρηστών και τους περιορισμούς των συσκευών. Το δεύτερο στάδιο επικεντρώνεται στην εμπορία ενέργειας P2P μεταξύ prosumers και καταναλωτών σε ένα οικιακό μικροδίκτυο. Οι συγγραφείς αναπτύσσουν μια βελτιωμένη στρατηγική υποβολής προσφορών χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό διπλής δημοπρασίας για τον καθορισμό των αποφάσεων και του κόστους συναλλαγών. Αυτή η στρατηγική αποσκοπεί στη μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο και στη βελτίωση των κερδών για τα έξυπνα σπίτια, επιτρέποντας την εμπορία της πλεονάζουσας ενέργειας από τους prosumers με γειτονικούς καταναλωτές ή άλλους prosumers. Το άρθρο αναλύει, επίσης, τον αντίκτυπο της αβεβαιότητας των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα συναλλαγών P2P, για να καταδείξει την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης στρατηγικής υποβολής προσφορών.

Οι συγγραφείς παρέχουν λεπτομερή αποτελέσματα προσομοίωσης και συγκρίσεις και για τα δύο στάδια, δείχνοντας τα οφέλη της προσέγγισής τους όσον αφορά στη μείωση του κόστους και την ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από το δίκτυο.

Οι Kandpal και συν. (2024)[96] παρουσιάζουν μια καινοτόμο προσέγγιση για την ενίσχυση της διαπραγματευτικής δύναμης των ενεργειακών κοινοτήτων σε συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με τη χρήση στρατηγικών DR. Η μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (BESS) ως πρωταρχικού πόρου DR για τις ενεργειακές κοινότητες. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους αγοραστές να μετατοπίσουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, βελτιστοποιώντας το κόστος εισαγωγής στο δίκτυο και ενισχύοντας τη διαπραγματευτική τους θέση στις συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγγραφείς διαμορφώνουν μια στρατηγική DR για την ελαχιστοποίηση του κόστους εισαγωγής στο δίκτυο για τον αγοραστή. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων φόρτισης και εκφόρτισης των BESS, την αποφυγή ακριβών ωρών εισαγωγής στο δίκτυο και τη στρατηγική χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας σε περιόδους υψηλών τιμών.

Η μελέτη χρησιμοποιεί τεχνικές μηχανικής μάθησης, συγκεκριμένα μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) και ταξινόμηση με διαδικασία Γαους, για την κατηγοριοποίηση των τιμών της αγοράς σε κατηγορίες «υψηλών» και «χαμηλών» τιμών. Η ταξινόμηση αυτή βοηθά στον προσδιορισμό της διαπραγματευτικής θέσης του αγοραστή. Η βέλτιστη τιμή άσκησης της συμφωνίας αγοράς ενέργειας υπολογίζεται με τη χρήση της θεωρίας διαπραγματεύσεως Nash, λαμβάνοντας υπόψη την ενισχυμένη θέση του αγοραστή λόγω των πόρων DR. Επιπλέον, οι ερευνητές εισάγουν μια στιβαρή προσέγγιση βελτιστοποίησης για την αντιστοίχιση της διαλείπουσας φωτοβολταϊκής παραγωγής με την ευέλικτη ζήτηση. Αυτή η στρατηγική απόκρισης στη ζήτηση αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της χρήσης των φωτοβολταϊκών, στη μείωση της αβεβαιότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα DR και στην ευθυγράμμιση της κατανάλωσης με τη μεταβλητότητα της παραγωγής.

Καταδεικνύεται πως η αύξηση της χωρητικότητας BESS μειώνει σταδιακά το κόστος εισαγωγής στο δίκτυο του αγοραστή, επιτρέποντας τη διαπραγμάτευση χαμηλότερων τιμών στις συμφωνίες αγοράς ενέργειας, ενώ ενισχύει και την αυτοκατανάλωση μέσω των φωτοβολταϊκών. Ακόμη, η στιβαρή προσέγγιση χρονοπρογραμματισμού DR αποδεικνύεται αποτελεσματική στη διαχείριση αβεβαιοτήτων τόσο στην παραγωγή όσο και στη ζήτηση, ξεπερνώντας αποδοτικά τον ντετερμινιστικό χρονοπρογραμματισμό σε σενάρια με υψηλότερα φορτία. Με την ενσωμάτωση στρατηγικών DR, η μελέτη αυτή δείχνει πως οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη θέση τους στις διαπραγματεύσεις συμφωνιών αγοράς ενέργειας και να βελτιστοποιήσουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, ώστε να ευθυγραμμιστούν με την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές.

Οι Li, Zhang και συν. (2024)[97] προτείνουν μια νέα στρατηγική κατανομημένης απόκρισης για μικροδίκτυα, με κοινή αποθήκευση υδρογόνου και υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι συγγραφείς αναπτύσσουν ένα μοντέλο απόκρισης-ζήτησης που λαμβάνει υπόψη διαφορετικούς τύπους χρηστών (οικιακοί και εμπορικοί) με διαφορετικές συναρτήσεις χρησιμότητας, προκειμένου να αντικατοπτρίζει καλύτερα τις ποικίλες συμπεριφορές

κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Εισάγουν ένα κοινόχρηστο μοντέλο υπηρεσιών σταθμού αποθήκευσης υδρογόνου και κατασκευάζουν ένα μοντέλο απόκρισης ζήτησης μικροδικτύου υπό πολλαπλούς περιορισμούς. Το μοντέλο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει μία κατανομημένη στρατηγική επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο για δικαιότερη αντιστοίχιση ισχύος.

Οι συγγραφείς βελτιστοποιούν τη μοντελοποίηση των συστημάτων αποθήκευσης υδρογόνου, λαμβάνοντας υπόψη την κινητική απορρόφησης και εκρόφησης των υλικών κράματος στις δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου. Αυτό επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή των ρυθμών φόρτισης και εκφόρτισης σε πραγματικό χρόνο, με βάση τη χωρητικότητα αποθήκευσης υδρογόνου. Ακόμη, αναλύουν πώς η βελτιστοποίηση του αριθμού των συγκεντρωτικών μικροδικτύων μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ενεργειακή αξιοποίηση, τη χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης υδρογόνου και τα οικονομικά οφέλη των κοινών σταθμών αποθήκευσης ενέργειας.

Η προτεινόμενη προσέγγιση αποσκοπεί στην αντιμετώπιση ζητημάτων ανισορροπίας προσφοράς-ζήτησης που μπορεί να προκύψουν από την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Χρησιμοποιώντας πιο ακριβείς συναρτήσεις χρησιμότητας για διαφορετικούς τύπους χρηστών, το μοντέλο καταδεικνύει βελτιωμένα οικονομικά πλεονεκτήματα, σε σύγκριση με τις υπάρχουσες διαμορφώσεις κοινής αποθήκευσης υδρογόνου. Η στρατηγική μπορεί να προσαρμόσει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τους χρήστες, σύμφωνα με τις συνθήκες ζήτησης-προσφοράς σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος των χρηστών. Το άρθρο διερευνά, επίσης, τον αντίκτυπο της συνάντησης μικροδικτύων στην αποδοτικότητα και την κερδοφορία των κοινόχρηστων σταθμών αποθήκευσης ενέργειας, παρέχοντας πληροφορίες για τις βέλτιστες διαμορφώσεις του συστήματος.

Οι Wan και συν. (2022)[98] μελετούν τη διαχείριση της οικιακής DR, με βάση τις τιμές (Price Based Residential Demand Response Management, PB-RDRM) σε έξυπνα δίκτυα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα μη κατανομητέα όσο και τα κατανομητέα φορτία, συμπεριλαμβανομένων των γενικών φορτίων και των EVs.

Οι συγγραφείς διατυπώνουν το PB-RDRM ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης δύο επιπέδων, με το ανώτερο επίπεδο να στοχεύει στη μεγιστοποίηση του κέρδους της εταιρείας κοινής ωφέλειας, μέσω βέλτιστων τιμών λιανικής πώλησης, και το κατώτερο επίπεδο να ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος των φορτίων, συντονίζοντας την ενεργειακή τους κατανάλωση. Για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις των αβεβαιοτήτων της κατανάλωσης ενέργειας και των τιμών λιανικής, καθώς και τους χρονικά συνδεδεμένους περιορισμούς των EVs, οι συγγραφείς προτείνουν μια προσέγγιση Reinforcement Learning χωρίς μοντέλα. Αρχικά μοντελοποιούν το πρόβλημα της δυναμικής λιανικής τιμολόγησης ως μαρκοβιανή διαδικασία απόφασης και, στη συνέχεια, χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο εκμάθησης Q-learning για να μάθουν τις βέλτιστες δυναμικές τιμές λιανικής, με βάση τις αποκρίσεις του φορτίου. Οι συγγραφείς παρέχουν λεπτομερή μαθηματικά μοντέλα για διάφορους τύπους φορτίων, συμπεριλαμβανομένων των γενικών κατανομητέων φορτίων, των EVs και των μη κατανομητέων φορτίων. Παρουσιάζουν -επίσης- τον στόχο μεγιστοποίησης του κέρδους της εταιρείας κοινής ωφέλειας και διατυπώνουν το συνολικό πρόβλημα PB-RDRM από την

άποψη της κοινωνικής ευημερίας. Ύστερα, εφαρμόζουν τον αλγόριθμο απόκρισης-ζήτησης που βασίζεται σε Reinforcement Learning και διεξάγουν μελέτες περίπτωσης για να επαληθεύσουν την αποτελεσματικότητά του. Συγκρίνουν την προτεινόμενη μέθοδό τους με δύο προσεγγίσεις βελτιστοποίησης που βασίζονται σε μοντέλα: τις κατανεμημένες μεθόδους διπλής αποσύνθεσης (DDB) και κατανεμημένες μεθόδους πρωτογενούς-δυναδικού εσωτερικού (PDI). Τα αποτελέσματα της σύγκρισης καταδεικνύουν ότι ο αλγόριθμος που βασίζεται σε Reinforcement Learning μπορεί να καθορίσει προσαρμοστικά τις τιμές λιανικής μέσω online μάθησης και να επιτύχει μεγαλύτερη κοινωνική ευημερία σε ένα άγνωστο περιβάλλον αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, στο άρθρο αναλύεται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων στην απόδοση του αλγορίθμου, όπως ο συντελεστής στάθμισης για την κοινωνική ευημερία και ο ρυθμός μάθησης. Επιπλέον, επαληθεύεται η επεκτασιμότητα της προτεινόμενης προσέγγισης, με την εξέταση σεναρίων με αυξανόμενο αριθμό φορτίων.

Οι Nokandi και συν. (2024)[99] παρουσιάζουν ένα νέο μοντέλο λήψης αποφάσεων για τους παραγωγούς αιολικής ενέργειας σχετικά με τη βελτιστοποίηση της συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικές πτυχές του μοντέλου είναι οι εξής:

- Χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης τριών σταδίων που επιτρέπει στους WPPs να λαμβάνουν βέλτιστες αποφάσεις για τη συμμετοχή τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, ενδοημερήσια και σε πραγματικό χρόνο υπό συνθήκες αβεβαιότητας.
- Εφαρμόζεται μια πλατφόρμα ομότιμων συναλλαγών ενέργειας (P2P), η οποία επιτρέπει στους παραγωγούς αιολικής ενέργειας να ανταλλάσσουν υπηρεσίες DR και αποθέματα με τοπικούς συγκεντρωτές φορτίου (βλ. πλαίσιο 8), προς όφελος τόσο των παραγωγών όσο και των συγκεντρωτών φορτίου.
- Ενσωματώνει μια υπό όρους προσέγγιση της αξίας σε κίνδυνο (CVaR), για να βοηθήσει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να διαχειριστούν τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους που συνδέονται με τις αβεβαιότητες στην αιολική παραγωγή και τις τιμές της αγοράς.
- Περιλαμβάνεται μια αγορά ενδοημερήσιας ανταλλαγής DR (IDRX), η οποία επιτρέπει στους παραγωγούς να αγοράζουν υπηρεσίες DR από τοπικούς συσσωρευτές φορτίου στην ενδοημερήσια αγορά για να μειώσουν τις ποινές για αποκλίσεις μεταξύ των προσφορών ημέρας και της κατανομής σε πραγματικό χρόνο.

Το δι-επίπεδο μοντέλο προσομοίωσης διατυπώνεται ως παίγνιο Stackelberg, αποτυπώνοντας τα αντικρουόμενα συμφέροντα μεταξύ των παραγωγών και των συσσωρευτών. Οι παραγωγοί στοχεύουν στη μεγιστοποίηση του κέρδους στο ανώτερο επίπεδο, ενώ οι συσσωρευτές επιδιώκουν τη μεγιστοποίηση του οικονομικού πλεονάσματος στο κατώτερο επίπεδο. Οι συγγραφείς αποδεικνύουν, μέσω προσομοιώσεων, ότι η προσέγγιση αυτή μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα αναμενόμενα κέρδη των παραγωγών, ενώ παράλληλα διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους κινδύνους, ανάλογα με τις προτιμήσεις τους για το είδους κινδύνου που είναι διατεθειμένοι να υπομείνουν.

Οι Luy-Guang και συν. (2024)[100] αναπτύσσουν ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας απόκρισης-ζήτησης (DREMS), που βασίζεται σε έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης με πολλαπλούς στόχους (MOWDO) για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού ισχύος για έξυπνα σπίτια. Οι ερευνητές δημιουργούν ένα μοντέλο DREMS κλειστού βρόχου που ενσωματώνει έξυπνες συσκευές (ελεγχόμενες και κρίσιμες), έναν ελεγκτή διαχείρισης ενέργειας (EMC) που βασίζεται στον αλγόριθμο MOWDO, έναν πίνακα διεπαφής χρήστη, προηγμένη υποδομή μέτρησης και ένα σύστημα ανατροφοδότησης με συσκευές μέτρησης και ανίχνευσης. Διατυπώνουν το πρόβλημα προγραμματισμού ισχύος ως πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων με στόχο την ελαχιστοποίηση των λογαριασμών κοινής ωφέλειας, τη μείωση του λόγου αιχμής προς τη μέση ζήτηση και την ελαχιστοποίηση της δυσφορίας των χρηστών.

Οι συγγραφείς εξετάζουν τέσσερις τρόπους λειτουργίας, με βάση τις προτεραιότητες των χρηστών και αναπτύσσουν μαθηματικά μοντέλα για διαφορετικούς τύπους συσκευών. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω εργαλεία, διεξάγουν εκτεταμένες προσομοιώσεις για να αξιολογήσουν την απόδοση του DREMS σε τρία σενάρια: βελτιστοποίηση βάσει συστημάτων τιμολόγησης, βελτιστοποίηση ενός στόχου και βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων.

Τα βασικά ευρήματα περιλαμβάνουν ότι το σχήμα τιμολόγησης για την επόμενη ημέρα υπερτερεί έναντι της επίπεδης τιμολόγησης και της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο όσο αφορά στη μείωση των λογαριασμών και του Peak to Average Demand Ratio. Ακόμη, ο προτεινόμενος αλγόριθμος MOWDO επιτυγχάνει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τον προϋπάρχοντα αλγόριθμο MOPSO. Συνολικά, η μελέτη αυτή καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου DREMS στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος και τη βελτίωση της ικανοποίησης των καταναλωτών σε περιβάλλοντα έξυπνων δικτύων.

Οι Jawad και συν. (2024)[101] παρουσιάζουν ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα DR για τη διαχείριση της ενέργειας σε ένα κοινοτικό μικροδίκτυο (C-MG). Οι συγγραφείς προτείνουν μια νέα προσέγγιση που συνδυάζει στρατηγικές DR, με βάση τις τιμές και τα κίνητρα για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, τη μείωση του κόστους και την αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας τόσο για τους μεμονωμένους συμμετέχοντες όσο και για το C-MG στο σύνολό του. Η συνιστώσα DR, με βάση τις τιμές, χρησιμοποιεί την τιμολόγηση ToU για να επηρεάσει τα πρότυπα κατανάλωσης, ενθαρρύνοντας τους συμμετέχοντες να μετατοπίσουν τη χρήση ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής. Η DR που βασίζεται σε κίνητρα χρησιμοποιεί DLC με στρατηγική Demand Reduction Bidding. Αυτό επιτρέπει στο C-MG να επιλέγει τους συμμετέχοντες για τη μείωση του φορτίου, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τα παρεχόμενα κίνητρα. Για την υλοποίηση αυτού του προγράμματος DR, οι συγγραφείς εισάγουν μια στρατηγική λήψης αποφάσεων, βάσει περιορισμών για οικιακά συστήματα διαχείρισης ενέργειας (HEMS). Η στρατηγική αυτή επιτρέπει τον βέλτιστο προγραμματισμό των συσκευών, με βάση τα σήματα τιμολόγησης και τα κίνητρα.

Το άρθρο παρουσιάζει επίσης μια νέα προσέγγιση για την P2P εμπορία ενέργειας στο πλαίσιο του C-MG. Αυτή η μέθοδος, που ονομάζεται CBS-DBPT, δίνει προτεραιότητα στην επιλογή των prosumers πωλητών και αγοραστών, με βάση συναρτήσεις τιμολόγησης και

χρησιμότητας. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας και για τα δύο μέρη, διατηρώντας παράλληλα την ιδιωτικότητα και ενισχύοντας την επεκτασιμότητα. Οι συγγραφείς αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων στρατηγικών DR, μέσω εκτενών αποτελεσμάτων προσομοίωσης, οι οποίες δείχνουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τους συμμετέχοντες και το C-MG μέσω του προγράμματος DR. Επιπλέον, η συνδυασμένη προσέγγιση DR και P2P τραδινγ οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ΚΠΑ τόσο για τους συμμετέχοντες όσο και για το C-MG. Καθ' όλη την έκταση του άρθρου, οι συγγραφείς τονίζουν τη σημασία της διατήρησης της ιδιωτικότητας και της δυνατότητας επεκτασιμότητας στις προτεινόμενες στρατηγικές DR και P2P trading.

Οι Langner και συν. (2024)[69] παρουσιάζουν μια νέα στρατηγική ελέγχου ονόματι Extended Price Storage Control+ (EPSC+) για τον συντονισμό της DR σε συστοιχίες κτηρίων. Η EPSC+ αποσκοπεί στη μετατόπιση της λειτουργίας των αντλιών θερμότητας με διαμόρφωση σε περιόδους χαμηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα διαχειρίζεται τα φορτία αιχμής σε πολλά κτήρια. Ο αλγόριθμος ελέγχου λαμβάνει υπόψη τόσο τη θέρμανση χώρων όσο και τις απαιτήσεις ζεστού νερού προς χρήση, γεγονός που αποτελεί πρόοδο, σε σχέση με πολλές υφιστάμενες προσεγγίσεις που επικεντρώνονται αποκλειστικά στη θέρμανση χώρων. Οι συγγραφείς αξιολογούν την EPSC+, μέσω μιας μελέτης χειμερινής προσομοίωσης διάρκειας εννέα εβδομάδων, στην οποία συμμετείχε ένα σύμπλεγμα δέκα κτηρίων στη Γερμανία. Συγκρίνουν την απόδοσή του με δύο ελεγκτές αναφοράς: έναν συμβατικό ελεγκτή δύο σημείων με υστέρηση και έναν ιεραρχικό ελεγκτή πρόβλεψης μοντέλου.

Η βασική καινοτομία της EPSC+ είναι ότι επιτυγχάνει συντονισμό της απόκρισης-ζήτησης και εξοικονόμηση αιχμής χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκα μοντέλα, προβλέψεις ή αλγόριθμοι βελτιστοποίησης. Αυτό το καθιστά πιο πρακτικό για εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο, ιδίως σε παλαιότερες συστοιχίες κτηρίων, όπου οι λεπτομερείς πληροφορίες και τα δεδομένα αισθητήρων μπορεί να είναι περιορισμένα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η EPSC+ αποδίδει ανταγωνιστικά με τον ιεραρχικό ελεγκτή πρόβλεψης μοντέλου, μειώνοντας τα μέσα φορτία αιχμής κατά 38,8% και το μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας κατά 15%, σε σύγκριση με τον ελεγκτή υστέρησης. Είναι σημαντικό ότι η EPSC+ το επιτυγχάνει αυτό, ενώ είναι υπολογιστικά φθηνή και αποφεύγει την ανάγκη για μοντέλα κτηρίων ή προβλέψεις. Αυτό τοποθετεί την EPSC+ ως μια ελκυστική ενδιάμεση λύση μεταξύ των απλών ελέγχων που βασίζονται σε κανόνες και των πιο σύνθετων στρατηγικών βέλτιστου ελέγχου για εφαρμογές απόκρισης ζήτησης σε συστοιχίες κτιρίων.

3.6 Χρήση DR στις Ενεργειακές Κοινότητες

Η απόκριση-ζήτηση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στις ενεργειακές κοινότητες ως εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας και τη σταθερότητα του δικτύου. Οι ενεργειακές κοινότητες ενσωματώνουν στρατηγικές DR για να βελτιστοποιήσουν τη συλλογική χρήση ενέργειάς τους και να μειώσουν το κόστος λειτουργίας τους. Η απόκριση-ζήτηση και οι ενεργειακές κοινότητες συνδυάζονται συνεργικά, καθώς και οι δύο έννοιες αποσκοπούν στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και στην προώθηση πιο βιώσιμων προτύπων κατανάλωσης ενέργειας. Οι ενεργειακές κοινότητες παρέχουν ένα τοπικό πλαίσιο για την εφαρμογή στρατηγικών DR, ενώ η DR προσφέρει στις κοινότητες ένα ισχυρό εργαλείο για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης και παραγωγής τους [96][102]. Λεπτομερή παραδείγματα χρήσης DR στις ενεργειακές κοινότητες σημειώνονται παραπάνω, στις έρευνες των Saif και συν. (2023)[102], Eisele και συν. (2024)[89] και Kandpal και συν. (2024)[96] (βλ. υποκεφάλαιο 3.5). Λόγω της αλληλοκαλύψης των εννοιών και των δραστηριοτήτων των ενεργειακών κοινοτήτων και της απόκρισης ζήτησης, τόσο οι ενεργειακές κοινότητες όσο και η αγορά ΑΠΕ επωφελούνται σε βάθος από την χρήση DR στις δραστηριότητές των κοινοτήτων. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες απόκρισης-ζήτησης συμβάλλουν στις λειτουργίες των ενεργειακών κοινοτήτων με τους εξής τρόπους:

- **Εξισορρόπηση της τοπικής παραγωγής:** Σε κοινότητες με σημαντική παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η DR χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση της κατανάλωσης με τα πρότυπα παραγωγής, μεγιστοποιώντας τη χρήση της τοπικά παραγόμενης ενέργειας. Αυτό ευθυγραμμίζεται και με τους στόχους προώθησης της χρήσης τοπικής ενέργειας της οδηγίας για τις ΑΠΕ [11] και εξισορροπεί τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα της παραγωγής από ΑΠΕ[96].
- **Παροχή ελαστικότητας και δυνατότητας προσαρμογής:** Η DR επιτρέπει στις ενεργειακές κοινότητες να προσαρμόσουν την κατανάλωση ενέργειάς τους, μειώνοντας τη συλλογική κορυφή κατανάλωσής τους και, ως αποτέλεσμα, τα συνολικά κόστη κατανάλωσης και την εξάρτηση από το δίκτυο [102]. Επιπλέον, ανοίγει τον δρόμο για συμμετοχή των ενεργειακών κοινοτήτων στην αγορά εξισορρόπησης.
- **Διαχείριση αποκεντρωμένων πόρων:** Οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την DR, ώστε να συντονίσουν αποκεντρωμένες πηγές ενέργειας, όπως μεμονωμένα φωτοβολταϊκά και αποθήκες ενέργειας, αλλά και να διαχειριστούν ευέλικτα φορτία. Οι αποθήκες ενέργειας των κοινοτήτων με τη σειρά τους βοηθούν στην αποδοτική εφαρμογή του DR [102].
- **Επίτρεψη συναλλαγών P2P:** Η DR υλοποιεί τις συναλλαγές ενέργειας σε τοπικό επίπεδο εντός της κοινότητας. Κάθε τελικός χρήστης της κοινότητας συναλλάσσεται ενέργεια σε ένα ιδιωτικό και ασφαλές περιβάλλον, επιτρέποντας τη δυναμική εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης και αξιοποιώντας καλύτερα τα αποθέματα ενέργειας των μελών της κοινότητας[103][104].

- **Ενίσχυση σταθερότητας του δικτύου:** Μέσω της DR, οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες ευελιξίας, όπως η ρύθμιση συχνότητας, η υποστήριξη τάσης και η διαχείριση συμφόρησης, για τη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου και την υποστήριξη της αξιόπιστης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμβολή στην ενδυνάμωση του δικτύου ωφελεί και τις ίδιες τις κοινότητες, καθώς διαμορφώνεται ένα σταθερό και αξιόπιστο 'δίκτυ' ενεργειακής προστασίας, στο οποίο μπορούν να 'πέσουν' όποτε αυτό καταστεί απαραίτητο.
- **Ενδυνάμωση της κοινότητας και της ενεργειακής δημοκρατίας:** Η χρήση DR δίνει στα μέλη της κοινότητας ακόμα περισσότερο έλεγχο πάνω στα κόστη και τη χρήση της ενέργειας που παράγουν και καταναλώνουν, υποστηρίζοντας την ενεργειακή δημοκρατία [89]. Η κοινότητα, με τη σειρά της, είναι ο ιδανικός χώρος για τη διαμόρφωση μοντέλων απόκρισης-ζήτησης, καθώς η υπάρχουσα εμπιστοσύνη μεταξύ των μελών και των κοινοτικών οργάνωσης τοποθετεί τις κοινότητες ως σημαντικούς ενδιαμέσους φορείς μεταξύ κυβερνήσεων, βιομηχανίας και ενεργειακών συστημάτων[105].

3.6.1 Εφαρμογή της DR στο Πλαίσιο των Ενεργειακών Κοινοτήτων

Σύμφωνα με τους Honarmand και συν. (2021)[63], η ανάδυση των αυτοκαταναλωτών και των ενεργειακών κοινοτήτων, δηλαδή χρηστών που όχι μόνο καταναλώνουν αλλά και παράγουν ενέργεια, ωθεί την DR σε εξέλιξη, από την παραδοσιακή διαχείριση φορτίου που προσέφερε μέχρι πρότινος, σε μια πιο ολοκληρωμένη και εξελιγμένη προσέγγιση, στο πλαίσιο έξυπνων ενεργειακών κόμβων. Την εξέλιξη αυτή έρχεται να επιταχύνει και να υποβοηθήσει η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων και προηγμένων υποδομών μέτρησης. Στο πλαίσιο της νέας πραγματικότητας της ενεργειακής αγοράς, δημιουργούνται και νέα μοντέλα ανταλλαγής ενέργειας, όπως η συναλλαγή P2P (βλ. υποκεφάλαιο 2.4) και οι συναλλαγές με βάση την κοινότητα. Το δεύτερο μοντέλο, υλοποιεί συλλογικές συναλλαγές ενέργειας, επιτρέποντας σε ομάδες μελών της κοινότητας να συμμετέχουν στην συναλλαγή ενέργειας μαζί.

Τεχνολογίες Υποστήριξης DR στο Πλαίσιο των Ενεργειακών Κοινοτήτων

Για να εφαρμοστεί η DR στο πλήρες των δυνατοτήτων της, οι ενεργειακές κοινότητες πρέπει να εξοπλιστούν κατάλληλα τόσο με υλικό, όσο και με λογισμικό. Το πιο σημαντικό υλικό εργαλείο για την υλοποίηση DR στις κοινότητες είναι οι έξυπνοι μετρητές. Όπως έχει προαναφερθεί, οι έξυπνοι μετρητές είναι ζωτικής σημασίας για την παρακολούθηση της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τη δυναμική προσαρμογή της τιμολόγησης και της ζήτησης [89]. Επιπλέον, απαραίτητη είναι η εγκατάσταση λογισμικών διαχείρισης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά συντονίζουν τις δραστηριότητες DR εντός της κοινότητας, χρησιμοποιώντας αλγορίθμους για τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών ροών, την πρόβλεψη της κατανάλωσης και της παραγωγής και τη διαχείριση των συμβάντων DR [106]. Οι Sangar'e και συν. (2022)[104] αναφέρουν τη χρήση εργαλείων, όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, ο δι-επίπεδος προγραμματισμός και η θεωρία παιγνίων, για

τη βελτιστοποίηση των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας εντός της κοινότητας. Για να ολοκληρωθεί η πορεία αναγνώρισης συμβάντων DR προς την προσαρμογή της κατανάλωσης και της παραγωγής με βάση τα συμβάντα αυτά, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη λογισμικού για την επικοινωνία μεταξύ των μελών και ανταλλαγή σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, για την υλοποίηση P2P συναλλαγών εντός της κοινότητας, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη της αντίστοιχης πλατφόρμας [102] καθώς και η εφαρμογή τεχνολογιών blockchain, ώστε να διασφαλιστεί η διαφάνεια και η ασφάλεια των P2P συναλλαγών [106].

Επιπροσθέτως, παρόλο που δεν είναι αυστηρά τεχνολογία DR αλλά αποτελεί τεχνολογία που διαθέτουν πολλές ενεργειακές κοινότητες, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ενισχύουν σημαντικά την ευελιξία, συμβάλλοντας καθοριστικά στην εφαρμογή στρατηγικών DR στις ενεργειακές κοινότητες. Σημειώνεται επιπλέον πως η ύπαρξη ενός δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, όπου αυτό είναι δυνατό, διευκολύνει τις συναλλαγές P2P και την υλοποίηση του DR με διαφάνεια, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει ακόμα περισσότερη ανεξαρτησία από το κεντρικό δίκτυο για όλα τα μέλη της κοινότητας[102]. Τέλος, άκρως σημαντική είναι η ενημέρωση και η επιμόρφωση των μελών της κοινότητας για τη λειτουργία του DR και τον τρόπο συμμετοχής στις αγορές P2P.

Κεφάλαιο 4

Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες

4.1 Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες της Ευρώπης

4.1.1 Η περίπτωση της ενεργειακής κοινότητας στο Røverkollen της Νορβηγίας

Σύμφωνα με τους Askeland και συν. (2021)[107] η/μια ενεργειακή κοινότητα στο Røverkollen της Νορβηγίας αποτελείται από 246 διαμερίσματα σε 6 πολυκατοικίες και περιλαμβάνει τετραώροφο γκαράζ στάθμευσης με 230 θέσεις στάθμευσης. Τα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος περιλαμβάνουν υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) με 26 σημεία φόρτισης σε χρήση (και στόχο να υποστηριχθεί η φόρτιση και για τα 230 οχήματα), ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 70 kW στην οροφή του γκαράζ και ένα κοινόχρηστο σύστημα ζεστού νερού χρήσης για διαμερίσματα που θερμαίνονται με αντλίες θερμότητας αέρα και ηλεκτρικούς λέβητες. Τα διαμερίσματα διαθέτουν ηλεκτρική θέρμανση, μέσω θερμαντικών σωμάτων, ενώ υπάρχουν ηλεκτρικά καλώδια θέρμανσης στις εισόδους του γκαράζ για την αποπαγοποίηση.

Η κοινότητα εφαρμόζει explicit DR μέσω ενός συστήματος συναλλαγής χωρητικότητας που ενσωματώνεται σε τιμολόγια δικτύου, με βάση τη χωρητικότητα. Η προσέγγιση αυτή αντιμετωπίζει τις προκλήσεις ενσωμάτωσης των EV, αποφεύγοντας παράλληλα την αναβάθμιση του δικτύου. Τα τιμολόγια δικτύου διαμορφώνονται ως εξής: Οι τελικοί χρήστες συμφωνούν σε μια σύμβαση δικτύου (eur/kW) και πληρώνουν κυρώσεις για την υπέρβασή της. Ο πάροχος ενέργειας βελτιστοποιεί τα τιμολόγια για να μειώσει τα φορτία αιχμής που συμπίπτουν (π.χ. τις βραδινές αιχμές, όταν συμπίπτουν η κατανάλωση από τα διαμερίσματα και η φόρτιση των EVs). Όσον αφορά την τοπική αγορά χωρητικότητας, ορίζονται δύο ήδη χρηστών: οι ευέλικτοι χρήστες και οι μη ευέλικτοι χρήστες. Οι ευέλικτοι χρήστες (ιδιοκτήτες EVs) ανταλλάσσουν πλεονάζουσα χωρητικότητα με μη ευέλικτους χρήστες (διαμερίσματα), μέσω ενός δι-επίπεδου παιγνιοθεωρητικού μοντέλου. Οι συναλλαγές πραγματοποιούνται σε περιόδους έλλειψης (π.χ. χειμωνιάτικα βράδια), με τις τιμές να καθορίζονται από το παραπάνω μοντέλο.

Η ευελιξία εξασφαλίζεται μέσω των EVs και των μονάδων αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης. Η φόρτιση των EVs καθυστερείται σε ώρες εκτός αιχμής ή ευθυγραμμίζεται με την φωτοβολταϊκή παραγωγή. Τα EVs λειτουργούν ως ευέλικτη αποθήκευση, με το 25% των μπαταριών των EVs να διατίθενται για υποστήριξη του δικτύου. Ακόμη, η θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης μετατοπίζεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και το ζεστό νερό αποθηκεύεται, αξιοποιώντας τη θερμική αδράνεια των δεξαμενών νερού.

Η ενεργειακή κοινότητα του Røverkollen εφαρμόζει DR με χρήση έξυπνων μετρητών για τη μέτρηση κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, μέσω ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας, βελτιστοποιεί τη λειτουργία φόρτισης/εκφόρτισης EVs και αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης και διευκολύνει την υποβολή προσφορών στην αγορά χωρητικότητας, μέσω αυτοματοποιημένου ελέγχου. Την εφαρμογή του DR στηρίζει ένα σύστημα αποθήκευσης ελεγχόμενο από IoT, ευθυγραμμίζοντας τη διαχείριση της αποθηκευόμενης ενέργειας με τα σήματα του δικτύου και τις τιμές της αγοράς. Τέλος, το διεπίπεδο μοντέλο διαχείρισης χωρητικότητας εξισορροπεί με βέλτιστο τρόπο τη σταθερότητα του δικτύου και το κόστος που επιβαρύνει τους χρήστες.

Η περίπτωση του Røverkollen αποδεικνύει πως η χρήση explicit DR, σε συνδυασμό με τη συναλλαγή χωρητικότητας και τα συνδρομητικά τιμολόγια, μπορούν να εξισορροπήσουν τα συμφέροντα των ενδιαφερόμενων μερών. Με την παροχή κινήτρων στους ευέλικτους χρήστες για την προσαρμογή των προτύπων κατανάλωσης, το σύστημα αποφεύγει δαπανηρές επεκτάσεις του δικτύου, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία. Το μοντέλο του Røverkollen παρέχει ένα ξεκάθαρο σχέδιο για την ενσωμάτωση των αστικών EVs σε δίκτυα με περιορισμούς. Παρόλα αυτά, και αυτό το εγχείρημα αντιμετωπίζει προκλήσεις.

4.1.2 Η περίπτωση της ενεργειακής κοινότητας Schoonschip της Ολλανδίας

Το Schoonschip[108] είναι μια πρωτοποριακή πλωτή ενεργειακή κοινότητα στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας, η οποία αναγνωρίζεται ως πρότυπο για τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη και την καινοτομία υπό την καθοδήγηση των πολιτών. Ιδρύθηκε μέσω μιας δεκαετούς προσπάθειας από μια ομάδα απλών πολιτών και αποτελεί μια από τις πιο προηγμένες κοινότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη. Το Schoonschip βρίσκεται στο Johan van Hasseltkanaal στη συνοικία Buiksloterham του Άμστερνταμ, μια μεταβιομηχανική περιοχή που μετατράπηκε σε βιώσιμη οικιστική ζώνη. Η κοινότητα αποτελείται από 46 νοικοκυριά σε 30 πλωτά οικόπεδα, συμπεριλαμβανομένων 15 διπλοκατοικιών, που στεγάζουν πάνω από 100 κατοίκους. Ξεκίνησε το 2008 από τον κινηματογραφιστή Marjan de Blok και μια ομάδα θιασωτών της βιωσιμότητας, με στόχο τη δημιουργία μιας ουδέτερης, από άποψη άνθρακα, αυτάρκους γειτονιάς.

Η κοινότητα διαθέτει προηγμένα ενεργειακά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων 516 ηλιακών συλλεκτών που συνδέονται με ένα έξυπνο δίκτυο για την ομότιμη ανταλλαγή ενέργειας. Η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες και πωλείται πίσω στο εθνικό δίκτυο. Κάθε σπίτι χρησιμοποιεί αντλίες θερμότητας με πηγή νερού που ανταλλάσσουν θερμική ενέργεια με το κανάλι, ενώ το μαύρο νερό επεξεργάζεται σε βιο-διυλιστήριο για την

ανάκτηση θρεπτικών συστατικών και την παραγωγή βιοαερίου.

Όσον αφορά στη βιωσιμότητα και τον σχεδιασμό, τα σπίτια είναι χτισμένα με βιώσιμα υλικά, όπως μπαμπού και ανακυκλωμένο ξύλο και έχουν πράσινες στέγες. Το ένα τρίτο κάθε στέγης προορίζεται για κήπο. Η κοινότητα μοιράζεται πόρους, όπως ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ποδήλατα φορτίου και εργαλεία μέσω πλατφορμών, όπως το Hely, ενώ το νερό της βροχής συλλέγεται για μη πόσιμες χρήσεις. Μια κεντρική πλατφόρμα παρακολουθεί, σε πραγματικό χρόνο, τις ενεργειακές ροές, επιτρέποντας στους κατοίκους να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση.

Η Schoonschip είναι οργανωμένη μέσω πολλαπλών οντοτήτων, συμπεριλαμβανομένου ενός ιδρύματος (Pioneer Vessel), μιας συνεταιριστικής ένωσης και μιας ένωσης ιδιοκτητών. Οι κάτοικοι δημιούργησαν ομάδες εργασίας για τη διαχείριση της ενέργειας, της κινητικότητας, της οικολογίας και των κοινωνικών πρωτοβουλιών, ενώ οι αποφάσεις λαμβάνονται συλλογικά. Οι τακτικές συναντήσεις της κοινότητας και οι κοινόχρηστοι χώροι ενισχύουν τη συνεργασία[109].

Η κοινότητα Schoonschip χρησιμοποιεί στρατηγικές DR ως μέρος του προηγμένου συστήματος διαχείρισης της ενέργειάς της. Η κοινότητα λειτουργεί ένα ιδιωτικό μικροδίκτυο με μία μόνο σύνδεση 150 kVA με το εθνικό δίκτυο, η οποία ενεργοποιείται από τον ολλανδικό Πειραματικό νόμο για την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει τον κεντρικό έλεγχο των ενεργειακών ροών και τις προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο, με βάση την προσφορά και τη ζήτηση.

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή νερού βελτιστοποιούνται, ώστε να ευθυγραμμίζονται με τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμης ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από το δίκτυο σε περιόδους αιχμής. Οι οικιακές μπαταρίες συγκεντρώνονται για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλιακής ενέργειας, επιτρέποντας τη μετατόπιση φορτίου και την εξομάλυνση των αιχμών ζήτησης. Μια έξυπνη πλατφόρμα παρέχει στους κατοίκους δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τη χρήση σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Ο ομότιμος διαμοιρασμός ενέργειας εντός της κοινότητας ελαχιστοποιεί την εξάρτηση από το δίκτυο και αξιοποιεί τις μη ταυτόχρονες ενεργειακές ανάγκες.

Σύμφωνα με τον Ενεργειακό Νόμο του 2022, η Schoonschip μπορεί να συμμετέχει στις αγορές ευελιξίας, αν και παραμένουν προκλήσεις όσον αφορά την επίτευξη των υψηλών ορίων δυναμικότητας για τις αγορές συμφόρησης. Παρά την τεχνική ετοιμότητα, τα εμπόδια πρόσβασης στην αγορά περιορίζουν την ικανότητα της κοινότητας να αξιοποιήσει την ευελιξία (π.χ. ικανότητα αντλιών θερμότητας) στις ευρύτερες αγορές ενέργειας. Με την ενσωμάτωση της απόκρισης της ζήτησης, η Schoonschip μειώνει την ένταση του δικτύου και προωθεί τον στόχο της ενεργειακής αυτονομίας, λειτουργώντας ως πρότυπο για αποκεντρωμένες κοινότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [109].

4.2 Περιπτώσεις Χρήσης DR στις Ενεργειακές Κοινότητες της Ελλάδας

Στην Ελλάδα, η χρήση DR στο ενεργειακό τοπίο είναι ακόμα σε αρχικά στάδια. Η Κοινωνική Συνεταιριστική Επιχείρηση Electra Energy, στο πλαίσιο διευκόλυνσης της μετάβασης προς ένα δημοκρατικό, χωρίς αποκλεισμούς και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα με επίκεντρο τους πολίτες και τις τοπικές κοινότητες, συμμετέχει στο πρόγραμμα DR-RISE (Residential Innovation for a Sustainable Energy system) της EE [110]. Το πρόγραμμα αυτό αποσκοπεί στην ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της DR στον οικιακό τομέα. Πρωταρχικός στόχος του είναι να αναδείξει τα οφέλη της DR όχι μόνο για τους τελικούς καταναλωτές, αλλά και για το ευρύτερο ενεργειακό σύστημα και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Για να επιτευχθεί αυτό, το DR-RISE παρέχει μια ολοκληρωμένη σειρά εργαλείων και υπηρεσιών που έχουν σχεδιαστεί για να ενισχύσουν την ενεργειακή απόδοση, μέσω της βέλτιστης διαχείρισης, και να καταδείξουν τα πολύπλευρα οφέλη της DR. Το έργο δοκιμάζεται σε τρία διαφορετικά ευρωπαϊκά περιβάλλοντα (στην Ελλάδα, στη Γερμανία και στην Ισπανία) τα οποία περιλαμβάνουν ενεργειακές κοινότητες, έξυπνα χωριά, αστικά οικιστικά συγκροτήματα και νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Με διάρκεια από τον Ιούνιο του 2023 έως τον Ιούνιο του 2027, το DR-RISE επιδιώκει να ενδυναμώσει τους καταναλωτές και να προωθήσει βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές σε ποικίλα περιβάλλοντα.

Με την υποστήριξη της Electra Energy, τρεις ελληνικές ενεργειακές κοινότητες είναι μέρη του πιλοτικού «ζωντανού εργαστηρίου» του DR-RISE στην Ελλάδα. Το ζωντανό εργαστήριο εστιάζει σε τέσσερις βασικούς τομείς:

- **Δοκιμές DR σε αστικές και νησιωτικές ρυθμίσεις:** Αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο οι ρητές και σιωπηρές προσεγγίσεις ΔΡ μπορούν να ενσωματωθούν με τη συλλογική αυτοκατανάλωση τόσο σε αστικές περιοχές όσο και σε διασυνδεδεμένα/μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- **Ενίσχυση της πρόσβασης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Ανάπτυξη και δοκιμή μοντέλων για τον συλλογικό διαμοιρασμό ενέργειας, επιτρέποντας στους συμμετέχοντες -ιδιαίτερα σε όσους δεν έχουν πρόσβαση σε ηλιακή ενέργεια στην οροφή- να επωφεληθούν από τους κοινόχρηστους ανανεώσιμους πόρους.
- **Βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας:** Εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας σε κοινοτικά συστήματα, διασφαλίζοντας την αποδοτικότητα και τη σταθερότητα του δικτύου, ενώ παράλληλα μεγιστοποιείται η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- **Αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας:** Διαμόρφωση επιχειρηματικού μοντέλου που έχει σχεδιαστεί για να δίνει προτεραιότητα στα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα, παρέχοντας προσιτή πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια.

Από συνέντευξη που διεξάχθηκε, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, με εκπρόσωπο της Electra Energy, η οποία ασχολείται με το ζήτημα της εφαρμογής της DR, σχεδιάζεται μια

πιο καθαρή εικόνα της κατάστασης της DR, γενικά στην Ελλάδα και ιδίως στις ελληνικές ενεργειακές κοινότητες.

Σύμφωνα με τη συνεντευζιαζόμενη, το ελληνικό ενεργειακό δίκτυο αναβαθμίζεται έχοντας υπόψη τη μελλοντική εφαρμογή της DR. Η αναβάθμιση του δικτύου, καθώς και η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών [83] είναι απαραίτητη για την εφαρμογή της DR αλλά μέχρι αυτή να πραγματοποιηθεί, παρουσιάζονται αρκετά εμπόδια. Η εκπρόσωπος της Electra Energy τονίζει πως βασικότερο αυτών των εμποδίων είναι η ημιτελής εφαρμογή των ευρωπαϊκών οδηγιών σε εθνικό επίπεδο. Πολλές φορές, η μεταφορά των ευρωπαϊκών οδηγιών στην εθνική νομοθεσία και πολιτική γίνεται με σημαντική καθυστέρηση ή αλλοίωση, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο για τους διαφορετικούς παίκτες στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας να προσαρμοστούν σε αυτές τις αλλαγές. Η αδυναμία τους αυτή εκφράζεται με αλληπάλληλες καθυστερήσεις, οι οποίες δημιουργούν συμφόρηση στην εξέλιξη των πραγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση των μετρητών έχει ήδη μεταφερθεί δύο φορές από τον αρχικό στόχο της κάλυψης όλων των καταναλωτών έως το 2024. Επιπλέον, ο χρόνος αναμονής για την πρόσβαση στο δίκτυο για έργα ενεργειακών κοινοτήτων φτάνει τους 10 μήνες, καθιστώντας τις κοινότητες αδρανείς έως τότε, με τα πάγια έξοδά τους να στοιβάζονται.

Ένα ακόμα κύριο ζήτημα, όπως υπογραμμίζεται από την συνεντευζιαζόμενη, είναι η διευκρίνιση των κανόνων λειτουργίας μηχανισμού DR στην αγορά. Υπάρχουν ανοιχτά καθοριστικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν, όπως τα παρακάτω: Η DR θα εισέλθει την αγορά ως ευκαιρία (αν είσαι ευέλικτο σπίτι τότε κερδίζεις) ή ως ποινή (αν δεν είσαι ευέλικτο σπίτι πληρώνεις περισσότερο). Ποιος καλύπτει το κόστος εξοπλισμού για τη συμμετοχή στη DR; Πώς διατηρείται η Flexibility Justice, δηλαδή η ισότητα στη δυνατότητα συμμετοχής στο DR από νοικοκυριά διαφορετικών τεχνολογικών και οικονομικών επιπέδων; Επιπλέον, δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα των φορτίων που μπορούν να συμμετέχουν στη DR στα ελληνικά νοικοκυριά. Ένα μεγάλο τμήμα της οικιακής κατανάλωσης στα υπάρχοντα πλαίσια DR είναι η θέρμανση. Τα τελευταία χρόνια, στην Ελλάδα υπάρχει μια μαζική μετάβαση στη χρήση φυσικού αερίου για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, λόγω του χαμηλότερου κόστους του. Το φυσικό αέριο, όμως, έχει μεγάλες εκπομπές και δεν συνδέεται με κάποιο τρόπο με το ηλεκτρικό δίκτυο. Υπολείπονται χρήσιμες πληροφορίες, προκειμένου να μπορούν να γίνουν οι κατάλληλες μοντελοποιήσεις, ώστε να δημιουργηθεί κάποιο εφικτό και αποδοτικό business model.

Η συνεντευζιαζόμενη σημειώνει πως, παρά την κατάσταση συμφόρησης που χαρακτηρίζει το ελληνικό δίκτυο και την αβεβαιότητα που εμποδίζει τους πολίτες να εμπλακούν στην ενεργειακή αγορά, το μέλλον φέρνει αναγκαστική προσαρμογή στις αρχές λειτουργίας της DR. Λόγω της περιορισμένης παροχής ενέργειας, θα καταστεί αδύνατο για τους καταναλωτές να ακολουθήσουν την ισχύουσα καταναλωτική συμπεριφορά τους. Θα αναγκαστούν να προσαρμοστούν στον περιορισμό της κατανάλωσης ως απάντηση σε σήματα που θα λαμβάνουν από το δίκτυο. Όσο νωρίτερα εκπαιδευτεί ο κάθε καταναλωτής στη νοοτροπία αυτή, τόσο πιο εύκολα θα περάσει στην νέα εποχή κατανάλωσης.

4.2.1 MINOAN: Εφαρμογή Μηχανισμών Διαχείρισης Φορτίου σε Ελληνική Ενεργειακή Κοινότητα

Μεταξύ του Ιουνίου 2021 και του Ιουλίου 2022 πραγματοποιήθηκε, ως μέρος της πρωτοβουλίας NESOI (New Energy Solutions Optimised for Islands), μελέτη εφαρμοσιμότητας, εξετάζοντας την υλοποίηση ενός έξυπνου συστήματος δικτύου για την Ενεργειακή Κοινότητα MINOAN στην Κρήτη (βλ. υποκεφάλαιο 2.7.4). Το έργο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου που περιλαμβάνει οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς χρήστες και δημοτικές υποδομές, με ιδιαίτερη έμφαση σε δύο μεγάλες αθλητικές εγκαταστάσεις. Η τελική παράδοση της μελέτης έγινε τον Φεβρουάριο του 2023.

Ο βασικός στόχος της είναι η εφαρμογή αποκεντρωμένης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενσωματωμένης στις λειτουργίες του έξυπνου δικτύου. Το σύστημα ενσωματώνει υποδομές φόρτισης V2G και στοχεύει στην εκμετάλλευση της απορριπτόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα στο νησιωτικό δίκτυο της Κρήτης. Το έργο επιδιώκει την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, καθώς και τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Το τεχνικό αντικείμενο περιλαμβάνει συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (BESS) για οικιακές και αθλητικές εγκαταστάσεις, μετατροπείς ισχύος, ελεγκτές έξυπνου δικτύου και υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που συνδυάζουν τεχνολογίες V2G και V1G (φόρτιση των οχημάτων με μεταβαλλόμενο κόστος και βάσει προκαθορισμένου προγράμματος, ανάλογα με τη χωρητικότητα και την επιβάρυνση του δικτύου). Η περιοχή υλοποίησης καλύπτει την Ενεργειακή Κοινότητα MINOAN, συμπεριλαμβανομένων 100 οικιακών αυτοκαταναλωτών και δύο αθλητικών εγκαταστάσεων. Το έργο περιλαμβάνει επίσης 16 σταθμούς φόρτισης EV που είναι στρατηγικά κατανομημένοι σε πολλούς δήμους.

Η μελέτη παρέχει λεπτομερή ανάλυση των τεχνικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών μπαταριών, των ηλεκτρονικών ισχύος, των συστημάτων ελέγχου και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Η οικονομική ανάλυση εξετάζει διάφορα σενάρια οικονομικής βιωσιμότητας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως τα τιμολόγια επιστροφής και το κόστος παροχής ενέργειας, καθώς και τη μετάβαση του δικτύου της Κρήτης από μη διασυνδεδεμένο σε διασυνδεδεμένο.

Η πρωταρχική στρατηγική διαχείρισης παροχής που εξετάζεται περιλαμβάνει την αποθήκευση της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας κατά τις περιόδους περικοπών και την επανατροφοδότησή της στο δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης. Για τη διαχείριση της παροχής αξιοποιείται ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System, EMS), το οποίο συντονίζεται με τους διαχειριστές δικτύου και τους ιδιοκτήτες αιολικών πάρκων. Το EMS λαμβάνει σήματα σχετικά με την περικοπή των αιολικών πάρκων και τη ζήτηση του δικτύου και, στη συνέχεια, αποφασίζει πόση ενέργεια πρέπει να αποθηκευτεί, με βάση τα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών. Μπορεί επίσης να καθορίσει ποιες μονάδες αποθήκευσης θα πρέπει να εγχείουν ενέργεια πίσω στο δίκτυο, με βάση τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις επικουρικών υπηρεσιών. Σημειώνεται πως το κόστος συσκευών EMS, όπως το ενεργειακό κουτί CIRCE, είναι πολύ οικονομικό, ενώ οι λειτουργίες του άκρως

προσαρμοζόμενες. Εξετάζεται και η εγκατάσταση τεχνολογιών V2G για την ενίσχυση των μηχανισμών διαχείρισης φορτίου, όμως τα ρυθμιστικά πλαίσια δεν το καθιστούν ακόμα δυνατό. Αντ' αυτού, εφαρμόζονται τεχνολογίες V1G, μέσω των οποίων αξιοποιείται η περίσσεια αιολική ενέργεια για τη φόρτιση EVs, κατά τη διάρκεια περιόδων περικοπών.

Η ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου του έξυπνου δικτύου αποκαλύπτει διαφορετικά επίπεδα κερδοφορίας, ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης και τους όρους επιστροφής. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, ενώ οι οικιακές εγκαταστάσεις για ιδιώτες μπορεί να έχουν οριακή οικονομική βιωσιμότητα σύμφωνα με τις τρέχουσες παραδοχές, οι υλοποιήσεις αθλητικών συγκροτημάτων επιδεικνύουν ισχυρό οικονομικό δυναμικό, γεγονός που υποδηλώνει μια πιο ευνοϊκή πορεία υλοποίησης, μέσω εγκαταστάσεων μεγαλύτερης κλίμακας.

Η μελέτη σκοπιμότητας αντιμετωπίζει αρκετές σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προτού προχωρήσει η υλοποίηση. Τα κύρια νομοθετικά κενά περιλαμβάνουν την έλλειψη ειδικής νομοθεσίας για τα αυτόνομα συστήματα αποθήκευσης σε οικιακές εφαρμογές χαμηλής τάσης/χαμηλής ισχύος, το ελλιπές πλαίσιο λειτουργίας των εικονικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, τους ελλιπείς κανονισμούς προσαρμογής οχημάτων στο δίκτυο, τους μη ανεπτυγμένους κανονισμούς ενεργειακού αρμπιτράζ και την ανάγκη προσαρμογής των κωδικών δικτύου για τα συστήματα αποθήκευσης. Το πιο κρίσιμο είναι ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένοι τύποι αποζημίωσης και τιμολόγια για την αποθηκευμένη ενέργεια. Το έργο αντιμετωπίζει τεχνικές πολυπλοκότητες υλοποίησης, λόγω του κατακευκτικού χαρακτήρα του σε πολλαπλές τοποθεσίες εγκατάστασης, οι οποίες απαιτούν συντονισμένες προσπάθειες σχεδιασμού και κατασκευής. Η ολοκλήρωση απαιτεί εξελιγμένα συστήματα επικοινωνίας και προσαρμοσμένες μονάδες ελέγχου. Το επιχειρηματικό μοντέλο παραμένει ασαφές, λόγω της έλλειψης νομοθετικού πλαισίου, ιδίως όσον αφορά τη μετάβαση της Κρήτης από ένα μη διασυνδεδεμένο σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα.

Το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης στόχευε στην ολοκλήρωση μέχρι τον Μάιο 2024, ωστόσο αυτό εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από την επίλυση αυτών των νομοθετικών, τεχνικών και οικονομικών προκλήσεων. Παρόλο που, από την ολοκλήρωση της μελέτης, έχουν υπάρξει ρυθμιστικές εξελίξεις στο ενεργειακό τοπίο των ΑΠΕ και των ενεργειακών κοινοτήτων, πολλά ζητήματα (όπως η ασάφεια του επιχειρηματικού μοντέλου και το ελλιπές πλαίσιο λειτουργίας των μονάδων αποθήκευσης) παραμένουν άλυτα. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πολύτιμα για μελλοντικές προσπάθειες εφαρμογής μεθόδων διαχείρισης δικτύου και εγκατάστασης έξυπνου δικτύου σε ελληνικές νησιωτικές μονάδες, ενώ ταυτόχρονα η μελέτη καθιστά εμφανές ότι ένα πρώτο βήμα για την καλύτερη διαχείριση ενέργειας και την αποφυγή σπατάλης, είναι η αξιοποίηση μεγάλων αθλητικών μονάδων και αντίστοιχης κατανάλωσης κέντρων. [111]

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Στην εργασία αυτή αναλύθηκε σε βάθος ο ρόλος των ενεργειακών κοινοτήτων και της απόκρισης ζήτησης στην ενεργειακή μετάβαση, ενώ ακόμη εξετάστηκαν οι ρυθμιστικές συνθήκες για τις ενεργειακές κοινότητες και την απόκριση ζήτησης στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρουσιάζεται μια καθαρή εικόνα για την τεράστια προσφορά των ενεργειακών κοινοτήτων και της DR, σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, καθώς, με αυτές τις έννοιες στο κέντρο της, σταδιακά σχηματίζεται η μορφή της ενεργειακής κατανάλωσης του μέλλοντος.

Οι ενεργειακές κοινότητες παρέχουν σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα μέσω της συλλογικής διαχείρισης και της κοινής υποδομής, επιτρέποντας τη μείωση του κόστους και τη συλλογική αυτοκατανάλωση. Δημιουργούν τοπικές θέσεις εργασίας και τονώνουν την περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη. Στο κοινωνικό μέτωπο, προωθούν τον εκδημοκρατισμό των ενεργειακών συστημάτων μέσω της συμμετοχής των πολιτών, συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας και υποστηρίζουν τοπικές αναπτυξιακές πρωτοβουλίες. Από περιβαλλοντικής άποψης, προωθούν την αυξημένη υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων μετάβασης στην καθαρή ενέργεια και μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέσω της τοπικής παραγωγής ενέργειας.

Οι μηχανισμοί DR ενισχύουν τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα του δικτύου, ενώ παράλληλα βελτιώνουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βελτιστοποιούν τη χρήση ενέργειας και εξισορροπούν τη ζήτηση του δικτύου, μειώνοντας την ανάγκη για πρόσθετη δυναμικότητα παραγωγής ενέργειας. Για τους χρήστες, η DR παρέχει μειωμένο ενεργειακό κόστος, μέσω δυναμικής τιμολόγησης και κινήτρων, προσφέροντας μεγαλύτερο έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ δημιουργεί νέες ευκαιρίες εσόδων μέσω υπηρεσιών ευελιξίας και επιτρέπει την ευρύτερη συμμετοχή στις αγορές ενέργειας.

Η ενσωμάτωση της DR στις Ενεργειακές Κοινότητες δημιουργεί ισχυρές συνέργειες. Ο συνδυασμός αυτός βελτιώνει την τοπική διαχείριση της ενέργειας και την αυτοκατανάλωση, ενώ επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση των ανανεώσιμων πόρων της κοινότητας.

Δημιουργεί ευκαιρίες για ομότιμες συναλλαγές ενέργειας και βελτιστοποιεί το συλλογικό ενεργειακό κόστος. Η ενσωμάτωση ενισχύει τη συμμετοχή της κοινότητας στις αγορές ενέργειας και διευκολύνει την ομαλότερη προσαρμογή στην υπάρχουσα υποδομή δικτύου. Αυτή η συνδυασμένη προσέγγιση επιτρέπει πιο εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και υποστηρίζει τη μετάβαση σε πιο έξυπνα, πιο ευέλικτα τοπικά ενεργειακά συστήματα. Η συνεργιστική εφαρμογή των ενεργειακών κοινοτήτων και της απόκρισης ζήτησης δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που μεγιστοποιεί τα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη για τους συμμετέχοντες, ενώ παράλληλα προωθεί τόσο τους τοπικούς στόχους βιωσιμότητας όσο και την ευρύτερη αποδοτικότητα του ενεργειακού συστήματος. Η ενσωμάτωση αυτή αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα προς ένα πιο βιώσιμο και εκδημοκρατισμένο ενεργειακό μέλλον.

Αναγνωρίζοντας τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ενεργειακές κοινότητες στην εφαρμογή της DR, μπορούν να σχεδιαστούν βήματα δράσης για την πλήρη ενσωμάτωση και απρόσκοπτη χρήση της στο πλαίσιο των ενεργειακών κοινοτήτων. Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα αποτελεί η ρυθμιστική αναδιάρθρωση. Το ρυθμιστικό πλαίσιο θα πρέπει να καθιερώνει σαφή νομικά πλαίσια για τις ενεργειακές κοινότητες και τη συμμετοχή τους στις αγορές DR, να τυποποιεί τις απαιτήσεις για την χρήση DR στις κοινότητες και να απλοποιεί τις απαιτήσεις συμμετοχής των κοινοτήτων στις ενεργειακές αγορές, ενώ ταυτόχρονα να είναι σύγχρονο και ενημερωμένο, και να εκπροσωπεί τις τεχνολογικές καινοτομίες [63]. Στο πλαίσιο των ρυθμιστικών αλλαγών, προτείνεται η ενίσχυση της ευελιξίας των κοινοτήτων και η μετατροπή τους σε «εικονικούς» συσσωρευτές, που μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες ευελιξίας στο δίκτυο, διαχειριζόμενοι αποτελεσματικά τις μετατοπίσεις φορτίου. Αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει στις κοινότητες να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, υποστηρίζοντας παράλληλα τη σταθερότητα του δικτύου [106].

Το δεύτερο βήμα είναι η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Η ευρεία υιοθέτηση έξυπνων μετρητών, συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης και συσκευών IoT θα διευκολύνει την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των πρωτοβουλιών για την αποκατάστασή της. Επιπλέον, η εξοικείωση με την τεχνολογία blockchain μπορεί να εξορθολογήσει τις συναλλαγές εντός των ενεργειακών κοινοτήτων, εξασφαλίζοντας διαφάνεια στις ανταλλαγές ενέργειας και δίνοντας κίνητρα για τη συμμετοχή σε προγράμματα DR μέσω έξυπνων συμβολαίων [106]. Σημαντικό είναι στα παραπάνω να υιοθετηθεί μια φιλοσοφία προσεγγισιμότητας από τον χρήστη, καθώς όσο βελτιώνονται οι φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές και οι στρατηγικές δέσμευσης, η αποδοχή των τεχνολογιών DR από τους καταναλωτές είναι πιθανό να αυξηθεί [89].

Βέβαια, όλα τα παραπάνω αφορούν σε δεύτερο χρόνο την Ελλάδα. Όπως αναφέρεται στο κεφ. 4.2, οι εγχώριες ρυθμιστικές συνθήκες είναι βαθιά ελλιπείς, τόσο που δεν καθιστούν δυνατή την εφαρμογή οποιουδήποτε μηχανισμού DR, εντός ή εκτός ενεργειακών κοινοτήτων. Συνεπώς για την Ελλάδα, το πρώτο βήμα είναι η διαλεύκανση του ρυθμιστικού τοπίου, ώστε να είναι δυνατές οι έρευνες μοντελοποίησης και η διαμόρφωση μηχανισμών DR που ταιριάζουν καλύτερα στις ελληνικές συνθήκες και ανάγκες.

Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για άμεση καταπολέμηση της ενεργειακής κρίσης, η ελληνική

πολιτεία προχωρά στη θεσμοθέτηση του προγράμματος «Απόλλων»(Ν. 5106/2024 [112]), με στόχο τη μείωση του ενεργειακού κόστους των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης Α' και Β' βαθμού, των Τοπικών και Γενικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων, των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης, καθώς των ενεργειακά ευάλωτων νοικοκυριών. Το πρόγραμμα στοχεύει στην κάλυψη του συνόλου ή μέρους των ενεργειακών αναγκών των δικαιούχων μέσω της εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ με ή χωρίς αποθήκευση και της εφαρμογής εικονικού συγχρονισμένου συμφηφισμού. Στους δικαιούχους του προγράμματος περιλαμβάνονται οι δικαιούχοι του Κοινωνικού Οικιακού Τιμολογίου Α' (ευάλωτα νοικοκυριά), οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης πρώτου και δεύτερου βαθμού και οι ενώσεις και τα νομικά τους πρόσωπα, οι Τοπικοί και Γενικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων και οι διάδοχοί τους, καθώς και οι Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Αποχέτευσης.

Οι σταθμοί ΑΠΕ για το πρόγραμμα αυτό εγκαθίστανται από τρίτους σε διαφορετική θέση από τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης και σε οποιαδήποτε Περιφέρεια. Συμφηφίζουν συγχρονισμένα την παραγόμενη ενέργεια με την αντίστοιχη ενέργεια που απορροφάται από το Δίκτυο και καταναλώνεται στις εγκαταστάσεις κατανάλωσης των δικαιούχων. Για τους δικαιούχους σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, οι σταθμοί ΑΠΕ εγκαθίστανται στο αντίστοιχο Ηλεκτρικό Σύστημα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, των οποίων τις ενεργειακές ανάγκες καλύπτουν.

Η συμμετοχή στο πρόγραμμα προϋποθέτει τη δημιουργία σε κάθε Περιφέρεια Ενεργειακής Κοινότητας Πολιτών, με μέλη τους δικαιούχους, εκτός από τους δικαιούχους του ΚΟΤ Α' που δεν απαιτείται να είναι μέλη. Μία σημαντική για τις ενεργειακές κοινότητες παράμετρος του προγράμματος Απόλλων αποτελεί η ανάθεση της ευθύνης εγκατάστασης και διαχείρισης των σταθμών ΑΠΕ σε τρίτους, αντί στις ίδιες τις CECs. Συγκεκριμένα, οι υπεύθυνοι εγκατάστασης και διαχείρισης καλούνται να υλοποιήσουν τη σύνδεση των σταθμών σύμφωνα με τους όρους της ανταγωνιστικής διαδικασίας και να ορίσουν υπεύθυνο για τον συμφηφισμό και τον επιμερισμό της παραγόμενης ενέργειας. Μετά το πέρας της διάρκειας των σχετικών συμβάσεων, οι σταθμοί μεταβιβάζονται στις εκάστοτε CECs.

Η Κοινωνική Συνεταιριστική Επιχείρηση Electra Energy, εκφράζει τους προβληματισμούς της σχετικά με το πρόγραμμα, υπογραμμίζοντας κάποια άξια αναφοράς σημεία-κλειδιά. Τα σημεία αυτά υπογραμμίστηκαν και από την εκπρόσωπο της Electra Energy κατά τη συνέντευξη που διεξήχθη στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Βασικός προβληματισμός είναι η διατήρηση της φιλοσοφίας των ενεργειακών κοινοτήτων. Όπως σημειώνεται, το πρόγραμμα αναφέρεται σε «κλειστές»ουσιαστικά κοινότητες, χωρίς ελεύθερη, ανοιχτή και ισότιμη συμμετοχή των πολιτών, όπως αναφέρεται στην εθνική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Η εξωτερική υλοποίηση και διαχείριση των έργων ενέχει τον κίνδυνο της μη διασφάλισης της αυτονομίας και της ανεξαρτησίας της κοινότητας αλλά και τη μη τήρηση της αρχής περί οικονομικής συμμετοχής των μελών. Ακόμη χωρίς την ιδιοκτησία και την διαχείριση των ενεργειακών έργων, τα μέλη της κοινότητας χάνουν το χαρακτηριστικό του αυτοπαραγωγού, γεγονός αντιθετικό στην ιδιότητά τους ως μέλη ενεργειακής κοινότητας. Ουσιαστικά, οι κοινότητες του προγράμματος «Απόλλων»δεν θα ακολουθούν τις επτά συνεταιριστικές αρχές (βλ. πλαίσιο 2.7.5), οπότε

δεν θα αφορούν πλέον συνεταιριστικές πρωτοβουλίες όπως αναφέρεται στον ορισμό των ενεργειακών κοινοτήτων. Ακόμη, εντός του Ν. 5106/2024 ([112]), αναφέρεται πως «δύναται να χορηγείται στους επιλέξιμους σταθμούς επενδυτική ενίσχυση από πόρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης και άλλες πηγές χρηματοδότησης», γεγονός που θορυβεί τους εκπροσώπους των ενεργειακών κοινοτήτων, καθώς οι πόροι αυτοί αφορούν και τις ίδιες.

Τέλος, η κατανομή των περιθωρίων ισχύος στο πρόγραμμα 'Απόλλων' ενδέχεται να επηρεάσει δυσμενώς τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικού χώρου για τις Ενεργειακές Κοινότητες, καθώς εντάσσονται στην ίδια κατηγορία διάθεσης ισχύος. Συγκεκριμένα, ορίζεται πως από το όριο απορρόφησης ισχύος 10MW ανά Υποσταθμό που διαθέτει ο διαχειριστής του δικτύου, τα 4MW αφορούν τον δευτερογενή και τριτογενή τομέα, τις RECs και τις CECs, υπάρχουσες και νεοσύστατες, μέσω του προγράμματος 'Απόλλων'. Σημειώνεται πως εντός του Ν.5106/2024 αναφέρεται πως για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής του προγράμματος θα υπάρξει σχετική Υπουργική Απόφαση, με την οποία θα καθοριστούν τα βασικά σημεία εφαρμογής των έργων. Την στιγμή συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν έχει ανακοινωθεί κάποια σχετική απόφαση.

Η εξέλιξη του προγράμματος και η τελική εφαρμογή του αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το μέλλον των ενεργειακών κοινοτήτων στην Ελλάδα. Η εφαρμογή του ως έχει, με την εγκαθίδρυση αυτής της νέας μορφής κοινοτήτων (κλειστές προς τους πολίτες και χωρίς τις ιδιότητες της αυτονομίας, της ισότιμης οικονομικής συμμετοχής των μελλών, της αυτοκατανάλωσης και της ενεργειακής δημοκρατίας, τουλάχιστον μέχρι και την ολοκλήρωση των αρχικών συμβάσεων) απομακρύνει τις ενεργειακές κοινότητες από τους αρχικούς εθνικούς και ευρωπαϊκούς ορισμούς τους, και όσα οφέλη αυτοί συνεπάγονται (βλ. υποκεφάλαιο 1.4).

Βιβλιογραφία

- [1] European Commission, ‘2050 Long-term Strategy.’ Accessed: 2024-09-10.
- [2] Aura Caramizaru and Andreas Uihlein, *Energy Communities: An Overview of Energy and Social Innovation*. EUR - Scientific and Technical Research Reports, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.
- [3] European Commission, ‘REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe,’ 2023. Accessed: October 29, 2024.
- [4] Covenant of Mayors - Europe, ‘Energy Poverty.’ Accessed: October,10,2024.
- [5] Sun4All, ‘Sun4All Project.’ Accessed: 2024-10-08.
- [6] Vögele, Stefan and Broska, Lisa Hanna and Ross, Andrew and Rübbelke, Dirk, ‘Macroeconomic impacts of energy communities and individual prosumers: an assessment of transformation pathways,’ *Energy, Sustainability and Society*, May 2023.
- [7] European Commission, ‘The European Green Deal,’ 2024. Accessed: October 8, 2024.
- [8] European Commission, ‘Energy Communities,’ 2024.
- [9] Vida Rozite, Matthieu Prin, Silvia Laera, Josh Oxby and Alexandre Roussel, ‘Empowering people – the role of local energy communities in clean energy transitions,’ 2023. International Energy Agency, CC BY 4.0.
- [10] Haji Bashi, Mazaher and De Tommasi, Luciano and Le Cam, Andreea and Sánchez Relano, Lorena and Lyons, Padraig and Mundo, Joana and Pandelieva-Dimova, Ivanka and Schapp, Henrik and Loth-Babut, Karolina and Egger, Christiane and others, ‘A review and mapping exercise of energy community regulatory challenges in European member states based on a survey of collective energy actors,’ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [11] ‘Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast),’ 2018. Accessed: 2024-09-23.

- [12] ‘Enercoop: Renewable, Citizen, and Solidarity Energy Cooperatives,’ 2024. Accessed: 15-Oct-2024.
- [13] Coletta, Guido and Pellegrino, Luigi, ‘Optimal Design of Energy Communities in the Italian Regulatory Framework,’ *AEIT*, 2021. 978-88-87237-50-4 ©2021 AEIT.
- [14] ‘Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU,’ 2019. Accessed: 2024-09-23.
- [15] Dorian Frieden and Andreas Tuerk and Josh Roberts and Stanislas D’Herbement and Andrej F. Gubina and Benjamin Komel, ‘Overview of emerging regulatory frameworks on collective self-consumption and energy communities in Europe,’ in *2019 IEEE*, IEEE, 2019.
- [16] ‘Brupower: The Citizen Energy Cooperative of Brussels,’ 2024. Accessed: 15-Oct-2024.
- [17] ‘SeaCoop: Citizen Offshore Power,’ 2024. Accessed: 15-Oct-2024.
- [18] Henner Busch and Salvatore Ruggiero and Aljosa Isakovic and Teis Hansen, ‘Policy challenges to community energy in the EU: A systematic review of the scientific literature,’ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021.
- [19] European Union, ‘DIRECTIVE (EU) 2019/944 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU,’ 2019.
- [20] Julia M. Groza, Seyyed Ali Sadat, Koami S. Hayibo, Joshua M. Pearce, ‘ Using a ledger to facilitate autonomous peer-to-peer virtual net metering of solar photovoltaic distributed generation,’ *Solar Energy Advances*, 2024.
- [21] Angel Ordonez, Esteban Sanchez, Lydia Rozas, Raul Garcia, Javier Parra-Domínguez, ‘Net-metering and net-billing in photovoltaic self-consumption: The cases of Ecuador and Spain ,’ *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2022.
- [22] Vladimir Z. Gjorgievski, Snezana Cundeva, Natasa Markovska, George E. Georghiou, ‘Virtual net-billing: A fair energy sharing method for collective self consumption,’ *Energy*, 2022.
- [23] Jun Maekawa, Koji Shimada, Ai Takeuchi, ‘Sustainability of renewable energy investment motivations during a feed-in-tariff scheme transition: evidence from a laboratory experiment,’ *The Japanese Economic Review*, 2022.

- [24] Rohit Trivedi, Mohamed Bahloul, Aziz Saif, Sandipan Patra, Shafi Khadem, ‘Comprehensive Dataset on Electrical Load Profiles for Energy Community in Ireland,’ *Scientific Data*, 2024.
- [25] Tetiana Kurbatova, Iryna Sotnyk, Olha Prokopenko, Iryna Bashynska, Uliana Pysmenna, ‘Improving the Feed-in Tariff Policy for Renewable Energy Promotion in Ukraine’s Households,’ *Energies*, 2023.
- [26] Giancarlo Aquila, Paulo Rotella Junior, Luiz Celio Souza Rocha, Pedro Paula Balestrassi, Edson de Oliveira Pamplona, Wilson Toshiro Nakamura, ‘Net metering rolling credits vs. net billing buyback: An economic analysis of a policy option proposal for photovoltaic prosumers,’ *Renewable Energy*, 2024.
- [27] Hanguan Wen, Xiufeng Liu, Ming Yang, Bo Lei, Xu Cheng, Zhe Chen, ‘An energy demand-side management and net-metering decision framework,’ *Energy*, 2023.
- [28] Jung-Sung Park, Seung Wan Kim, Ji Woo Lee, ‘P2P credit auction vs. net-metering: Benefit analysis for prosumers under incremental block rate electricity tariff,’ *Applied Energy*, 2024.
- [29] European Commission, ‘Clean energy for all Europeans package.’ Accessed: 2024-09-10.
- [30] ‘Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652,’ 2023.
- [31] ‘Germany’s Energy Transition: Direkt Account Information.’ Accessed: 15-Oct-2024.
- [32] ‘Heating and Cooling: Energy Efficiency.’ Accessed: 15-Oct-2024.
- [33] European Parliament and Council of the European Union, ‘DIRECTIVE (EU) 2023/1791 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL,’ 2023. Official Journal of the European Union, L 231/1.
- [34] The European Parliament and the Council of the European Union, ‘Directive on the Energy Performance of Buildings,’ 2024. Official Journal of the European Union, EAI: <https://δατα.ευρωπαϊκή.ελι/διδ/2024/1275/οθ>.
- [35] The European Parliament and the Council of the European Union, ‘Directive on common rules for the internal electricity market,’ *Official Journal of the European Union*, ολ. Α 158, ππ. 125–199, 2019.
- [36] The European Parliament and the Council of the European Union, ‘Regulation (EU) 2023/955 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a Social Climate Fund and amending Regulation (EU) 2021/1060,’ 2023.

- [37] European Commission, ‘Citizen-led Renovation.’ Accessed: 2024-10-16.
- [38] REScoop.eu, ‘Citizen-Led Renovation.’ Accessed: 2024-10-16.
- [39] European Commission, ‘Staggering Response to Citizen-Led Renovation Phase II Call.’ Accessed: 2024-10-16.
- [40] European Commission, ‘Energy Communities Repository Products,’ 2024. Accessed: 2024-10-16.
- [41] Zaļā brīvība, ‘Energokopienas.’ Accessed: 2024-10-16.
- [42] ‘Energetska zadruga Drenova,’ 2024. Accessed: 2024-10-16.
- [43] ‘Izgrei Bulgaria.’ Accessed: 2024-10-16.
- [44] European Commission, ‘EU Mayors.’ Accessed: 2024-10-16.
- [45] European Commission, ‘Energy Communities Repository: Policy Database.’ Accessed: September 25, 2024.
- [46] ‘Νόμος Υπ’ Αριθμ. 4430/2016 - Κοινωνική και Αλληλέγγυα Οικονομία και Ανάπτυξη των Φορέων της,’ *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, ολ. Α’, νο. 205, ππ. 1–25, 2016. Εκδόθηκε την 31η Οκτωβρίου 2016.
- [47] ‘Νόμος Υπ’ Αριθμ. 4513 - Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις,’ *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, ολ. Α’, νο. 9, ππ. 385–392, 2018. Εκδόθηκε την 23η Ιανουαρίου 2018.
- [48] ΔΕΠΑ ΕΜΠΟΡΙΑΣ Α.Ε., ‘Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).’ Accessed: 2024-10-28.
- [49] ΔΕΔΔΗΕ, ‘Συχνές Ερωτήσεις - Απαντήσεις για την Εφαρμογή Εικονικού Ενεργειακού Συμφηγισμού από Αυτοπαραγωγούς,’ 2019.
- [50] Energy Communities Repository, ‘Greece Policy Overview,’ September 2023.
- [51] Δημοκρατίας, ‘Νόμος Υπ’ Αριθμ. 5037: Μετονομασία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας σε Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων,’ 2023. 28 Μαρτίου 2023.
- [52] Pablo Benalcazar, Maciej Kalka, Jacek Kamiński, ‘Transitioning from net-metering to net-billing: A model-based analysis for Poland,’ *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2024.
- [53] ΚΟΙΝΕΡΓΕΙΑ, ‘Ενεργειακή Κοινότητα Ηπειρωτών,’ 2024. Accessed 2024-10-30.
- [54] ΥΠΕΡΙΩΝ, ‘Ενεργειακή Κοινότητα ΥΠΕΡΙΩΝ.’ Accessed 2024-10-30.

- [55] Κοινότητα Χάλκης «Κάλχιον», ‘Αναφορά για την Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης «Κάλχιον».’ Accessed 2024-10-30.
- [56] Minoan Energy, ‘Μινώα Ενεργειακή: Η πρώτη ενεργειακή κοινότητα στην Κρήτη,’ 2024. Accessed 2024-10-30.
- [57] WEn Cooperative, ‘Ωεν ζοοπερατιε: Ενεργειακή Κοινότητα από Γυναίκες Επιχειρηματίες,’ 2024. Accessed 2024-10-30.
- [58] Coen Cooperative, ‘Ενεργειακή Κοινότητα Coen,’ 2024. Accessed 2024-10-30.
- [59] ‘Δέσμη Ενεργειακών Κοινοτήτων,’ 2025. Accessed: 2025-01-4.
- [60] International Cooperative Alliance, ‘Cooperative identity, values principles.’ Accessed: 2025-01-16.
- [61] Electric Power Research Institute. Accessed: 2024-11-13.
- [62] F. Shariatzadeh and P. Mandal and A. K. Srivastava, ‘Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy,’ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May 2015.
- [63] Honarmand, Mohammad Esmaeil and Hosseinneshad, Vahid and Hayes, Barry and Shafie-Khah, Miadreza and Siano, Pierluigi, ‘An Overview of Demand Response: From Its Origins to the Smart Energy Community,’ *IEEE Access*, 2021.
- [64] Pierluigi Siano, ‘Demand response and smart grids—A survey,’ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jan 2014.
- [65] Matteo Ranaboldo and M. Aragües-Peñalba and E. Arica and A. Bade and E. Bullich-Massague and A. Burgio and C. Caccamo and A. Caprara and D. Cimmino and B. Domenech and I. Donoso and G. Fragapane and P. Gonzalez-Font-de-Rubinat and E. Jahnke and M. Juanpera and E. Manafi and J. Rovekamp and R. Tani, ‘A comprehensive overview of industrial demand response status in Europe,’ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024.
- [66] Pelekis, Sotiris and Pipergias, Angelos and Karakolis, Evangelos and Mouzakitis, Spiros and Santori, Francesca and Ghoreishi, Mohammad and Askounis, Dimitris, ‘Targeted demand response for flexible energy communities using clustering techniques,’ *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2023.
- [67] Wang, Bo and Zhang, Cuo and Chen, Xingying and Xu, Yan and Yu, Kun and Hua, Haochen and Dong, Zhao Yang, ‘Price-based Demand Response Supported Three-stage Hierarchically Coordinated Voltage Control for Microgrids,’ *IEEE Transactions on Power Systems*, 2024.

- [68] Yan Wu, Xiaoyun Tiana, Ling Gai, Boon-Han Lim, Tingdong Wu, Dachuan Xua, Yong Zhang, ‘Energy management for PV prosumers inside microgrids based on Stackelberg–Nash game considering demand response,’ *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2024.
- [69] Felix Langner, Jovana Kovačević, Philipp Zwickel, Thomas Dengiz, Moritz Frahm, Simon Waczowicz, Hüseyin K. Çakmak, Jörg Matthes, Veit Hagenmeyer, ‘Coordinated price-based control of modulating heat pumps for practical demand response and peak shaving in building clusters,’ *Energy Buildings*, 2024.
- [70] Kein Huat Chua, Huoy Lih Bong, Yun Seng Lim, Jianhui Wong, Li Wang, ‘The State-of-the-Arts of Peak Shaving Technologies: A Review,’ *(8th) International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies*, 2020.
- [71] C. Wimmmler, G. Hejazi, E. de Oliveira Fernandes, C. Moreira, S. Connors, ‘Impacts of Load Shifting on Renewable Energy Integration ,’ *Energy Procedia*, 2017.
- [72] Christos Ioakimidis, Dimitrios Thomas, Pawel Rycerski, Konstantinos Genikomsakis, ‘Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non residential buildings using an electric vehicle parking lot ,’ *Energy*, 2018.
- [73] Hashemi Mohammad Hassan, Majid Moradlou, Mehdi Bigdeli, ‘Energy Management of Industrial Loads In a Smart Micro grid Using Particle Swarm Optimization Algorithm,’ 2015.
- [74] European Commission, ‘Commission Regulation (EU) 2017/2195 of 23 November 2017 establishing a guideline on electricity balancing,’ 2017. OJ L 312, 28.11.2017, p. 6–53.
- [75] ‘Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity,’ 2019.
- [76] ‘Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU,’ 2019.
- [77] ‘Directive (EU) 2024/1711 of the European Parliament and of the Council of 11 October 2024,’ 2024.
- [78] ‘Regulation (EU) 2024/1747 of the European Parliament and of the Council of 29 October 2024,’ 2024.
- [79] EU DSO Entity and ENTSO-E, ‘Proposal for a Network Code on Demand Response,’ May 2024.
- [80] ‘Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα,’ Δεκέμβριος 2019. Αθήνα, Ελλάδα.

- [81] European Commission, ‘Commission Opinion of 29.11.2021 Pursuant to Article 20(5) of Regulation (EU) No 2019/943 on the Implementation Plan of Greece,’ November 2021. Brussels, Belgium.
- [82] ‘Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council,’ 2018.
- [83] ‘Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα – Αναθεωρημένη Έκδοση,’ Αύγουστος 2024.
- [84] Cuiling Wang, Baolong Wang, Fengqi You, ‘Demand response for residential buildings using hierarchical nonlinear model predictive control for plug-and-play,’ *Applied Energy*, 2024.
- [85] Harsh, Pratik and Sun, Hongjian and Das, Debapriya and Awagan, Goyal and Jiang, Jing, ‘A Stochastic Incentive-based Demand Response Program for Virtual Power Plant with Solar, Battery, Electric Vehicles, and Controllable Loads,’ 2024.
- [86] Aziz Saif, Shafi K. Khadem, Michael F. Conlon, and Brian Norton, ‘Impact of Distributed Energy Resources in Smart Homes and Community-Based Electricity Market,’ *TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*, 2023.
- [87] Mohamed Bahloul and Liam Breathnach and Shafi Khadem, ‘Design and Field Implementation of a Hierarchical Control Solution for Residential Energy Storage Systems,’ *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2022.
- [88] Gao, Ang and Zheng, Jianyang and Mei, Fei and Liu, Yu, ‘Toward intelligent demand-side energy management via substation-level flexible load disaggregation,’ *Applied Energy*, ολ. 340, π. 120426, 2023.
- [89] Eisele, Philipp and Carrilho, Filipa Alexandra Na and Bojja, Divya and Pelote, Pedro and Valderrama, César, ‘Readiness of demand response technology for Spanish Energy Communities,’ *Energy Strategy Reviews*, 2024.
- [90] Barnabé, Guilherme Pinheiro and Tofoli, Fernando Lessa and Mello, Lucas Silveira and Sampaio, Raimundo Furtado and Antunes, Fernando Luiz Marcelo and Leão, Ruth Pastôra Saraiva, ‘Non-intrusive demand response management strategy to mitigate the impacts of residential electric vehicle charging on distribution systems,’ *Energy Strategy Reviews*, 2024.
- [91] He Li, Pengyu Wang, Debin Fang, ‘Differentiated pricing for the retail electricity provider optimizing demand response to renewable energy fluctuations,’ *Energy Economics*, 2024.
- [92] Rekha Swami, Sunil Kumar Gupta R.C. Bansal, ‘ Integrating Demand Response with Unit Commitment in Insular Microgrid considering Forecasting Errors and Battery Storage,’ *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2024.

- [93] Xinlin Wang, Hao Wang, Binayak Bhandari, Leming Cheng, ‘AI-Empowered Methods for Smart Energy Consumption: A Review of Load Forecasting, Anomaly Detection and Demand Response,’ *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2023.
- [94] Zhe Chen, Yongbao Chen, Ruikai He, Jingnan Liu, Ming Gao, Lixin Zhang, ‘Multi-objective residential load scheduling approach for demand response in smart grid,’ *Sustainable Cities and Society*, 2021.
- [95] Dharmaraj Kanakadhurga, Natarajan Prabakaran, ‘Price-based demand response with renewable energy sources and peer-to-peer trading for residential microgrid with electric vehicle uncertainty,’ *Computers and Electrical Engineering*, 2024.
- [96] Bakul Kandpal, Stian Backe, Pedro Crespo del Granado, ‘Enhancing bargaining power for energy communities in renewable power purchase agreements using Gaussian learning and fixed price bargaining,’ *Energy*, 2024.
- [97] Yonggang Li, Yuanjin Zhang, Yaotong Su, Weinong Wu, Lei Xia, ‘Optimal economic configuration by sharing hydrogen storage while considering distributed demand response in hydrogen-based renewable microgrid,’ *Renewable Energy*, 2024.
- [98] Yanni Wan, Jiahu Qin, Xinghuo Yu, Tao Yang, and Yu Kang, ‘Price-Based Residential Demand Response Management in Smart Grids: A Reinforcement Learning-Based Approach,’ *Journal of Automatica Sinica*, 2022.
- [99] Ehsan Nokandi, Mostafa Vahedipour-Dahraie, Saeed Reza Goldani, Pierluigi Siano, ‘A decision-making model for joint energy and reserve scheduling of wind power producers with local intraday demand response exchange market,’ *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2024.
- [100] Lyu-Guang Hua, Ghulam Hafeez, Baheej Alghamdi, Hisham Alghamdi, Farrukh Aslam Khan, Safeer Ullah, ‘Demand response with pricing schemes and consumers mode constraints for energy balancing in smart grids,’ *Applied Energy*, 2024.
- [101] Jawad Hussain, Qi Huang, Syed Adrees Ahmed, Jian Li, Fazal Hussain, Baqir Ali Mirjat, Zhenyuan Zhang, ‘A fully decentralized demand response and prosumer peer-to-peer trading for secure and efficient energy management of community microgrid,’ *Energy*, 2024.
- [102] Aziz Saif and Shafi K. Khadem and Michael Conlon and Brian Norton, ‘Local Electricity Market Operation in Presence of Residential Energy Storage in Low Voltage Distribution Network: Role of Retail Market Pricing,’ *Energy Reports*, 2023.
- [103] Aziz Saif, Shafi K. Khadem, Michael F. Conlon, and Bria Norton, ‘Hosting a community-based local electricity market in a residential network,’ *IET Energy Systems Integration*, 2022.

- [104] Mariam Sangar'e, Eric Bourreau, Bernard Fortz, Amaury Pachurka, Michael Poss, 'Loads scheduling for demand response in energy communities,' *Computers and Operations Research*, 2022.
- [105] Jake Barnes, Paula Hansen, Tanja Kamin, Ursa Golob, Monica Musolino, Agatino Nicita, 'Energy communities as demand-side innovators? Assessing the potential of European cases to reduce demand and foster flexibility,' *Energy Research Social Science*, 2022.
- [106] Maria Luisa Di Silvestre, Mariano Giuseppe Ippolito, Eleonora Riva Sanseverino, Giuseppe Sciume, Antony Vasile, 'Energy self-consumers and renewable energy communities in Italy: New actors of the electric power systems,' *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021.
- [107] Magnus Askeland, Stian Backe, Sigurd Bjarghov, Karen Byskov Lindberg, Magnus Korpas, 'Activating the potential of decentralized flexibility and energy resources to increase the EV hosting capacity: A case study of a multistakeholder local electricity system in Norway,' *Smart Energy*, 2021.
- [108] 'Schoonschip-Amsterdam.' Accessed: 2023-02-04.
- [109] Elena Tarpani, Cristina Piselli, Claudia Fabiani, Ilaria Pigliautile, Eelke J. Kingma, Benedetta Pioppi, Anna Laura Pisello, 'Energy Communities Implementation in the European Union: Case Studies from Pioneer and Laggard Countries,' *Sustainability*, 2021.
- [110] 'DR-RISE Project.' Accessed: 2023-02-04.
- [111] Kartalidis, Avraam and Palla, Vasiliki and Montanelli, Alexandra and Laterza, Luigi and Jovicic, Sasa and Slovenec, Ana and Katsaprakakis, Dimitrios, 'Smart Grid for the Minoan EC members,' Technical Feasibility Study Δ056.3, NESOI - New Energy Solutions Optimised for Islands, February 2023. EU Islands Facility NESOI, Grant Agreement No. 864266.
- [112] 'Νόμος Υπ' Αριθμ. 5106 - Ρυθμίσεις για την αντιμετώπιση των πολυεπίπεδων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους τομείς: α) της διαχείρισης υδάτων, β) της διαχείρισης και προστασίας των δασών, γ) της αστικής ανθεκτικότητας και πολιτικής, δ) της καταπολέμησης της αυθαίρετης δόμησης, ε) της ενεργειακής ασφάλειας και άλλες επείγουσες διατάξεις,' *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, 2024. Εκδόθηκε την 1η Μαΐου 2024.