



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευφυή ενεργειακά δίκτυα και έξυπνη διαχείριση της ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις

Κοκονέλης Ανδρέας

A.M. 1064949

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ανδρικόπουλος Αθανάσιος

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τις προπτυχιακές μου σπουδές, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου που στάθηκαν στο πλευρό μου από την πρώτη στιγμή και με στήριξαν τόσο οικονομικά όσο και ψυχολογικά. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές μου του ΤΜΗΥΠ του Πανεπιστημίου Πατρών για τη βοήθεια τους και ιδιαίτερα τον κ. Αθανάσιο Ανδρικόπουλο για τη διαρκή και ανιδιοτελή συνεργασία του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Τα Ευφυή Ενεργειακά Δίκτυα και η Έξυπνη Διαχείριση της Ενέργειας αποτελούν καινοτόμες προσεγγίσεις για τη βελτίωση της απόδοσης ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Τα Ευφυή Ενεργειακά Δίκτυα ενσωματώνουν προηγμένες τεχνολογίες όπως οι έξυπνες μετρήσεις, οι αισθητήρες και τα δίκτυα επικοινωνίας για τον συντονισμό και τον έλεγχο της ενέργειας.

Η Έξυπνη Διαχείριση της Ενέργειας εστιάζει στην εφαρμογή ευφυών συστημάτων για τον παρακολούθηση, έλεγχο και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση προγραμματιζόμενων συστημάτων ελέγχου, προβλέψεων και αναλύσεων δεδομένων για την εξατομίκευση της παροχής ενέργειας σύμφωνα με τις ανάγκες του κτιρίου και των χρηστών του.

Αυτές οι προσεγγίσεις συμβάλλουν στη μείωση του κόστους ενέργειας, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την προαγωγή της βιωσιμότητας. Επιπλέον, προσφέρουν ευκαιρίες για τη συμμετοχή σε ενεργειακά δίκτυα, συνδέοντας διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Αυτό δημιουργεί ένα έξυπνο οικοσύστημα ενέργειας που μπορεί να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και συνθήκες, προωθώντας έτσι την εξέλιξη προς μια πιο αποδοτική και βιώσιμη κατανάλωση ενέργειας.

Τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως μείωση απωλειών καθώς μπορούν να μειώσουν τις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10-20%. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορούν να εντοπίσουν και να διορθώσουν τα προβλήματα στο δίκτυο πιο γρήγορα και αποτελεσματικά. Επίσης, παρέχουν αυξημένη ασφάλεια καθώς μπορούν να αυξήσουν την ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορούν να ανιχνεύσουν και να αποτρέψουν διακοπές ρεύματος πιο γρήγορα. Τέλος, μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς μπορούν να προσαρμόσουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες της ζήτησης.

Λέξεις – κλειδιά: Ευφυή Ενεργειακά Δίκτυα, Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας, Ενεργειακή Αποδοτικότητα, Ενεργειακή Αυτονομία, Διαχείριση της ζήτησης, Μείωση κόστους ενέργειας, Έξυπνοι αισθητήρες, Υπολογιστικό Νέφος, Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Abstract

Intelligent Energy Networks and Smart Energy Management represent innovative approaches to enhance energy efficiency in building facilities. Intelligent Energy Networks incorporate advanced technologies such as smart metering, sensors, and communication networks for the coordination and control of energy.

Smart Energy Management focuses on implementing intelligent systems for monitoring, controlling, and optimizing energy consumption. This involves the use of programmable control systems, predictions, and data analyses to customize energy provision according to the building's needs and user requirements.

These approaches contribute to reducing energy costs, improving efficiency, and promoting sustainability. Additionally, they offer opportunities for participation in energy networks by connecting various building facilities into an integrated system. This creates a smart energy ecosystem capable of adapting to changing needs and conditions, promoting the evolution toward more efficient and sustainable energy consumption.

Intelligent energy networks have several advantages, such as reducing losses by detecting and correcting network problems faster and more effectively, enhancing security by quickly detecting and preventing power outages, and improving the reliability of power supply by adjusting it according to demand.

Keywords: Intelligent Energy Networks, Smart Energy Management, Energy Efficiency, Energy Autonomy, Demand Management, Cost Reduction in Energy, Smart Sensors, Computational Cloud, IoT.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	5
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή υπάρχουσας κατάστασης.....	3
1.1 Εντοπισμός προβλημάτων στην υπάρχουσα κατάσταση διαχείρισης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και ΑΠΕ.....	3
1.2 Η συνεισφορά της απόκρισης ζήτησης και της TN στην αποδοτική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.....	4
1.3 Βασικές έννοιες διπλωματικής	5
Κεφάλαιο 2 – Ευφυή ενεργειακά δίκτυα	8
2.1 Τρέχουσα κατάσταση παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας	8
2.2 Ευφυή ενεργειακά δίκτυα	9
2.3 Ένα προηγμένο σύστημα έξυπνης ενέργειας βασισμένο στο IoT.....	10
2.4 Σύστημα διαχείρισης ενέργειας οικιακής χρήσης με βάση τη ζήτηση, τις έξυπνες τεχνολογίες και τους ευφυείς ελεγκτές.....	14
2.5 Εφαρμογές έξυπνων τεχνολογιών για ευφυή Hems.....	17
2.5.1 Λειτουργίες του HEMS.....	19
2.5.2 Αρχιτεκτονική HEMS.....	20
2.5.3 Smart home energy management system (SHEMS).....	22
2.5.4 Σύστημα διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έξυπνου σπιτιού.....	23
2.6 Έξυπνοι αισθητήρες σε οικιακές συσκευές και σε πρωτόκολλα επικοινωνίας	24
2.7 Εφαρμογές των τεχνικών ελέγχου προγραμματισμού στο Hems	26
2.8 Ελεγκτής προγράμματος HEM με τεχνικές AI.....	27
2.9 Ελεγκτής προγράμματος HEM με χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης.....	30
2.10 Συμπεράσματα σχετικά με τα HEMS.....	33
Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας σε εκπαιδευτικά κτίρια με χρήση υποδομής IoT.....	35
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Project Γαία και εξοικονόμηση ενέργειας	36
3.3 Τα βήματα της μεθοδολογίας Γαία	38
3.4 Από τα δεδομένα μεγάλου όγκου στις έξυπνες ενεργειακές υπηρεσίες.....	41
3.4.1. Εισαγωγή	42
3.4.2 Πρόοδος πέρα από την τελευταία τεχνολογία.....	44
Κεφάλαιο 4 – Υπολογιστικό Νέφος για διαχείριση ενέργειας σε κατοικίες.....	47
4.1 Ιδιότητες υπολογιστικού νέφους στη διαχείριση ενέργειας.....	47
4.2 Υπολογιστική Νέφους και αρχιτεκτονικές βασισμένες σε μετρήσεις	48
4.2.1 Τεχνικές βασισμένες σε υπολογισμό νέφους για διαχείριση ενέργειας σε κτίρια ...	49
4.2.2 Έξυπνες μετρήσεις και διαχείριση ενέργειας σε κτήρια/κατοικία.	52

4.2.3 Άλλες σχετικές προσεγγίσεις για διαχείριση της ενέργειας σε κτίρια/κατοικίες	56
Κεφάλαιο 5 – Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα	58
5.1 Έννοια των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων	58
5.2 Βασικές Τεχνολογικές Εξελίξεις για Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα	59
5.2.1 Ευφυής Νέα Τεχνολογία Πρόβλεψης Παραγωγής Ενέργειας	59
5.2.2 Προηγμένες Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας.....	60
5.2.3 Ολοκληρωμένος Μηχανισμός Ψηφιακής Ενέργειας Αγοράς και Υπηρεσιών.....	62
5.3 Εφαρμογή του IoT σε Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα.....	63
5.3.1 Εφαρμογή σε Πολιτικές Ενεργειακών Λειτουργιών.....	63
5.3.2 Συνεισφορά έξυπνων δικτύων	64
5.4 Μεθοδολογία υπό μελέτη συστήματος	67
5.5 Επίδραση βιώσιμων κτιρίων στο περιβάλλον	70
5.6 Επιτάχυνση αλλαγής στις έξυπνες κοινωνίες - ένα στρατηγικό πλαίσιο βασισμένο στη γνώση για την έξυπνη ενεργειακή μετάβαση των αστικών κοινοτήτων.....	71
5.7 Από τις συνδεδεμένες κοινότητες σε ένα συνδεδεμένο κόσμο	72
5.8 Κοινότητες Ενέργειας και Μηδενικού Άνθρακα.....	74
5.9 Έννοιες μικροδικτύων και νανοδικτύων.....	75
5.10 Κοινωνικοί Παράγοντες και Έξυπνος Μετασχηματισμός.....	77
5.11 Έξυπνος οδικός χάρτης μετασχηματισμού.....	78
Κεφάλαιο 6 – Μελέτη Περίπτωσης.....	85
6.1 Χρήση ΤΠΕ για βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης	85
6.2 Ανάπτυξη ΤΠΕ επόμενης γενιάς για έξυπνα κτήρια.	86
6.3 Ενεργειακή απόδοση σπιτιού: Ο Φάρος.....	89
6.3.1 Ολοκληρωμένες κτιριακές υπηρεσίες ΤΠΕ.....	91
Κεφάλαιο 7 – Πληροφοριακό Σύστημα σε Java για Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων	92
Συμπεράσματα.....	116
Μελλοντικές εξελίξεις	118
Αναφορές.....	120
Παράρτημα Κώδικα	124

Εισαγωγή

Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις αναφέρεται στη χρήση προηγμένης τεχνολογίας και ανάλυσης δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στα κτίρια. Αυτό περιλαμβάνει την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαφόρων κτιριακών συστημάτων όπως θέρμανση, εξαερισμός, κλιματισμός (HVAC), φωτισμός και ηλεκτρικές συσκευές για τη μείωση της σπατάλης ενέργειας και τη βελτίωση της απόδοσης. Υπάρχουν πολλά βασικά στοιχεία της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις, όπως η παρακολούθηση και ανάλυση ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων, μετρητών και άλλων συσκευών παρακολούθησης για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη χρήση ενέργειας και τον εντοπισμό περιοχών σπατάλης ή αναποτελεσματικότητας.

Επιπλέον, τα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων ελέγχουν διάφορα συστήματα κτιρίων, όπως HVAC και φωτισμό, με βάση τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και τις προτιμήσεις των χρηστών για τη μείωση της χρήσης ενέργειας. Ένας ενεργειακά αποδοτικός εξοπλισμός περιλαμβάνει τη χρήση ενεργειακά αποδοτικού φωτισμού, συστημάτων HVAC και συσκευών για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα ηλιακά πάνελ, μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας και να βελτιστοποιήσει περαιτέρω τη χρήση ενέργειας.

Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις προσφέρει πολλά οφέλη, όπως μειωμένο ενεργειακό κόστος, βελτιωμένη άνεση των επιβατών και χαμηλότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει τους ιδιοκτήτες και τους διαχειριστές κτιρίων να συμμορφωθούν με τους ενεργειακούς κανονισμούς και τις πιστοποιήσεις όπως το LEED και το ENERGY STAR.

Το Κεφάλαιο 1 της παρούσας εργασίας περιγράφει τον προβληματισμό της εργασίας καθώς και το στόχο που εξυπηρετεί. Στη συνέχεια αναφέρει τη βιβλιογραφική αιτιολόγησή της και τις βασικές έννοιες που χρησιμοποιεί.

Το Κεφάλαιο 2 μελετά τα Ευφυή ενεργειακά δίκτυα, ξεκινώντας από την τρέχουσα κατάσταση παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας και στη συνέχεια συνεχίζει με τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα και τα πλεονεκτήματά τους καθώς και με ένα προηγμένο σύστημα έξυπνης ενέργειας βασισμένο στο IoT. Το Κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη μελέτη ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας οικιακής χρήσης με βάση τη ζήτηση, τις έξυπνες τεχνολογίες και τους ευφυείς ελεγκτές καθώς και με εφαρμογές έξυπνων τεχνολογιών για ευφυή Hems και με τους έξυπνους

αισθητήρες σε οικιακές συσκευές και σε πρωτόκολλα επικοινωνίας. Επιπλέον, αναφέρει και ένα ελεγκτή προγράμματος HEM με τεχνικές AI καθώς και ένα ελεγκτή προγράμματος HEM με χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης.

Το Κεφάλαιο 3 ασχολείται με τη μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας σε εκπαιδευτικά κτίρια με χρήση υποδομής IoT και πιο συγκεκριμένα με το Project Γαία και εξοικονόμηση ενέργειας. Το Κεφάλαιο ολοκληρώνεται με το πέρασμα από τα δεδομένα μεγάλου όγκου στις έξυπνες ενεργειακές υπηρεσίες.

Το κεφάλαιο 4 μελετά το Υπολογιστικό Νέφος για διαχείριση ενέργειας σε κατοικίες και πιο συγκεκριμένα τις ιδιότητες υπολογιστικού νέφους στη διαχείριση ενέργειας καθώς και την Υπολογιστική Νέφος και αρχιτεκτονικές βασισμένες σε μετρήσεις αλλά και άλλες σχετικές προσεγγίσεις για διαχείριση της ενέργειας σε κτίρια/κατοικίες

Το Κεφάλαιο 5 εστιάζει στα Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα καθώς επίσης και τις βασικές τεχνολογικές εξελίξεις για τα συστήματα αυτά. Επιπλέον, εστιάζει στην επίδραση βιώσιμων κτιρίων στο περιβάλλον και στην επιτάχυνση αλλαγής στις έξυπνες κοινωνίες που αποτελεί ένα στρατηγικό πλαίσιο βασισμένο στη γνώση για την έξυπνη ενεργειακή μετάβαση των αστικών κοινοτήτων. Το Κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη μελέτη Κοινοτήτων Ενέργειας και Μηδενικού Άνθρακα και τις έννοιες των μικροδικτύων και νανοδικτύων καθώς και τον κοινοτικό μετασχηματισμό της έξυπνης ενέργειας.

Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή υπάρχουσας κατάστασης

1.1 Εντοπισμός προβλημάτων στην υπάρχουσα κατάσταση διαχείρισης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και ΑΠΕ

Οι *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* αποτελούν ενέργεια που προέρχεται από φυσικές πηγές που αναπληρώνονται με υψηλότερο ρυθμό από ό,τι καταναλώνονται. Το φως του ήλιου και ο άνεμος, για παράδειγμα, είναι κάποιες πηγές που αναπληρώνονται συνεχώς. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άφθονες και μας περιβάλλουν παντού. Τα ορυκτά καύσιμα - άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο - από την άλλη πλευρά, είναι μη ανανεώσιμοι πόροι που χρειάζονται εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν.

Τα ορυκτά καύσιμα, όταν καίγονται για την παραγωγή ενέργειας, προκαλούν επιβλαβείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας δημιουργεί πολύ χαμηλότερες εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία επί του παρόντος αντιπροσωπεύουν τη μερίδα του λέοντος στις εκπομπές, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι το κλειδί για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τα τελευταία χρόνια φθηνότερες στις περισσότερες χώρες και δημιουργούν τρεις φορές περισσότερες θέσεις εργασίας από τα ορυκτά καύσιμα.

Η αυξανόμενη τάση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και η ταχεία ανάπτυξή τους τα τελευταία χρόνια, θέτει βασικές προκλήσεις για τους διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για να προσαρμοστεί αυτό το νέο μείγμα παραγωγής ενέργειας, τα ενεργειακά συστήματα αναγκάζονται να υποστούν ταχεία μεταμόρφωση. Η πλειονότητα των ΑΠΕ χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα και διαλείποντα, γεγονός που κάνει απρόβλεπτη την ισχύ της εξόδου τους (δηλαδή εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία ή την ταχύτητα του ανέμου). Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν πιο δύσκολη τη λειτουργία και τη διαχείριση των συστημάτων ισχύος, διότι απαιτείται περισσότερη ευελιξία για τη διασφάλιση της κανονικής λειτουργίας και σταθερότητάς τους. Οι κύριες προσεγγίσεις για την παροχή ευελιξίας είναι η ενοποίηση υπηρεσιών ταχείας δράσης προσφοράς, διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης και αποθήκευσης ενέργειας

Επιπλέον, η λειτουργία των συστημάτων ισχύος εισέρχεται στην ψηφιακή εποχή. Οι νέες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT – Internet of Things), η παρακολούθηση και ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, η ενέργεια και τα έξυπνα συμβόλαια peer-to-peer, καθώς και η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο των ενεργειακών περιουσιακών στοιχείων μπορούν να οδηγήσουν σε συστήματα ισχύος που είναι πιο αποδοτικά, ασφαλή, αξιόπιστα, ανθεκτικά και βιώσιμα. Επιπλέον, αρκετές χώρες (τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και παγκοσμίως) έχουν θέσει φιλόδοξους στό-

χους για μαζική ανάπτυξη προηγμένων υποδομών μέτρησης (AMI - Advanced Metering Infrastructure)¹, Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Γραφείο Αγορών Φυσικού Αερίου και Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ofgem - Office for Gas and Electricity Markets) έχει ορίσει στόχο 53 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου να εγκατασταθούν έως το 2020 (E. Theodoridis, 2018).

1.2 Η συνεισφορά της απόκρισης ζήτησης και της TN στην αποδοτική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας

Η έννοια της *Απόκρισης Ζήτησης* (*DR – Demand Response*) παρέχει την ευκαιρία στους καταναλωτές να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου μειώνοντας ή μετατοπίζοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής ως απάντηση σε χρεώσεις βάσει χρόνου ή άλλες μορφές οικονομικών κινήτρων. Προγράμματα απόκρισης ζήτησης χρησιμοποιούνται από ορισμένους σχεδιαστές και διαχειριστές ηλεκτρικών συστημάτων ως επιλογές πόρων για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης. Τα συγκεκριμένα προγράμματα μπορούν να μειώσουν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στις αγορές χονδρικής και με τη σειρά τους να οδηγήσουν σε χαμηλότερες τιμές λιανικής.

Οι μέθοδοι προσέλκυσης πελατών στις προσπάθειες απόκρισης της ζήτησης περιλαμβάνουν την προσφορά τιμών βάσει χρόνου, όπως τιμολόγηση χρόνου χρήσης, τιμολόγηση κρίσιμης αιχμής, τιμολόγηση μεταβλητής αιχμής, τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο αλλά και εκπτώσεις κρίσιμης αιχμής. Περιλαμβάνονται μάλιστα προγράμματα άμεσου ελέγχου φορτίου που παρέχουν τη δυνατότητα στις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας να ενεργοποιούν και να απενεργοποιούν κλιματιστικά και θερμοσίφωνες σε περιόδους αιχμής ζήτησης με αντάλλαγμα ένα οικονομικό κίνητρο και χαμηλότερους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος (C. Withanage, 2019).

Ο μεγάλος αυτός όγκος δεδομένων που δημιουργείται από αυτήν την υποδομή (IoT, AMI) χρίζει αυτοματοποιημένων τρόπων ανάλυσης των δεδομένων. Επιπρόσθετα, η μετάβαση σε πιο ενεργά, αποκεντρωμένα και πολύπλοκα συστήματα ισχύος, δημιουργεί εργασίες που μπορούν γρήγορα να γίνουν αδιαχείριστες για τους χειριστές. Οι προσεγγίσεις τεχνητής νοημοσύνης έχουν αναγνωριστεί ως βασικό εργαλείο για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων στα συστήματα ισχύος. Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί μια χρήσιμη τεχνική για την πρόβλεψη της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας, τη βελτιστοποίηση της συντήρησης των ενεργειακών πόρων, την κατανόηση των καλύτερων προτύπων χρήσης ενέργειας, καθώς και την παροχή σταθερότητας και αποδοτικότητας σε οποιοδήποτε σύστημα ισχύος.

¹ Ο έξυπνος μετρητής είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει πληροφορίες όπως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τα επίπεδα τάσης, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος. Οι έξυπνοι μετρητές κοινοποιούν τις πληροφορίες στον καταναλωτή για μεγαλύτερη σαφήνεια της συμπεριφοράς κατανάλωσης και οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας για την παρακολούθηση του συστήματος και τη τιμολόγηση των πελατών.

Τυπικοί τομείς εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα ή η τομεακή σύζευξη ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και μεταφορών. Για την αύξηση της χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης στο ενεργειακό σύστημα απαιτείται η ψηφιοποίηση του ενεργειακού τομέα. Η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά να γίνει η ενεργειακή βιομηχανία πιο αποτελεσματική και ασφαλής, αναλύοντας και αξιολογώντας τους όγκους δεδομένων.

Οι *Αλγόριθμοι Πρόβλεψης Ζήτησης (Demand Forecasting Algorithms)* είναι μια πτυχή της επιχειρηματικής ανάλυσης που δίνει προσοχή στην πρόβλεψη των επιπέδων ανάγκης για ένα συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία του μέλλοντος. Η πρόβλεψη των επιπέδων δεν είναι πάντα αντικειμενική αλλά ποικίλες φορές υποκειμενική (O. Ardakanian, 2020). Οι υποκειμενικές προβλέψεις, οι οποίες βασίζονται σε απόψεις και εμπειριστατωμένες υποθέσεις, είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη της ζήτησης όταν τα προϊόντα και οι υπηρεσίες είναι νέα και δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Οι αντικειμενικές προβλέψεις, από την άλλη πλευρά, είναι καθ' όλη τη φύση τους ποσοτικές. Αυτός ο τύπος πρόβλεψης χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα καθώς και εργαλεία λογισμικού στατιστικής, εξόρυξης δεδομένων και μηχανικής μάθησης έτσι ώστε να ποσοτικοποιήσει τις προβλέψεις με μαθηματικά αποτελέσματα.

1.3 Βασικές έννοιες διπλωματικής

Η έννοια της *απόκρισης ζήτησης (DR – Demand Response)* είναι η εθελοντική μείωση ή μετατόπιση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους πελάτες, η οποία μπορεί να βοηθήσει να διατηρήσει ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σταθερό ισοσταθμίζοντάς την προσφορά και τη ζήτηση ενέργειας. Έτσι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να γίνουν πιο ευέλικτα και αξιόπιστα, κάτι που είναι ευεργετικό εάν περιέχουν αυξανόμενα μερίδια μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας (O. Ardakanian, 2020).

Το DR είναι επίσης ένας γρήγορος και οικονομικά αποδοτικός τρόπος μείωσης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής, παρέχοντας μια εναλλακτική λύση στην αύξηση της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται ή στην κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, έχει την δυνατότητα να μειώσει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής, μειώνοντας την πιθανότητα διακοπής ρεύματος. Παράλληλα μπορεί να μετατοπίσει τη ζήτηση σε περιόδους εκτός αιχμής ή όταν η παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι υψηλή. Τέλος μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αυξάνεται σημαντικά όταν η ζήτηση είναι αρκετά μεγάλη. (W. Tushar, 2021).

Η έννοια της *Τεχνητής Νοημοσύνης (AI – Artificial Intelligence)* είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που αναπτύσσει συστήματα μηχανών ικανά να επιδεικνύουν συμπεριφορές που συνδέονται με την ανθρώπινη νοημοσύνη. Τα προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούν δεδομένα που συλλέγονται από διαφορετικές αλληλεπιδράσεις για να βελτιώσουν τον τρόπο με τον οποίο μιμούνται συμπεριφορές των ανθρώπων προκειμένου να εκτελούν εργασίες όπως μάθηση, σχεδιασμός, αναπαράσταση γνώσης, αντίληψη και επίλυση προβλημάτων. Η Τεχνητή Νοημοσύνη γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στην ενεργειακή βιομηχανία και έχει μεγάλες δυνατότητες για τον μελλοντικό σχεδιασμό του ενεργειακού συστήματος. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να κάνει απλούστερη την καθημερινότητα των ανθρώπων αυτοματοποιώντας τη λήψη αποφάσεων, καθώς και αυτοματοποιώντας τον προγραμματισμό και τον έλεγχο του πλήθους των συσκευών που χρησιμοποιούνται.

Η έννοια της *Μηχανικής Μάθησης (ML – Machine Learning)* ως κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης χρησιμοποιείται συχνά σε σύνδεση με την τεχνητή νοημοσύνη και έχει καίρια σημασία στην ενεργειακή βιομηχανία. Βέβαια η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη δεν είναι το ίδιο, αφού η πρώτη περιλαμβάνει ένα μέρος του AI και όχι ολόκληρο (W. Tushar, 2021). Μηχανική μάθηση σημαίνει ότι οι μηχανές μπορούν να μάθουν ανεξάρτητα, δηλαδή να εξάγουν συμπεράσματα για το μέλλον από τις εμπειρίες τους και να λύνουν προβλήματα που δεν υπήρχαν στο παρελθόν.

Τα *Συστήματα Ενεργειακών Προϊόντων - Υπηρεσιών (EPSS - Energy Product Service Systems)* είναι επιχειρηματικά μοντέλα που παρέχουν συνεκτική παράδοση προϊόντων και υπηρεσιών. Τα μοντέλα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (*PSS - Product Service Systems*) αναδεικνύονται ως μέσο για τη συλλογική κατανάλωση τόσο προϊόντων όσο και υπηρεσιών, με στόχο τα ευνοϊκά για το περιβάλλον αποτελέσματα. Τα συστήματα προϊόντων – υπηρεσιών, είναι το σύστημα κατά την προσφορά μιας επιχείρησης ενός μείγματος προϊόντων και υπηρεσιών. Ως εμπορεύσιμα σύνολα προϊόντων και υπηρεσιών τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ικανοποιήσουν από κοινού τις ανάγκες ενός χρήστη, τα PSS μπορούν να υλοποιηθούν από έξυπνα προϊόντα (G. Cuffaro, 2020).

Η αρχική μετάβαση στο PSS δημιουργήθηκε σε μεγάλο βαθμό από την ανάγκη μέρους των παραδοσιακών κατασκευαστικών εταιρειών να αντιμετωπίσουν τις μεταβαλλόμενες δυνάμεις της αγοράς και την αναγνώριση ότι οι υπηρεσίες σε συνδυασμό με προϊόντα θα μπορούσαν να προσφέρουν υψηλότερα κέρδη από τα προϊόντα καθ' αυτά (G. Cuffaro, 2020). Οι εταιρίες βρέθηκαν αντιμέτωπες με τη συρρίκνωση των αγορών και την αυξημένη εμπορευματοποίηση των προϊόντων τους με αποτέλεσμα να αντιληφθούν την παροχή υπηρεσιών ως μια νέα πορεία προς το κέρδος και την ανάπτυξη.

Οι *Αλγόριθμοι Πρόβλεψης Ζήτησης (Demand Forecasting Algorithms)* για το χειρισμό της αυξανόμενης ποικιλίας και πολυπλοκότητας των προβλέψεων ζήτησης, έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σε τρεις κατευθύνσεις πρόβλεψης ζήτησης: Η *Ποιοτική Πρόβλεψη Ζήτησης* προβλέπει μελλοντικές πωλήσεις χρησιμοποιώντας τις απόψεις και τα ένστικτα των πιθανών πελατών, των πωλητών και των ειδικών του κλάδου. Η *Πρόβλεψη Ζήτησης Χρονοσειρών* βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα υποθέτοντας ότι οι τάσεις της ζήτησης δεν θα διαφέρουν σημαντικά από έτος σε έτος. Η *Περιστασιακή Πρόβλεψη Ζήτησης* λαμβάνει υπόψη εξωτερικούς οικονομικούς δείκτες και χρησιμοποιεί μοντέλα παλινδρόμησης για να αναζητήσει σχέσεις μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.

Κεφάλαιο 2 – Ευφυή ενεργειακά δίκτυα

2.1 Τρέχουσα κατάσταση παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας

Κατά την παραγωγή, διανομή και κατανάλωση ενέργειας, παράγεται τεράστιος όγκος δεδομένων. Για την αποτελεσματική χρήση των ενεργειακών πόρων, συλλέγονται και χρησιμοποιούνται διαφορετικά συμπληρωματικά δεδομένα όπως πληροφορίες κτιρίων, καιρικές συνθήκες και περιβαλλοντικά δεδομένα. Όλα αυτά τα ενεργειακά δεδομένα και τα σχετικά δεδομένα δημοσιεύονται ως συνδεδεμένα δεδομένα προκειμένου να ενισχυθεί η επαναχρησιμοποίηση των δεδομένων και να μεγιστοποιηθεί η ικανότητα των υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας.

Ωστόσο, η ποιότητα αυτών των συνδεδεμένων δεδομένων είναι αμφισβητήσιμη λόγω της φθοράς των αισθητήρων, των αναξιόπιστων καναλιών επικοινωνίας και της μεγάλης ποικιλίας πηγών δεδομένων. Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας απαιτεί συνδεδεμένα δεδομένα υψηλής ποιότητας, τα οποία θα μειώνουν το κόστος χρέωσης και θα βελτιστοποιούν ως κάποιο βαθμό την ποιότητα του περιβάλλοντος διαβίωσης. Οι μεθοδολογίες αξιολόγησης και βελτίωσης της ποιότητας δεδομένων μαζί με συνδεδεμένα δεδομένα πρέπει να επεξεργάζονται διαφορετικά δεδομένα από πολύ διαφορετικές πηγές δεδομένων. Η αρχιτεκτονική που βασίζεται σε μικροϋπηρεσίες είναι μεγάλης σημασίας για την επεξεργασία πολύ διαφορετικών συνδεδεμένων δεδομένων με αρθρωτή, επεκτασιμότητα και αξιοπιστία (Ali & Khan et. al., 2017).

Προτείνεται από αρκετούς ερευνητές μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε μικροϋπηρεσίες μαζί με δεδομένα τομέα και οντολογίες μεταδεδομένων για τη βελτίωση και την αξιολόγηση της ποιότητας των συνδεδεμένων δεδομένων που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας. Η συλλογή ενεργειακών δεδομένων με την πάροδο των χρόνων γίνεται ολοένα και πιο κοινή πρακτική στον κτιριακό τομέα. Οι τρέχουσες εφαρμογές περιλαμβάνουν την κατανόηση των τοπικών ροών ενέργειας και την παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης μεμονωμένων κτιρίων. Επιπλέον, οι ερευνητικές και εμπορικές εφαρμογές σε συγκροτήματα κτιρίων παραμένουν ακόμα ανεξερευνήτες και σχετικά άγνωστες (A. Ramirez et. al., 2020).

Η έρευνα είναι απαραίτητη για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τα δεδομένα που συλλέγονται, ώστε να μπορούν να αντιμετωπιστούν κατάλληλες εφαρμογές για αυτήν καθώς και ευκαιρίες για βελτίωση των προσπαθειών συλλογής δεδομένων. Σε αντίθεση με τα μοντέλα που βασίζονται στη μηχανική μάθηση, οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε δεδομένα μπορούν να ποσοτικοποιήσουν την αβεβαιότητα στη χρήση ενέργειας και τις προβλέψεις οικονομίας με ή χωρίς λεπτομερείς πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Με την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να βοηθήσουν τις πολιτείες και τους φορείς να εντοπίσουν ανακαινίσεις κτιρίων χαμηλού κινδύνου ή υψηλής ενέργειας στις πανεπιστημιούπολεις.

Ωστόσο, αυτοί οι αλγόριθμοι περιορίζονται από τη διαθεσιμότητα, τον όγκο και το εύρος των δεδομένων. Πρόκληση σε αυτήν την εποχή αποτελεί η μέτρηση στη διαχείριση, οργάνωση και ανάλυση δεδομένων καθώς και στη διατήρηση του απορρήτου (D. Maltoni et. al., 2020).

2.2 Ευφυή ενεργειακά δίκτυα

Τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα, γνωστά και ως έξυπνα δίκτυα, είναι εκσυγχρονισμένα ηλεκτρικά δίκτυα που χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας, υπολογιστών και ελέγχου για να βελτιώσουν την απόδοση, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα δίκτυα επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των καταναλωτών, η οποία επιτρέπει την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και διαχείριση του ενεργειακού δικτύου (A. Jain et. al, 2018).

Τα έξυπνα δίκτυα ενσωματώνουν μια σειρά τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων προηγμένων υποδομών μέτρησης, αισθητήρων, συστημάτων αυτοματισμού, αποθήκευσης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, ενσωματώνουν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και τεχνητή νοημοσύνης για την ανάλυση δεδομένων, την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας και τη βελτιστοποίηση της διανομής ενέργειας.

Τα οφέλη των ευφύων ενεργειακών δικτύων περιλαμβάνουν αυξημένη απόδοση, μειωμένες εκπομπές άνθρακα, βελτιωμένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα και βελτιωμένη ασφάλεια του δικτύου. Δημιουργούν επίσης νέες “πόρτες”, νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες για τους καταναλωτές, όπως τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο καθώς και προγράμματα ανταπόκρισης στη ζήτηση, τα οποία δίνουν κίνητρο στους καταναλωτές να αλλάξουν τη χρήση ενέργειας σε περιόδους μεγάλης ζήτησης. Η εφαρμογή ευφύων ενεργειακών δικτύων θεωρείται θεμελιώδες συστατικό της μετάβασης σε ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό περιβάλλον.

Τα **πλεονεκτήματα** των ευφύων ενεργειακών δικτύων συνοψίζονται στη συνέχεια (A. Aftab et. al., 2021):

-Αυξημένη ενεργειακή απόδοση: Τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα παρέχουν μεγαλύτερη ορατότητα και έλεγχο της χρήσης ενέργειας, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να δημιουργήσουν σημαντική πρόοδο στην παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ενέργειας με αποτέλεσμα την μειωμένη σπατάλη ενέργειας και την υψηλότερη απόδοση.

-Μειωμένες εκπομπές άνθρακα: Επιτρέποντας την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια στο δίκτυο, τα ευφυή δίκτυα ενέργειας μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα και να συνεισφέρουν στην συρρίκνωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής γεγονός που βοηθά το περιβάλλον γενικότερα.

-Βελτιωμένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα: Τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για να εντοπίζουν και να ανταποκρίνονται σε διακοπές και άλλες δύσκολες καταστάσεις του δικτύου πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, βελτιώνοντας τη συνολική αξιοπιστία.

-Ενισχυμένη ασφάλεια δικτύου: Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων ασφαλείας σε ευφυή ενεργειακά δίκτυα συμβάλλει στην προστασία του δικτύου από επιθέσεις στον κυβερνοχώρο και άλλες απειλές για την ασφάλεια.

-Αυξημένος έλεγχος καταναλωτή: Τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα παρέχουν στους καταναλωτές περισσότερο έλεγχο στη χρήση ενέργειας μέσω της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο και των προγραμμάτων ανταπόκρισης στη ζήτηση.

Τα **μειονεκτήματα** των ευφυών ενεργειακών δικτύων συνοψίζονται στη συνέχεια (A. Aftab et. al., 2021):

-Κόστος: Η εγκατάσταση και η συντήρηση της υποδομής που απαιτείται για ευφυή ενεργειακά δίκτυα είναι μερικές φορές αρκετά δαπανηρή. Αυτό το κόστος επιβαρύνει συνήθως τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, οι οποίες ενδέχεται να το μεταφέρουν στους καταναλωτές με τη μορφή υψηλότερων λογαριασμών ενέργειας.

-Πολυπλοκότητα: Η ανάπτυξη ευφυών ενεργειακών δικτύων είναι περίπλοκη και απαιτεί σημαντική τεχνογνωσία σε τομείς όπως η τεχνολογία επικοινωνιών, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και η ανάλυση δεδομένων.

-Ανησυχίες για το απόρρητο: Η συλλογή και επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων καταναλωτών μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται με ασφαλή τρόπο.

-Θέματα διαλειτουργικότητας: Η σύμπτυξη διαφορετικών τεχνολογιών και συστημάτων από πολλούς προμηθευτές μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα διαλειτουργικότητας, οδηγώντας σε πιθανές αστοχίες και διακοπή του δικτύου.

-Κίνδυνοι ασφάλειας: Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στο ενεργειακό δίκτυο το εκθέτει σε πιθανές απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με αυτές τις απειλές πρέπει να καταπολεμηθούν και να μετριαστούν για την επίτευξη της ασφάλειας του δικτύου (D. Maltoni et. al., 2020).

2.3 Ένα προηγμένο σύστημα έξυπνης ενέργειας βασισμένο στο IoT

Μία από τις σημαντικότερες δυσκολίες που αντιμετωπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης είναι τα αυξανόμενα πρότυπα ζήτησης ενέργειας των πόλεων.

Οι ευρωπαϊκές πόλεις οφείλουν να είναι τόποι προηγμένης κοινωνικής προόδου και περιβαλλοντικής άνθισης, καθώς και τόποι έλξης και οικονομικής ανάπτυξης, με βάση μια ολιστική ολοκληρωμένη προσέγγιση στην οποία λαμβάνονται υπόψη όλες οι πτυχές της βιωσιμότητας.

Οι πόλεις αντιμετωπίζουν μια σειρά από προβλήματα που σχετίζονται με τη στέγαση, την ατμόσφαιρα, τις μεταφορές και την ανάπτυξη των υποδομών, δυσκολεύοντας τις αστικές κοινότητες και τις πόλεις να πραγματοποιήσουν τους στόχους τους. Τα τελευταία χρόνια, οι πόλεις στρέφονται σε προηγμένες τεχνολογίες για να γίνουν Έξυπνες Πόλεις. Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει λύσεις Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ICT) για πόλεις και για να τονίσει τη σημασία και τις δυνατότητες των ICT. Πιο συγκεκριμένα, οι Έξυπνες Πόλεις λειτουργούν με λιτό και υγιή τρόπο, ενσωματώνοντας κάθε υποδομή και διοικήσεις σε ένα ενιαίο σύνολο χρησιμοποιώντας διορατικές συσκευές για παρατήρηση και έλεγχο, ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα.

Η ζήτηση ενέργειας είναι ένα από τα πιο κρίσιμα και πολύπλευρα προβλήματα για τις Έξυπνες Πόλεις. Καθώς βελτιώνεται η ποιότητα ζωής και η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, είναι προφανές ότι η αύξηση της ζήτησης ενέργειας είναι μια μη αναστρέψιμη κατάσταση. Αυτή η συνεχής αύξηση της ζήτησης ενέργειας σε συνδυασμό με τα περιορισμένα συμβατικά αποθέματα ενέργειας είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση των ενεργειακών προβλημάτων, τα οποία κάθε πόλη θα πρέπει να επιλύσει. Παράλληλα, η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση, σε συνδυασμό με την ανθρώπινη τάση για συνεχή βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, έχουν ως αποτέλεσμα την αυτοματοποίηση πληθώρας επίπονων και κουραστικών εργασιών.

Ένα ευρύ σύνολο μέτρων έχει εγκριθεί σε επιμέρους κράτη μέλη (ΚΜ) για την ενεργό βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, ειδικότερα σε κτίρια που αντιπροσωπεύουν το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ. Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) είναι ο κύριος μοχλός πολιτικής σε επίπεδο ΕΕ για την υποστήριξη της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Το EPBD υιοθετήθηκε από την ΕΕ το 2002 (2002/91/EC) και αναδιατυπώθηκε το 2010 (31/2010/EE) με πιο φιλόδοξες διατάξεις (EC, 2002; 2010) (Kumar Mandula, 2018).

Η εισαγωγή της EPBD έχει ήδη επιτρέψει σε πολλές χώρες της ΕΕ να είναι πιο ενεργές στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και σε πολλές άλλες που είχαν ήδη καθορίσει απαιτήσεις και σχετικά πλαίσια για την καλύτερη κατανόηση και βελτίωση της κατάστασης του κτιριακού τους αποθέματος. Στις 30 Νοεμβρίου 2016, η Επιτροπή πρότεινε μια ενημέρωση της EPBD για να συμβάλει στην προώθηση της χρήσης της έξυπνης τεχνολογίας στα κτίρια και στον

εξ ορθολογισμό των υφιστάμενων κανόνων. Η Επιτροπή δημοσίευσε επίσης μια νέα βάση δεδομένων κτιρίων ονόματι Παρατηρητήριο Κτιρίων της ΕΕ, για την παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Συνέπεια όλων των παραπάνω ήταν η ανάδειξη του οράματος του Έξυπνου Κτιρίου ως ένα περιβάλλον που συνδυάζει την ευφυΐα περιβάλλοντος και τον οικιακό αυτοματισμό, προκειμένου να καταστεί δυνατή η παροχή υπηρεσιών υψηλού επιπέδου στους κατοίκους που θα διασφαλίζουν αυξημένη άνεση και ασφάλεια εντός του σπιτιού, καθώς και ενεργειακή απόδοση και σωστή διαχείριση των υπάρχοντων πόρων.

Ταυτόχρονα, η αξιοπιστία και η ευελιξία που προσφέρουν οι ασύρματες τεχνολογίες είναι η κινητήρια δύναμη για τη στροφή της αγοράς των Έξυπνων Κτιρίων στο όραμα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με αποτέλεσμα την συμβολή στην προσέλκυση αυξανόμενου ενδιαφέροντος στην αγορά. Η εισαγωγή του IoT στην ενέργεια και στις μεθόδους χρησιμοποιώντας «ευφυή» διαχείριση ενέργειας και τεχνολογίες Διαδικτύου αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την προώθηση της αποδοτικής ενεργειακής και περιβαλλοντικής διαχείρισης του «έξυπνου» κτιρίου. Ειδικότερα, η σύνδεση των τεχνολογιών του Διαδικτύου στην ενέργεια έχει ήδη δημιουργήσει μια νέα πολλά υποσχόμενη αγορά ενεργειακών υπηρεσιών (Kumar Mandula, 2018).

Είναι κατανοητό, ωστόσο, ότι η επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία. Απαιτούνται ολοκληρωμένες, διαφανείς και ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για να παρέχουν στις πόλεις τα εργαλεία και τις μεθόδους που χρειάζονται για να επιτύχουν σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ μέσω της συμβολής προηγμένων εργαλείων ICT. Πράγματι, αν και υπάρχουν πολλά διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ενέργεια στις πόλεις, τονίζεται η ανάγκη για μεθοδολογίες και επικυρωμένα εργαλεία για τη συλλογή, την ολοκλήρωση και την ανάλυσή τους, υποστηρίζοντας έτσι τη διαχείριση της χρήσης ενέργειας.

Ωστόσο, τα προτεινόμενα συστήματα σχεδιάζονται και προορίζονται αποκλειστικά για προκαθορισμένο αριθμό περιπτώσεων και συστημάτων χωρίς να επιτρέπουν την επέκταση και τη δυνατότητα διαφορετικών συστημάτων ή λογισμικού να λειτουργούν μεταξύ τους με συνέπεια την αποτελεσματικότητα με άλλες εφαρμογές, κάτι που σε ένα βαθμό οφείλεται στην έλλειψη σημασιολογίας. Οι πρόοδοι του σημασιολογικού Ιστού δημιουργούν έναν τρόπο για να ανταλλάσσονται πληροφορίες σχετικά με τις αστικές περιοχές ως φυσικά, κοινωνικά και εξειδικευμένα πλαίσια, ενισχύοντας έτσι την ανάπτυξη έξυπνων θέσεων εργασίας.

Τα χαρακτηριστικά των Έξυπνων Πόλεων υποδεικνύουν ότι εφαρμόζουν τα τεχνολογικά δεδομένα για να κάνουν αποτελεσματική τη χρήση της ανάπτυξης υποδομής που είναι φυσικής

φύσης, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος που κατασκευάζεται, των δρόμων και των περιουσιακών στοιχείων. Οι σημασιολογικές τεχνολογίες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μοντέλων αστικών ενεργειακών συστημάτων ικανών να αξιολογήσουν την ενεργειακή απόδοση μιας πόλης ή μιας περιοχής. Τέλος, επιτρέπουν τη μάθηση, την προσαρμογή και την καινοτομία ανταποκρινόμενοι πιο αποτελεσματικά και γρήγορα στις διάφορες καταστάσεις μέσω της βελτίωσης της νοημοσύνης της πόλης.

Η αγορά των Έξυπνων Κτιρίων υφίσταται αναμφίβολα μια θεμελιώδη στροφή προς την εκμετάλλευση των ασύρματων τεχνολογιών και εστιάζει πρωτίστως στην υλοποίηση του οράματος του IoT. Η διαφοροποίηση και η ετερογένεια των προσφερόμενων λύσεων σε επίπεδα τόσο υλικού όσο και λογισμικού αποκλίνουν από τις βασικές αρχές του IoT οι οποίες έχουν ως προϋπόθεση τη χρήση ενός τυπικού ενοποιημένου μοντέλου, προκειμένου να διασφαλίζεται η μέγιστη λειτουργικότητα.

Η εργασία παρουσιάζει ένα προηγμένο σύστημα IoT για έξυπνη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται ένα σημασιολογικό πλαίσιο για την ενιαία και τυποποιημένη μοντελοποίηση όλων των οντοτήτων που αποτελούν το περιβάλλον των Έξυπνων Κτιρίων, καθώς και των ιδιοτήτων και των σχέσεων τους. Αυτή η σημασιολογική μοντελοποίηση έχει στόχο να αποτελέσει μια ρεαλιστική και εναλλακτική προσέγγιση που αναμένεται να επιλύσει πολλά από τα τρέχοντα ζητήματα που αντιμετωπίζει η αγορά των Έξυπνων Κτιρίων, καθώς και να βελτιώσει το συλλογισμό σκέψης και τη λήψη αποφάσεων. Διαμορφώνονται κατάλληλοι κανόνες, με στόχο την έξυπνη διαχείριση ενέργειας και τον γενικό τρόπο λειτουργίας του Έξυπνου Κτιρίου.

Έτσι, εφαρμόστηκε ένα διαδικτυακό εργαλείο, το οποίο ενισχύει τη διαδραστικότητα των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας των κτιρίων. Το προτεινόμενο εργαλείο συλλέγει και αναπαριστά σε πραγματικό χρόνο τα ενεργειακά δεδομένα των κτιρίων. Με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (από ετερογενείς και δυναμικές πηγές: δεδομένα κτιρίου, παραγωγή ενέργειας, τιμές ενέργειας, δεδομένα καιρού), καθώς και προβλεπόμενα δεδομένα που παράγονται από μοντέλα πρόβλεψης (παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, κατανάλωση ενέργειας, εσωτερικούς χώρους θερμοκρασία και τιμές ενέργειας), το εργαλείο εισάγει μια λίστα πολλαπλών σχεδίων δράσης για τους ενοίκους των κτιρίων, δομημένα με βάση διάφορους κανόνες. Τα αποτελέσματα από τις πιλοτικές εφαρμογές παρουσιάζονται και συζητούνται (Brown, 2020).

Εκτός από την εισαγωγή, η εργασία διαρθρώνεται σε πέντε ενότητες. Μια ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης της τέχνης, καθώς και η πραγματική συμβολή του προτεινόμενου συστήματος που βασίζεται στο IoT, παρέχεται στην Ενότητα 2. Η εσωτερική αρχιτεκτονική και τα βα-

σικά χαρακτηριστικά του συστήματος (πέντε ενότητες συλλογής δεδομένων, σημασιολογικό πλαίσιο και μηχανή δράσης) παρουσιάζονται στην Ενότητα 3. Η ενότητα 4 είναι αφιερωμένη στην παρουσίαση του προτεινόμενου συστήματος που βασίζεται στο IoT. Η ενότητα 5 είναι αφιερωμένη στην πιλοτική εφαρμογή. Τέλος, η τελευταία ενότητα συνοψίζει τα βασικά ζητήματα που έχουν προκύψει σε αυτή την εργασία (Pauzet, 2021).

2.4 Σύστημα διαχείρισης ενέργειας οικιακής χρήσης με βάση τη ζήτηση, τις έξυπνες τεχνολογίες και τους ευφυείς ελεγκτές

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές δείχνουν ενδιαφέρον για το οικιακό πρόγραμμα DR, το οποίο είναι κρίσιμης σημασίας για να πείσουν τους οικιακούς πελάτες να μειώσουν οικειοθελώς την ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με την κατανομή των διαθέσιμων πόρων και τη διαχείριση συσκευών φορτίου. Το DR μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο αλλαγών στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών από τα κανονικά πρότυπα κατανάλωσής τους ως απόκριση σε αλλαγές στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου ή σε πληρωμές κινήτρων που έχουν σχεδιαστεί για να προκαλέσουν χαμηλή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλών τιμών χονδρικής αγοράς ή υποψίας αξιοπιστίας του συστήματος. Στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, προγράμματα DR έχουν εφαρμοστεί ευρέως για την προσαρμογή του χρονισμού και της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πρόγραμμα DR, η ανταπόκριση του πελάτη μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις επιλογές. Κάθε ανταπόκριση του πελάτη λαμβάνει υπόψη το κόστος και τα μέτρα που λαμβάνονται από τον πελάτη. Στην πρώτη επιλογή, οι πελάτες μπορούν να μειώσουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις κρίσιμες περιόδους αιχμής που οι τιμές είναι αρκετά υψηλές, με τη συγκεκριμένη επιλογή να επιβάλλει ουσιαστικά μια προσωρινή επίδραση στο επίπεδο άνεσης.

Στη δεύτερη επιλογή, οι πελάτες μπορούν να ανταποκριθούν στις υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας μετατοπίζοντας τη χρήση ορισμένων οικιακών συσκευών από περιόδους αιχμής σε περιόδους εκτός αιχμής. Στην τρίτη επιλογή, ένας πελάτης χρησιμοποιεί επιτόπου κατανεμημένη παραγωγή. Το πρότυπο χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή του πελάτη αλλάζει. Οι συμμετέχοντες πελάτες σε προγράμματα DR μπορούν να προβλέψουν εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας με μείωση της χρήσης τους κατά τις περιόδους αιχμής. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών, τα προγράμματα DR για οικίες μπορούν να ταξινομηθούν σε βασισμένα σε ερεθίσματα (Incentive-based programs) και βασισμένα σε τιμή προγράμματα (Price based programs).

Ένα πρόγραμμα DR που βασίζεται σε ερεθίσματα παρέχει οικονομικά κίνητρα στους συμμετέχοντες πελάτες που στοχεύουν να μειώσουν και να μετατοπίσουν την κατανάλωσή τους για

τη μείωση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Σε αυτούς τους πελάτες παρέχεται ένα μειωμένο επιτόκιο σε αντάλλαγμα για τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα ή την πληρωμή πίστωσης λογαριασμού. Τα προγράμματα που βασίζονται σε ερεθίσματα περιλαμβάνουν προγράμματα άμεσης φόρτωσης, διακοπής/περιορισμού και υποβολής προσφορών ζήτησης. Τα προγράμματα άμεσης φόρτωσης μπορούν να ελέγχουν εξ αποστάσεως τις συσκευές των πελατών μεταδίδοντας σήματα που απενεργοποιούν/ενεργοποιούν τις συσκευές σε σύντομο χρονικό διάστημα, βάσει συνεννόησης μεταξύ της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας και των πελατών. Οι θερμοσίφωνες, τα κλιματιστικά και ο δημόσιος φωτισμός είναι κοινές συσκευές που ελέγχονται από απόσταση χρησιμοποιώντας αυτό τον τύπο προγράμματος (L. Atzor, 2020).

Στο πρόγραμμα διακοπής/περικοπής φορτίου, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αποφασίζονται σε ένα πλαίσιο μεταξύ της κοινής ωφέλειας και των μεγάλων βιομηχανικών ή οικιακών πελατών, οι οποίοι απενεργοποιούν ή μετατοπίζουν το φορτίο τους σε περιόδους εκτός αιχμής κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης. Η μείωση επιτυγχάνεται με τη μετάδοση σημάτων περιορισμού της ζήτησης από το βοηθητικό πρόγραμμα, το οποίο ωφελεί τους πελάτες μέσω πληρωμών κινήτρων. Αυτό το πρόγραμμα βοηθά το πλέγμα να σταθεροποιηθεί σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Το πρόγραμμα υποβολής προσφορών ζήτησης, γνωστό και ως πρόγραμμα επαναγοράς, βασίζεται στις προσφορές των πελατών. Οι καταναλωτές υποβάλλουν προσφορές για μια συγκεκριμένη μείωση του φορτίου στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία η υποβολή προσφορών διεξάγεται μια ημέρα πριν τις περισσότερες φορές. Οι πελάτες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν μια τιμή προσφοράς ως προς το ποσό της μείωσης της ενέργειας. Η ανταμοιβή των πελατών θα πραγματοποιηθεί εάν η πραγματική ποσότητα εξοικονόμησης ενέργειας συμμορφώνεται με μια συγκεκριμένη απαίτηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν επιβάλλεται χρηματική κύρωση εάν ο πελάτης δεν μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την αρχική απαίτηση.

Τα προγράμματα με βάση τις τιμές περιλαμβάνουν όλα τα προγράμματα τιμολογίων, όπου οι πελάτες λαμβάνουν οικονομικά οφέλη ή εκπτώσεις σε αντάλλαγμα τη μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε καθορισμένους χρόνους. Τα προγράμματα με βάση τις τιμές παρέχουν διαφορετικές τιμές τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν ένα σήμα για να βοηθήσουν τους καταναλωτές να αποκτήσουν βελτιωμένη ισχύ.

Οι καταναλωτές τροποποιούν οικειοθελώς την κατανάλωση ρεύματος στα σπίτια τους με βάση την ηλεκτρική ενέργεια και ακολουθούν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας προγράμματα τιμών τιμολογίων, όπως τιμολόγηση χρόνου χρήσης (TOU), τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP) ή κρίσιμη αιχμή τιμολόγηση (CPP). Αυτά τα προγράμματα προσφέρουν διαφορετικές τιμές σε διάφορες ώρες της ημέρας κατά τις περιόδους

αιχμής αλλά και εκτός των περιόδων αιχμής για να υποδείξουν την ικανότητα της εταιρείας κοινής ωφέλειας να παράγει την απαραίτητη ενέργεια.

Το TOU είναι το πιο κοινό τιμολόγιο ηλεκτρικής ενέργειας για οικίες και χρησιμοποιείται επί του παρόντος ή χρησιμοποιείται σε πολλές εταιρείες κοινής ωφέλειας παγκοσμίως. Στην τιμολόγηση TOU, οι διαφορετικές τιμές των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε χρονοθυρίδες και διάφορες εποχές του έτους ή ώρες της ημέρας. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν προγράμματα TOU ορίζοντας τις τιμές σύμφωνα με χρονικές χρονοθυρίδες εκτός αιχμής και αιχμής.

Σε αυτή την περίπτωση, οι τιμές των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές κατά τις ώρες αιχμής και χαμηλές τις ώρες εκτός αιχμής για να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές στην μετατόπιση των φορτίων τους ανάλογα με την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Το RTP ονομάζεται συχνά δυναμική τιμολόγηση, στην οποία κάθε ώρα του έτους παρουσιάζει διαφορετική τιμή. Αυτή η τιμή κυμαίνεται ανά ώρα για κάθε χρονοθυρίδα. Μια τέτοια περίπτωση υποδεικνύει την πραγματική κατάσταση της τιμής χρησιμότητας της ηλεκτρικής ενέργειας (L. Atzor, 2020). Πολλές εταιρείες κοινής ωφέλειας είναι πεπεισμένες ότι τα προγράμματα RTP, ως το πιο αποτελεσματικό πρόγραμμα DR, είναι ευέλικτα και εξαιρετικά αποδεκτά στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Το CPP έχει σχεδιαστεί για να επιβραβεύει τους τελικούς χρήστες που ελέγχουν και μετριάζουν εθελοντικά τη χρήση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ή μεταφέρουν τη χρήση των συσκευών σε ώρες εκτός αιχμής.

Το CPP εμφανίζεται μερικές φορές κατά τη διάρκεια του έτους, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν η ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται σημαντικά. Ακολούθως οι πελάτες ενημερώνονται για τις αυξημένες τιμές. Αρκετοί λιανοπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας τάσσονται υπέρ του CPP έτσι ώστε να επωφεληθεί από σημαντικές μειώσεις φορτίου κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων φορτίου. Η τιμολόγηση με έκπτωση χρόνου αιχμής είναι ένα πρόγραμμα που βασίζεται στην τιμή, στο οποίο οι καταναλωτές αποκτούν μια έκπτωση που αντιστοιχεί στο ποσό της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

Τα διαφορετικά προγράμματα DR σε κατοικίες βοηθούν τους καταναλωτές να εξοικονομήσουν χρήματα, να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και παράλληλα να μειώσουν τις επενδύσεις σε υποδομές κοινής ωφέλειας. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από πελάτες που συμμετέχουν στο DR μπορεί να αλλάξει με διαφορετικές μεθόδους: μετακίνηση της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορες χρονικές περιόδους, χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια αναμονής για εφεδρική υποστήριξη έκτακτης ανάγκης για να επιτευχθεί η μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο κοινής ωφέλειας και χρησιμοποιώντας στρατηγικές περικοπής φορτίου για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ωστόσο, οι πελάτες αποθαρρύνονται από τη συμμετοχή στο πρόγραμμα DR από τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με το πρόγραμμα, την απροσδιόριστη ποσότητα φορτίου που απαιτούν οι εταιρείες κοινής ωφέλειας για μείωση σε μια εκδήλωση DR, τη δυσκολία ικανοποίησης των αναμενόμενων επιπέδων άνεσης των τελικών χρηστών και την οικονομική σκοπιμότητα συμμετοχής στο πρόγραμμα.

Το έξυπνο σπίτι είναι μια εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών σε κτίρια κατοικιών που μπορεί να προσφέρει πολλές ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης ενέργειας. Τα έξυπνα σπίτια όχι μόνο παρέχουν εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά έχουν και πολλά οφέλη, όπως ασφάλεια, αυξημένο επίπεδο άνεσης και βελτιωμένο οικιακό αυτοματισμό και διαχείριση ενέργειας. Αρκετές έξυπνες τεχνολογίες επιτρέπουν την ενσωμάτωση ευφυών HEMS με διάφορες λειτουργίες μέσα στα σπίτια, όπως αυτόματο έλεγχο, επικοινωνία με το βοηθητικό πρόγραμμα μέσω έξυπνου μετρητή και ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Με τις έξυπνες τεχνολογίες, οι πελάτες μπορούν να ελέγχουν τις οικιακές συσκευές, να βελτιστοποιούν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και να ορίζουν ένα χρονοδιάγραμμα για τις οικιακές συσκευές κατά τις κρίσιμες ώρες αιχμής με βάση τα σήματα DR.

2.5 Εφαρμογές έξυπνων τεχνολογιών για ευφυή Hems

Στο πλαίσιο του ευφυούς HEMS, έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες ερευνητικές εργασίες χρησιμοποιώντας έξυπνες τεχνολογίες για την ανάπτυξη υλικού και αλγορίθμων ελέγχου του HEMS. Σε κάποια μελέτη αναπτύχθηκε μια πρίζα για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε καθορισμένο χρόνο. Η πρίζα απενεργοποιεί την παροχή όταν η παρακολουθούμενη ισχύς είναι κάτω από το όριο ζήτησης. Η πρίζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιοδήποτε τύπο οικιακών φορτίων.

Ένα υλικό HEMS αναπτύχθηκε επίσης και ενσωματώθηκε με έναν αλγόριθμο βασισμένο σε κανόνες και ένα πρόγραμμα DR σε ένα εργαστήριο. Ο βασισμένος σε κανόνες αλγόριθμος στη μονάδα ελέγχου HEM διαχειρίζεται τέσσερα φορτία με βάση την προτεραιότητα και την επιθυμία του ιδιοκτήτη του σπιτιού. Η επικοινωνία μεταξύ των φορτίων και της μονάδας ελέγχου HEM πραγματοποιείται για την αναφορά μετρήσεων για το ρεύμα, την τάση και την πραγματική ισχύ των συσκευών. Ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, με τεχνολογία ανίχνευσης και επικοινωνίας, εφαρμόστηκε για το σχεδιασμό πρωτότυπου υλικού έξυπνου HEMS για να βοηθήσει τους ιδιοκτήτες σπιτιού να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και να διαχειριστούν έξυπνα τα φορτία. Για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας οικιακού φορτίου για διαχείριση ενέργειας χρησιμοποιείται μια αυτόματη πρίζα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης διακόπτη ισχύος.

Αναπτύχθηκε μια αρχιτεκτονική υλικού για το HEMS για τον έλεγχο των μονάδων κλιματισμού χρησιμοποιώντας έναν έξυπνο θερμοστάτη. Ο έλεγχος αυτός επιτεύχθηκε αρχικά με τον προγραμματισμό του θερμοστάτη, ο οποίος βοηθά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο DR και στη βελτίωση του ελέγχου της θερμοκρασίας. Επιπλέον, αναπτύχθηκε ένας ελεγκτής HEMS υλικού στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Politehnica στο Βουκουρέστι. Ο αλγόριθμος ελεγκτή HEMS χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση διαφόρων οικιακών συσκευών και τον επαναπρογραμματισμό των οικιακών φορτίων ώστε να λειτουργούν σε ώρες εκτός αιχμής από οικιακές συσκευές (S.Hasan Hussain, 2021).

Το λογισμικό διεπαφής χρήστη με HEMS υλοποιήθηκε σε ένα λειτουργικό σύστημα Android, το οποίο επιτρέπει στους ιδιοκτήτες σπιτιού να έχουν εύκολη πρόσβαση στα χαρακτηριστικά φορτίου και να ενεργοποιούν/απενεργοποιούν εξ αποστάσεως τις συσκευές. Ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος υλικού και ελέγχου σχεδιάστηκε επίσης για το HEMS για να ελέγχει αυτόματα επιλεγμένες οικιακές συσκευές, ο οποίος αλγόριθμος διατηρεί τη συνολική κατανάλωση ενέργειας των οικιακών συσκευών κάτω από καθορισμένα όρια.

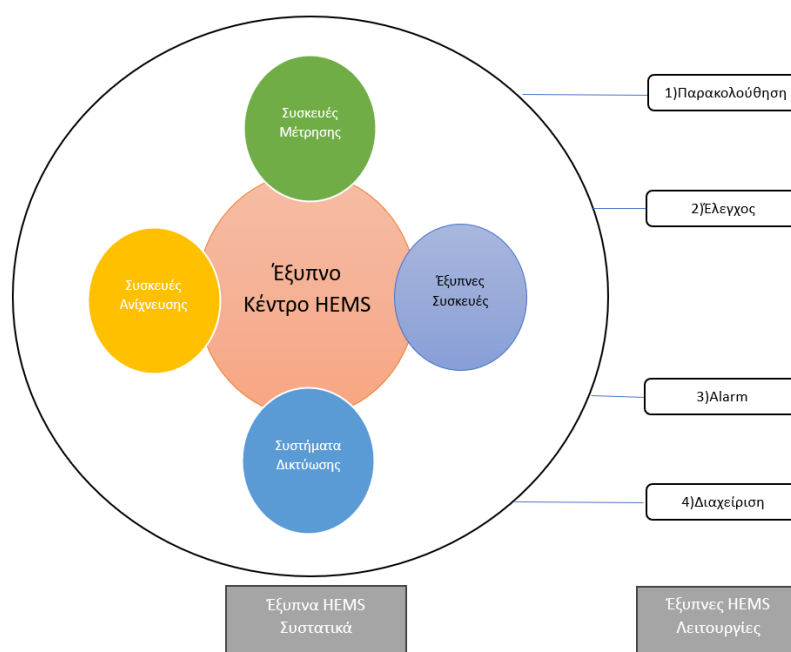
Έξυπνες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί από το HEMS για την ελαχιστοποίηση του κόστους κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιώντας έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, στοχαστικό προγραμματισμό και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Στον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, το HEMS ελέγχει τις συσκευές που επιλέγονται. Ο στοχαστικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας και την επιλογή ενός συνόλου οικιακών συσκευών προς έλεγχο. Τέλος, στην παρακολούθηση πραγματικού χρόνου, τα ελεγχόμενα οικιακά φορτία εμφανίζονται σε πραγματικό χρόνο και προγραμματίζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε φορτίου.

Ωστόσο, ο ευφυής αλγόριθμος που εφαρμόζεται είναι πολύπλοκος, με μεγάλο υπολογιστικό φόρτο και χαμηλή ταχύτητα. Αναπτύχθηκε παράλληλα ένα προσαρμοσμένο λογισμικό για το HEMS για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση συσκευών και την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας. Το συγκεκριμένο λογισμικό εκτελείται σε Linux σε υπολογιστή Raspberry και είναι γραμμένο σε JavaScript, Python και HTML. Ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη για το HEMS σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε σε έναν υπολογιστή μέσω ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας, το οποίο μπορεί να εμφανίζει, να επεξεργάζεται και να συλλέγει ισχύ χρήσης δεδομένων με τηλεχειριστήριο σε πραγματικό χρόνο σε οικιακές συσκευές. Το σύστημα αυτό στοχεύει να ενημερώσει τους τελικούς χρήστες σχετικά με τις συνήθειες κατανάλωσης ενέργειας μεταδίδοντας τους αυτές τις πληροφορίες.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των έξυπνων τεχνολογιών για το HEMS είναι ότι ενσωματώνουν την αποθήκευση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας. Αναπτύσσεται λοιπόν ένα ενσωματωμένο σύστημα που ενσωματώνει ενεργειακούς πόρους αποθήκευσης και φωτοβολταϊκά σε ένα έξυπνο σπίτι. Το σύστημα εποπτεύεται μια έξυπνη οικιακή ενεργειακή απαίτηση εγκαθιστώντας φωτοβολταϊκά (PV) και μπαταρίες. Μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια με μετατροπέα συνδεδεμένο στο δίκτυο χρησιμοποιείται στο HEMS και εφαρμόζει μηχανισμό ανατροφοδότησης αυτομάθησης για τη δημιουργία ενός ευφυούς συστήματος διαχείρισης κατανάλωσης ενέργειας. Η αλληλεπίδραση των φωτοβολταϊκών με άλλες έξυπνες συσκευές έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη άνεση και λογική στρατηγική για την οικονομία του πελάτη (C. Peng, 2019).

2.5.1 Λειτουργίες του HEMS

Για να συμμετάσχει στην εξοικονόμηση ενέργειας και να ανταποκριθεί στην αύξηση της ζήτησης, το HEMS είναι απαραίτητο να προσαρμόζεται ποιο εύκολα στη διαχείριση καθώς και στον έλεγχο ηλεκτρονικών συσκευών ή ακόμη και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι λειτουργίες προληπτικού ελέγχου, όπως πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις μονάδες ενέργειας που καταναλώνεται αλλά και το κόστος της στα σπίτια μπορούν να προσφερθούν στους αγοραστές από τη HEMS. Οι κάτοικοι μπορούν να επιλέξουν μέσω της διαδραστικής πλατφόρμας ανθρώπου-μηχανής για να καθορίσουν τις θέσεις λειτουργίας διαφορετικών οικιακών μηχανών με στόχο να αυτοσχεδιάσουν την ικανότητά τους να χρησιμοποιούν ενέργεια. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενός έξυπνου κέντρου HEMS αποτελούνται από πέντε κύριες λειτουργικές μονάδες όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1 Λειτουργίες του HEMS (S. Squartini, 2021).

- **Monitoring:** η διαδικασία του monitoring καθιστά προσβάσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το πρότυπο χρήσης ενέργειας. Κάνει ποιο εύκολη τη χρήση ενέργειας και μετατοπίζει την εστίαση των χρηστών προς την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να προσφέρει οπτική εμφάνιση υπηρεσιών για πολλούς από τους τρόπους λειτουργίας του μαζί με την ενεργειακή κατάσταση κάθε οικιακής συσκευής.

- **Logging:** το logging αποτελεί τη διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης των πληροφοριών δεδομένων που σχετίζονται με τη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από κάθε συσκευή, που παράγεται από DER και καταστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει την ανάλυση της απόκρισης ζήτησης για τιμές σε πραγματικό χρόνο.

- **Control:** ο παράγοντας ελέγχου(control) μπορεί να διαχωριστεί σε άμεσο και σε έλεγχο μέσω τηλεχειριστηρίου. Ο άμεσος έλεγχος μπορεί να οριστεί ως έλεγχος που ασκείται τόσο στην ηλεκτρονική συσκευή όσο και στο σύστημα ελέγχου, ενώ τα τηλεχειριστήρια υποδηλώνουν ότι οι πελάτες προσέχουν την πρόσβαση, την παρακολούθηση καθώς και τον έλεγχο των προτύπων κατανάλωσης των ηλεκτρονικών τους συσκευών μέσω διαφόρων άλλων συστημάτων και συσκευών όπως H/Y ή smartphone.

- **Management:** είναι μια από τις πρωταρχικές λειτουργίες του HEMS που βελτιώνει τόσο τη βελτιστοποίηση όσο και την απόδοση στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στο έξυπνο σπίτι. Μπορεί επίσης να καλύπτει λειτουργίες που περιλάμβαναν υπηρεσία διαχείρισης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπηρεσία διαχείρισης αποθήκευσης ενέργειας, υπηρεσία διαχείρισης οικιακών συσκευών και υπηρεσία διαχείρισης ηλεκτρικών και μπαταριών Plug-in.

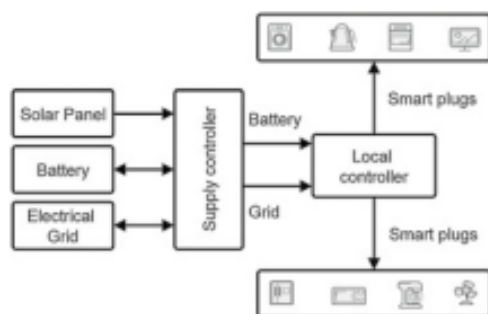
- **Alarm:** στη συγκεκριμένη φάση οι συναγερμοί ενεργοποιούνται και μεταβιβάζονται στο έξυπνο κέντρο HEMS που περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις, τους τύπους βλαβών κ.λπ (S. Squartini, 2021).

2.5.2 Αρχιτεκτονική HEMS

Ένα σύστημα διαχείρισης οικιακής ενέργειας (HEMS) ορίζεται ως ένα σύστημα που ενσωματώνει αισθητήρες σε οικιακές συσκευές, μέσω οικιακών δικτύων. Τα HEMS στην πλειοψηφία τους έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τον έλεγχο της χρήσης ενέργειας, τη βελτίωση του επιπέδου απόδοσης ενός έξυπνου δικτύου, τη βελτιστοποίηση των απαιτήσεων, την ενεργοποίηση συσκευών στους οικιακούς χρήστες κ.λπ. Το HEMS παίζει το ρόλο ενός σύγχρονου μετρητή ενέργειας που φέρνει μια εξέλιξη με τη μορφή συσκευών χαμηλής κατανάλωσης.

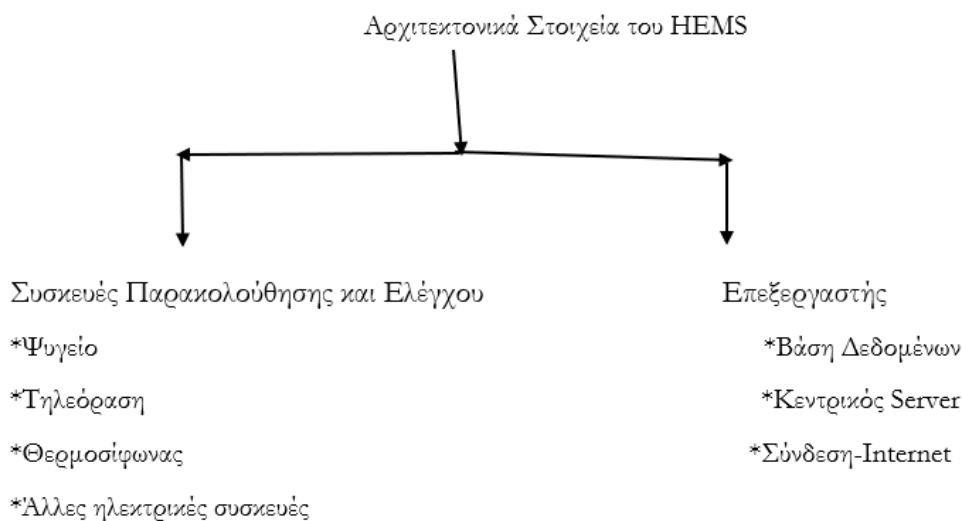
Για την ακρίβεια, το HEMS παρακολουθεί και προσαρμόζει με έξυπνο τρόπο την κατανάλωση ενέργειας από έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές, συσκευές και έξυπνα βύσματα, με

αποτέλεσμα την αποδοτική ισχύ και την αποτελεσματικότερη διαχείριση. Οι αρχιτεκτονικές, που προτείνονται από ερευνητές σε διαφορετικά άρθρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια που σχετίζονται με τη δομή της παρακολούθησης, της διαχείρισης και των δυνατοτήτων διανομής και επικοινωνίας. "Ένα οικιακό δίκτυο (HAN) είναι ένα ιδιωτικό δίκτυο που διασυνδέει συσκευές μέσα σε έναν αισθητήρα που μοιάζει με το σπίτι, έξυπνα βύσματα, έξυπνους θερμοστάτες ή εκείνες τις συσκευές που επιτρέπουν τη διέλευση επικοινωνίας μεταξύ τους, είτε μέσω ασύρματου είτε ενσύρματου δικτύου”.



Εικόνα 2 Συνολική αρχιτεκτονική ενός αντιπροσωπευτικού HEMS (A. Arbaz, 2019).

Η εικόνα 2 υπογραμμίζει τη συνολική αρχιτεκτονική ενός σχεδιασμένου σχήματος HEMS. Η αρχιτεκτονική HEMS αποτελείται από εξαρτήματα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3 Αρχιτεκτονικά στοιχεία ενός HEMS (A. Arbaz, 2019).

- Συσκευές παρακολούθησης και ελέγχου(Monitoring and control device): αυτές οι συσκευές πραγματοποιούν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της χρήσης ενέργειας για διάφορες συσκευές.
- Επεξεργαστής(processor): ο επεξεργαστής χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση, αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων και πληροφοριών. Εδώ ο διακομιστής και η βάση δεδομένων βρίσκονται στην κεντρική μονάδα.

- Gateway: η πύλη επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ του HEMS και του εξωτερικού κόσμου, για να διευκολύνει την απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω Διαδικτύου (Α. Arbaz, 2019).

2.5.3 Smart home energy management system (SHEMS)

Εκτός από τα τυπικά χαρακτηριστικά του συστήματος διαχείρισης ενέργειας στο σπίτι, έχουμε την ιδέα του συστήματος έξυπνης οικιακής διαχείρισης ενέργειας που έχει βρει τη θέση του σε διαφορετικούς ενεργειακούς τομείς τις τελευταίες δεκαετίες. Το SHEMS αποτελείται από τρομερές εφαρμογές σε τομείς που σχετίζονται με το σύστημα παραγωγής, μεταφοράς ή διανομής των ηλεκτρικών δικτύων. Η κύρια εστίαση στους τομείς εφαρμογής είναι ο εποπτικός έλεγχος και η απόκτηση δεδομένων με λειτουργίες του συστήματος διαχείρισης ενέργειας. Το τυπικό SHEMS μπορεί να θεωρηθεί ως ζωτικής σημασίας ανάπτυξη για τους οικιακούς πελάτες. Η απόκριση ζήτησης, η διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης, το ξύρισμα αιχμής, η μετατόπιση φορτίου, θεωρείται ότι προσφέρουν τις λύσεις στους χειριστές δικτύου που έχουν ενισχύσει την κίνηση για στιβαρό και έξυπνο SHEMS. Τα κύρια στοιχεία του SHEMS είναι τα ακόλουθα:

- Η συσκευή ανίχνευσης
- Η ενεργοποίηση ΤΠΕ
- Η έξυπνη συσκευή
- Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας.



Εικόνα 4 Στοιχεία συστήματος διαχείρισης ενέργειας έξυπνου σπιτιού. (Α. Nacer, 2020)

Η εικόνα 4 δείχνει τα διάφορα στοιχεία που συμμετέχουν στη δημιουργία ενός σπιτιού, έξυπνου σπιτιού.

- Η συσκευή ανίχνευσης: οι συσκευές χρησιμοποιούνται σε μια οικιακή απεικόνιση που συμβάλλει στην ιδέα της SHEMS που ασχολείται με την ανίχνευση ρεύματος, τάσης, θερμοκρασίας, κίνησης, φωτός και πληρότητας. Διάφοροι άλλοι αισθητήρες που έχουν σχεδιαστεί ειδικά

για λόγους υγείας, ασφάλειας είναι ο καπνός, η επιληψία, οι αισθητήρες κ.λπ. Ανιχνεύουν την παρουσία επιθυμητών παραμέτρων σε διάφορες τοποθεσίες και στέλνουν το σήμα τους σε ένα κεντρικό σύστημα. Έχοντας υπόψη αυτές τις παραμέτρους, η έξυπνη συσκευή πιθανώς παρακολουθείται, ελέγχεται ή προγραμματίζεται να λειτουργεί στις καθορισμένες χρονικές περιόδους.

- Ενεργοποίηση ICT: το ICT μπορεί να αντιμετωπιστεί ως η συνδετική ακίδα που συνδέει τους αισθητήρες, τους μετρητές και τις συσκευές με την παρακολούθηση ή τη μονάδα ελέγχου. Εδώ επινοούνται τόσο οι ενσύρματες όσο και οι ασύρματες μέθοδοι επικοινωνίας προκειμένου να περιπλέκονται διάφορες οικιακές συσκευές. Το Wi-Fi, η δικτύωση, το βύσμα Home, καθώς και το Z-Wave είναι συγκεκριμένες κορυφαίες τεχνολογίες που συναρπάζουν τα δίκτυα οικιακής περιοχής.

- Έξυπνες συσκευές: ένα σύστημα έξυπνων συσκευών προσφέρει στους κατοίκους ευαισθητοποίηση σχετικά με την ενεργειακή τους χρήση, τη δράση για ενεργειακή απόδοση και φιλική προς το περιβάλλον. Είναι κυρίως οι οικιακές συσκευές που είναι εφοδιασμένες με σύστημα νοημοσύνης καθώς και σύστημα επικοινωνίας που διευκολύνει τον απομακρυσμένο τρόπο ελέγχου καθώς και παρακολούθησης.

- Σύστημα διαχείρισης ενέργειας: Διάφοροι προγραμματιστές επικεντρώνονται επί του παρόντος σε διαφορετικές πτυχές. Οι αρχές διαχείρισης ενέργειας, οι πλατφόρμες λογισμικού και η ενσωματωμένη νοημοσύνη στο SHEMS διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Κάποιες βασικές λειτουργίες του HEMS είναι οι παρακάτω:

1. Παρέχει μια ενημερωτική επισκόπηση σχετικά με τις γραφικές μορφές δεδομένων χρήσης ενέργειας.
2. Οι λίγες προηγμένες λειτουργίες του αποτελούνται συνήθως από πληροφορίες, αυτοματισμό, παρακολούθηση κ.λπ.
3. Περιλαμβάνει επίσης πιθανότητες πρόβλεψης καθώς και προγραμματισμό φορτίων και τοπικών γενεών σε επίπεδα οικιακής χρήσης.
4. Οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες προσφέρουν την επιλογή του πελάτη προκειμένου να καθοριστούν οι προτεραιότητες με τον οικιακό εξοπλισμό και την τοπική παραγωγή λειτουργιών.

2.5.4 Σύστημα διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έξυπνου σπιτιού

Ένα έξυπνο οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας (SHREMS) είναι ένα σύστημα ικανό να ανταλλάσσει εντολές μεταξύ νοικοκυριών και παρόχων ενέργειας με στόχο τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η κοινή προσπάθεια μεταξύ των μετόχων της ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του λογαριασμού ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών, την

αποτελεσματική διαχείριση των φορτίων αιχμής από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας κ.λπ. Το έξυπνο δίκτυο θεωρείται ως μία από τις αναδυόμενες έννοιες R&D που ενσωματώνει τόσο το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο όσο και την πρόσφατη ανάπτυξη τεχνολογιών πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση των συστημάτων παραγωγής, μετάδοσης, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου είναι η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πόρων αποθήκευσης ενέργειας στην πλευρά της κατανάλωσης. Επιτρέπει επίσης στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να επικοινωνούν μεταξύ τους προκειμένου να μοιραστούν την ευθύνη διαχείρισης της παροχής ενέργειας.

Ένας μικροελεγκτής με ένα τσιπ χρησιμοποιείται για την πολυπλεξία των τριών πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία του σπιτιού με την απαιτούμενη ισχύ βάσει της επικοινωνίας μεταξύ του βοηθητικού προγράμματος και του ιδιοκτήτη του σπιτιού. Το υλικό και το λογισμικό του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, της ενεργειακής τροφοδοσίας, της απαίτησης-απόκρισης και του συστήματος τιμολόγησης αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας μια οικιακή πύλη και έναν βοηθητικό διακομιστή.

Η οικιακή πύλη (H-Gateway) είναι ένα σύστημα τσιπ ενσωματωμένο με μόντεμ GSM το οποίο εγκαθίσταται στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή. Ο βοηθητικός διακομιστής (U-Server) είναι ένας υπολογιστής προηγμένης τεχνολογίας και εγκαθίσταται στα κεντρικά γραφεία του βοηθητικού προγράμματος. Το Consumer and Utility μπορούν να διαχειριστούν την ενέργεια που ακολουθεί και την κατανάλωση μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ του H-Gateway και του U-Server μέσω του μόντεμ GSM (A. Nacer, 2020).

2.6 Έξυπνοι αισθητήρες σε οικιακές συσκευές και σε πρωτόκολλα επικοινωνίας

Διάφοροι τύποι τεχνολογίας ασύρματων αισθητήρων έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση οικιακών συσκευών με HEMS. Οι έξυπνες συσκευές κατοικιών μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ασύρματο δίκτυο ελέγχου, όπως το ZigBee, το Bluetooth και το WiFi, για τη λήψη σημάτων από απόσταση ή αυτόματα από ένα βοηθητικό πρόγραμμα μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι. Το πρότυπο IEEE 802.11 είναι μια από τις πιο συνήθεις ασύρματες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα σπίτια. Η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ ενός υπολογιστή και μιας έξυπνης πρίζας είναι το κλειδί για τον έξυπνο οικιακό αυτοματισμό και τον έλεγχο κτιρίων.

Οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών είναι απαραίτητες στο HEMS για το σχεδιασμό ενός βέλτιστου ελεγκτή προγραμματισμού και στρατηγικών για τη διαχείριση ενέργειας. Ένα έξυπνο HEMS που χρησιμοποιεί ZigBee με βάση το πρότυπο IEEE 802.15.4 αναπτύσσεται για να παρέχει έξυπνες υπηρεσίες σε πελάτες με συστήματα κλιματισμού, θέρμανσης και δίκτυα

αμφίδρομης επικοινωνίας. Αναπτύχθηκε ένα σύστημα προστασίας και εποπτείας που βασίζεται σε πλατφόρμα ασύρματης επικοινωνίας για κτίρια κατοικιών χρησιμοποιώντας έναν ασύρματο αισθητήρα ZigBee. Ένα έξυπνο σύννεφο HEMS που υλοποιεί επικοινωνία ZigBee χρησιμοποιήθηκε για έξυπνες συσκευές παρακολούθησης ισχύος και περιβάλλοντος και έξυπνους διακομιστές διαχείρισης νέφους σε έξυπνα σπίτια.

Αυτό το σύστημα μπορεί να μειώσει τη μέση συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά 7,3%. Σχεδιάστηκε επίσης ένας ασύρματος αισθητήρας ZigBee βασισμένος στο HEMS που παρακολουθεί την κατανάλωση ενέργειας των οικιακών φορτίων και των φώτων. Η HEMS συγκεντρώνει τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας για κάθε οικιακή συσκευή και ελέγχει το φορτίο μέσω προγραμματισμού για τη μείωση του ενεργειακού κόστους.

Ένας έξυπνος ελεγκτής για HEMS που χρησιμοποιεί ασύρματο πρωτόκολλο ZigBee χρησιμοποιείται επίσης για τον αυτόματα έλεγχο των οικιακών συσκευών βάσει δυναμικής χρέωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις και επιθυμίες των πελατών. Ο ελεγκτής παρέχει χειροκίνητες ή αυτόματες επιλογές για τον έλεγχο διαφόρων συσκευών. Επιπλέον, το ασύρματο πρωτόκολλο ZigBee για κόμβους αισθητήρων ισχύος χρησιμοποιείται στην απομακρυσμένη μέτρηση ισχύος και στην ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ηλεκτρικών συσκευών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση του δικτύου επικοινωνίας ZigBee σε αυτό το σύστημα επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας.

Αναπτύχθηκε μια νέα προσέγγιση διαχείρισης ενέργειας βασισμένη στο Bluetooth χαμηλής ενέργειας για επικοινωνία μεταξύ οικιακών συσκευών στο HEMS. Η προσέγγιση λαμβάνει υπόψη διαφορετικές συσκευές αποθήκευσης, πηγές ενέργειας, ηλεκτρικές οικιακές συσκευές και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είναι αποτελεσματική στην ελαχιστοποίηση της ζήτησης φορτίου αιχμής και των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η δυνατότητα εφαρμογής του Bluetooth είναι περιορισμένη λόγω πολλών παραγόντων, όπως η υψηλή πολυπλοκότητα, το χαμηλό εύρος επικοινωνίας (10 μέτρα), το μικρό μέγεθος δικτύου και η κατανάλωση ενέργειας που τοποθετείται πάνω από αυτή της τεχνολογίας ZigBee (J. Torriti, 2020).

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των πληροφοριών και των επικοινωνιών, όπως η επικοινωνία γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και το WiFi, έχουν βελτιστοποιήσει εκθετικά την εξέλιξη της διαχείρισης της ενέργειας στο σπίτι. Ωστόσο, το WiFi καταναλώνει επιπρόσθετη ισχύ, καθιστώντας το ακριβό σε μια πολύπλοκη υποδομή όπου χρειάζεται επιπλέον στοιχεία, όπως δρομολογητές, στο δίκτυο. Προτάθηκε μια χαμηλού κόστους και αποτελεσματική λύση για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των οικιακών φορτίων χρησιμοποιώ-

ντας ένα έξυπνο βύσμα WiFi . Η επικοινωνία WiFi πραγματοποιείται στην έξυπνη πρίζα χρησιμοποιώντας μια διεύθυνση IP. Ένα έξυπνο σύστημα HEMS που βασίζεται σε ένα δίκτυο αισθητήρων WiFi υιοθετήθηκε για τον έλεγχο της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα νοικοκυριό (J. Torriti, 2020). Η πλατφόρμα Arduino που βασίζεται σε μικροελεγκτές και το δίκτυο WiFi χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας διαφορετικών οικιακών συσκευών και τον απομακρυσμένο έλεγχο πολλαπλών συσκευών για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Τα υπάρχοντα πρότυπα ασύρματης σύνδεσης, όπως το WiFi και το Bluetooth, είναι προφανώς περιορισμένα στην εφαρμογή τους και ακατάλληλα για χρήση σε OnLine ασύρματη παρακολούθηση και έλεγχο οικιακών φορτίων επειδή απαιτούν πρόσθετη πύλη επιπέδου εφαρμογής όταν συνδέονται στο Διαδίκτυο. Οι ασύρματοι αισθητήρες ZigBee χρησιμοποιούνται ως ασύρματα μέσα επικοινωνίας για την παρακολούθηση της οικιακής ενέργειας επειδή διαθέτουν κατάλληλο εύρος επικοινωνίας, χαμηλό ρυθμό δεδομένων, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλή πολυπλοκότητα, παροχή υποστήριξης σε μεγάλο αριθμό κόμβων στο δίκτυο (έως 65.535), άνετη αφαίρεση ή προσθήκη κόμβων στο δίκτυο και ισχυρό δίκτυο πλέγματος. Κατά συνέπεια, η αποτυχία ενός κόμβου δεν ασκεί καμία επίδραση στο υπόλοιπο δίκτυο (M. S. Ahmed, 2021).

2.7 Εφαρμογές των τεχνικών ελέγχου προγραμματισμού στο Hems

Το HEMS μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας προγραμματίζοντας τις οικιακές συσκευές δίχως να επηρεάζει το επίπεδο άνεσης των πελατών. Τα οικιακά φορτία προγραμματίζονται συνήθως με την ελάχιστη δυνατή ζήτηση ισχύος κατά το φορτίο αιχμής και μειώνοντας το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μέσω δυναμικής ωριαίας χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη χρήση ενός βέλτιστου ελεγκτή προγραμματισμού, οι συμμετέχοντες πελάτες σε προγράμματα DR μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας όταν έχουν μειώσει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής και μετατοπίζοντας το φορτίο χρόνου αιχμής σε χρόνο εκτός αιχμής (Y. Rezaee, 2018).

Οι βέλτιστες στρατηγικές προγραμματισμού περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση προγραμματισμένων οικιακών συσκευών, όπως A/C, θερμοσίφωνες, πλυντήρια ρούχων, στεγνωτήρια ρούχων και ηλεκτρικά οχήματα καθώς και μη προγραμματισμένες οικιακές συσκευές, όπως τηλεόραση, φώτα, εκτυπωτές, φούρνους, υπολογιστές, και μικροκύματα ανά πάσα στιγμή. Διάφορες προσεγγίσεις ελέγχου προγραμματισμού έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία βέλτιστου προγραμματισμού της χρήσης ενέργειας της συσκευής, λαμβάνοντας υπόψη βασισμένες σε κανόνες τεχνικές, την τεχνητή νοημοσύνη (AI) αλλά και τις τεχνικές βελτιστοποίησης.

Ο αλγόριθμος του ελεγκτή προγραμματισμού που βασίζεται σε κανόνες έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά συστήματα για συμπεριφορική εφαρμογή με τον καθορισμό συνθηκών. Ο αλγόριθμος Rete χρησιμοποιείται στο HEMS για τον έλεγχο της ενέργειας μέσω έξυπνων βρυσών σε ένα δίκτυο. Τα φορτία διανέμονται σε έξυπνες βρύσες για συλλογή δεδομένων και επεξεργασία κανόνων. Ομοίως, μια μέθοδος βασισμένη σε κανόνες με ενέργεια κατ' απαίτηση έχει χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση ηλεκτρικών συσκευών δημιουργώντας κανόνες “εάν” ή “τότε” και οι οποίοι βασίζονται σε συσκευές υψηλής προς χαμηλή προτεραιότητας (high-to-low) .

Ένας αλγόριθμος που βασίζεται σε κανόνες μετατοπίζει τα φορτία σε περιόδους χαμηλής τιμής και περιορίζει τα φορτία που χρησιμοποιούνται. Ο αλγόριθμος μπορεί στη συνέχεια να διαχειρίζεται διαφορετικούς τύπους συσκευών φορτίου και πολλαπλούς χειριστές, να παρέχει μια κατάλληλη λύση για τη μείωση του ενεργειακού κόστους και να ελέγχει τις διακυμάνσεις της τιμής σε πραγματικό χρόνο τιμολόγησης. Ο βασισμένος σε κανόνες αλγόριθμος για το HEMS που εξετάζει την εφαρμογή DR έχει επίσης αναπτυχθεί για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών. Συγκεκριμένα, η βασισμένη σε κανόνες προσέγγιση για τον προγραμματισμό οικιακών συσκευών παρουσιάζει αρκετές ελλείψεις, όπως η μη καταλληλότητα για επεκτάσεις, επειδή δεν μπορεί να βασίζεται σε κανόνες για την επέκταση του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι επίσης σε θέση να αντιμετωπίσει μεγάλα δεδομένα, ειδικά στρατηγικές DR, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον έλεγχο των οικιακών συσκευών σε πραγματικό χρόνο (M. S. Ahmed, 2021).

2.8 Ελεγκτής προγράμματος HEM με τεχνικές AI

Τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για την εφαρμογή ελεγκτών χρονοδιαγράμματος οικιακών συσκευών για οικιακούς καταναλωτές σε έξυπνα σπίτια. Αυτοί οι ελεγκτές χρονοδιαγράμματος HEM που βασίζονται σε AI βασίζονται σε πλασματικό νευρωνικό δίκτυο (ANN – Artificial Neural Network), έλεγχο ασαφούς λογικής (FLC -Fuzzy Logic Control)² και προσαρμοστικό νευρωνικό ασαφές σύστημα συμπερασμάτων (ANFIS -Adaptive Neuro Fuzzy Interface System)³. Ένας ελεγκτής AI αποτελείται από προγραμματισμό λογισμικού που προσπαθεί να μιμηθεί την ανθρώπινη σκέψη. Το ANN, το οποίο είναι ένας αλγόριθμος επεξεργασίας πληροφοριών για μοντελοποίηση μη γραμμικών συστημάτων και προσομοίωσης του ανθρώπινου εγκεφάλου, έχει χρησιμοποιηθεί ως έξυπνος ελεγκτής για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών.

² υπολογιστική τεχνική βάση κανόνων όπου δημιουργείται πίνακας αναζήτησης για τη μείωση του σφάλματος στις μεταβλητές ελέγχου.

³ Συνδυασμός ενός νευρο-ασαφούς συστήματος και ενός αλγορίθμου μάθησης. Το ANFIS μπορεί να μάθει από δεδομένα και να κάνει προβλέψεις με βάση αυτά τα δεδομένα. Ο αλγόριθμος εκμάθησης είναι σε θέση να προσαρμόσει τα βάρη των συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων στο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να μάθει και να προσαρμοστεί σε νέα δεδομένα.

Οι λύσεις που βασίζονται σε ANN μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί για εργαλεία προσομοίωσης για τη δημιουργία μιας γρήγορης λύσης για ζητήματα ελέγχου και πρόβλεψης. Μια προηγμένη μέθοδος θερμικού ελέγχου που βασίζεται σε ANN για οικιακά κτίρια έχει επίσης αναπτυχθεί για να δημιουργήσει εξαιρετικά άνετα θερμικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος ελέγχου ANN μπορεί να βελτιώσει τη θερμική άνεση σε οικιακά κτίρια. Σε μια μελέτη, το ANN χρησιμοποιήθηκε με γενετικό αλγόριθμο για εβδομαδιαίο προγραμματισμό συσκευών με βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας σε οικιακό τομέα με σκοπό τη μείωση της ζήτησης ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής και τη μεγιστοποίηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών (A. Agnetis, 2019).

Επιπλέον, μια άλλη μελέτη χρησιμοποίησε ANN που βασίζεται σε PSO για να βελτιώσει τη λειτουργία του επιλέγοντας τον βέλτιστο αριθμό νευρώνων σε κάθε κρυφό στρώμα και τους ρυθμούς εκμάθησης. Οι συγγραφείς πρότειναν έναν νέο υβριδικό αλγόριθμο αναζήτησης κεραυνών (LSA – Lightning Search Algorithm)⁴ που βασίζεται στο ANN για την πρόβλεψη της βέλτιστης κατάστασης ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των οικιακών συσκευών.

Η βελτιστοποίηση LSA υβριδοποιήθηκε με ANN για τη βελτίωση της απόδοσης ANN επιλέγοντας τις βέλτιστες τιμές των νευρώνων σε κάθε κρυφό στρώμα και το ρυθμό εκμάθησης, πράγμα που ενισχύει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια του ANN. Επίσης ένα καταναεμημένο αλγόριθμο βασισμένο σε ANN χρησιμοποιήθηκε για τη μείωση της συνολικής τιμής ενέργειας και της καθυστέρησης λειτουργίας στη ζήτηση ενέργειας με τη λήψη ακριβών αποφάσεων διαχείρισης ενέργειας. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι η τεχνική ANN μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας ελέγχοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του νοικοκυριού.

Το FLC έχει χρησιμοποιηθεί στο HEMS για τον έλεγχο των οικιακών ηλεκτρικών συσκευών ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Το FLC σχεδιάστηκε με την εφαρμογή τεσσάρων βημάτων. Το FLC είναι απλό στην εκτέλεση και μπορεί να χειριστεί μη γραμμικά και γραμμικά συστήματα που βασίζονται σε γλωσσικούς κανόνες. Επιπλέον δεν απαιτεί μαθηματικό μοντέλο. Το FLC αναπτύχθηκε για τον προγραμματισμό των κλιματιστικών μονάδων της <<επόμενης μέρας>> για την επίτευξη βέλτιστου προγραμματισμού θερμοκρασίας σε σχέση με τις προβλέψεις εξωτερικής θερμοκρασίας και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

Το DR εφαρμόζεται μέσω του smart HEMS σε ένα έξυπνο οικιακό περιβάλλον. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης έδειξε την ικανότητα του FLC να μειώνει την κατανάλωση ενέργειας

⁴ είναι μια νέα μέθοδος μετα-ευρετικής βελτιστοποίησης, η οποία προτάθηκε το 2015 για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης περιορισμών

και να προγραμματίζει τη λειτουργία των κλιματιστικών μονάδων. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ασαφείς τεχνικές για να μοντελοποιήσουν την άνεση των χρηστών και να προβλέψουν τις τιμές για να μεγιστοποιήσουν τα επίπεδα άνεσης και να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας στις κατοικίες. Παρουσιάζεται επίσης ένα μοντέλο υψηλής ανάλυσης ηλεκτρικής κατανάλωσης για οποιαδήποτε κατοικία που χρησιμοποιεί σύστημα συμπερασμάτων ασαφούς λογικής. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να ενσωματώνεται στο HEMS για τη μείωση του κόστους ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με τα πρότυπα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των οικιακών συσκευών (A. Agnetis, 2019).

Ο τύπος της συσκευής και η ενεργή χρήση χρησιμεύουν ως είσοδος στο ασαφές σύστημα και η πιθανότητα κάθε συσκευής να ξεκινήσει μέσα στο επόμενο λεπτό θεωρείται η έξοδος. Ο ανεπτυγμένος έλεγχος ασαφούς λογικής (FLC) μπορεί να ελέγξει μόνο λίγους τύπους οικιακών συσκευών χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις συσκευές υψηλής κατανάλωσης. Ένας ελεγκτής προγραμματισμού σε πραγματικό χρόνο εφαρμόστηκε για οικιακές συσκευές με βάση την ασαφή λογική στο HEMS στον οποίο, εξετάστηκαν στο σύστημα τέσσερις οικιακές συσκευές με μπαταρία και φωτοβολταϊκό. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το FLC μπορεί να μειώσει τη ζήτηση φορτίου προγραμματίζοντας τους χρόνους λειτουργίας των οικιακών συσκευών και λαμβάνοντας υπόψη την παροχή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και μπαταρίες.

Κάποιοι ερευνητές σχεδίασαν ένα FLC για το HEMS με σκοπό την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, ο ελεγκτής δεν λαμβάνει υπόψη το επίπεδο άνεσης των χρηστών και τα σήματα DR. Εφαρμόστηκαν τρεις τεχνικές ελέγχου, δηλαδή FLC, συνεχούς χαλάρωσης και γραμμικού προγραμματισμού μεικτού ακέραιου αριθμού, για τον προγραμματισμό οικιακών συσκευών. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τρεις τύποι FLC, συγκεκριμένα, FLC που σχετίζεται με εργασίες, FLC που σχετίζονται με τη θερμότητα και FLC για την μπαταρία. Το αναπτυγμένο σύστημα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, θέρμανσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Ένας άλλος ελεγκτής ΑΙ που χρησιμοποιείται για το HEMS είναι ο ANFIS, ο οποίος είναι ένας έξυπνος ελεγκτής που προγραμματίζει και ελέγχει το οικιακό φορτίο για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Η δομή ANFIS παρουσιάζει πολλά επίπεδα και δεν απαιτεί μαθηματικό μοντέλο. Ένας ελεγκτής που βασίζεται σε ANFIS έχει εφαρμοστεί σε ένα έξυπνο σπίτι.

Ο ελεγκτής αντιπροσωπεύει έναν έξυπνο πίνακα αναζήτησης και ένα ασαφές υποσύστημα. Η είσοδος προέρχεται από ανάδραση εξόδου, εξωτερικούς αισθητήρες και ασαφή υποσυστήματα. Ο προτεινόμενος ελεγκτής καθορίζει τον βέλτιστο προγραμματισμό ενέργειας σύμφωνα με τη δυναμική τιμή χωρίς να κάνει ελάχιστη την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, ο ελεγκτής

αγνοεί άλλες παραμέτρους, όπως τις προτιμήσεις των χρηστών και τις στρατηγικές DR. Παράλληλα έχει εφαρμοστεί ένας ευφυής αλγόριθμος συμπερασμάτων που βασίζεται στο ANFIS για το HEMS. Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να αυξήσει το συμπέρασμα μεταξύ των συσκευών που μεταδίδουν το πρόγραμμα επανεκπαίδευσης στο ANFIS. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση του προτεινόμενου ANFIS είναι καλύτερη από αυτή του κλασικού ANFIS.

Γίνεται αντιληπτό ότι αρκετοί περιορισμοί σχετίζονται με τη χρήση του FLC και του ANFIS στους ελεγκτές προγραμματισμού. Για παράδειγμα, το FLC εξαρτάται από κατάλληλες μεταβλητές σε αλγόριθμους βασισμένους σε κανόνες και συναρτήσεις μέλους. Αυτές οι μεταβλητές καθορίζονται συνήθως με βάση τη δοκιμή και το σφάλμα, κάτι που απαιτεί επιπρόσθετο χρόνο. Οι προκλήσεις που σχετίζονται με τον ελεγκτή ANFIS περιλαμβάνουν τον μεγάλο όγκο δεδομένων που απαιτούνται και τους μεγάλους χρόνους εκπαίδευσης και εκμάθησης. Κατά συνέπεια, η τεχνική ANN παρέχει εξαιρετικά ευνοϊκά χαρακτηριστικά, όπως εξαιρετική πρόβλεψη, καλή απόδοση σε λειτουργία σε πραγματικό χρόνο, διακριτή ικανότητα εκμάθησης πολύπλοκων μη γραμμικών συναρτήσεων μέσω της εκπαίδευσης και δημιουργίας πληροφοριών που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της εκμάθησης (V. C. Gungor, 2019).

2.9 Ελεγκτής προγράμματος HEMS με χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης

Βελτιστοποίηση είναι ο προσδιορισμός των καταλληλότερων λύσεων σε προβλήματα μετά τον προσδιορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης που υπόκειται σε περιορισμούς. Η αντικειμενική συνάρτηση συχνά διατυπώνεται με βάση ορισμένες εφαρμογές και μπορεί να λάβει τη μορφή ελάχιστου σφάλματος, ελάχιστου κόστους, βέλτιστου σχεδιασμού και βέλτιστης διαχείρισης. Διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης έχουν χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσουν τους τελικούς χρήστες να δημιουργήσουν τον βέλτιστο προγραμματισμό της χρήσης ενέργειας της συσκευής με βάση διαφορετικά τιμολόγια τροφοδοσίας, συστήματα τιμολόγησης και ρυθμίσεις άνεσης.

Ο βέλτιστος προγραμματισμός κατανάλωσης ενέργειας βάσει γραμμικού προγραμματισμού χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και του χρόνου αναμονής για κάθε οικιακή συσκευή που λειτουργεί με τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Μια βέλτιστη προσέγγιση που βασίζεται στη θεωρία παιγνίων χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος κατανάλωσης για τους συνδρομητές σε μια γειτονιά για τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η τεχνική βελτιστοποίησης Lyapunov χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του μακροπρόθεσμου αναμενόμενου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για την κατανάλωση ενέργειας των οικιακών συσκευών, η οποία περιλαμβάνει ελεγχόμενα φορτία, μη ελεγχόμενα φορτία και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η χρήση πλήρως αυτόματου DR είναι σημαντική για την επίτευξη βελτιωμένου HEMS. Αναπτύχθηκε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση των τιμολογίων για τους τελικούς χρήστες μέσω της αποτελεσματικής λειτουργίας των οικιακών συσκευών σε διαφορετικές τιμές με βάση τα σήματα DR. Παράλληλα αναπτύχθηκε από ερευνητές μια βελτιστοποίηση μη γραμμικού προγράμματος μικτού ακέραιου για τον προγραμματισμό οικιακών ηλεκτρικών συσκευών με εγκατεστημένη αποθήκευση μπαταρίας. Το HEMS ιδρύθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος DR χρησιμοποιώντας τον χρόνο που απαιτείται για τη χρήση του τιμολογίου ηλεκτρικής ενέργειας για την ελαχιστοποίηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.

Το αποτέλεσμα βελτιστοποίησης έδειξε ότι οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν το ενεργειακό κόστος μετακινώντας την κατανάλωση ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους κατά 22%. Κάποιοι ερευνητές εφάρμοσαν επίσης μη γραμμικό προγραμματισμό μικτού ακέραιου αριθμού για τον βέλτιστο προγραμματισμό της οικιακής ηλεκτρικής συσκευής, πράγμα που ευθύνεται για την εξοικονόμηση ενέργειας και τον άνετο τρόπο ζωής.

Ο βέλτιστος προγραμματισμός των οικιακών συσκευών χρησιμοποιώντας τη θεωρία παιγνίων έχει επίσης παρουσιαστεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά οχήματα και εξοικονόμηση μπαταρίας για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο σπίτι. Αναπτύχθηκε επίσης ένα αυτόνομο σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης που βασίζεται στη θεωρία παιγνίων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των οικιακών συσκευών και τη διαχείριση των οικιακών φορτίων δίνοντας πλεονέκτημα στις συσκευές όσον αφορά τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ή την ευκολία του πελάτη (M. Berković-Šubić, 2017).

Πρόσφατα, οι ευρετικές τεχνικές βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται εκτενώς για την διεκπεραίωση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Αυτές οι τεχνικές είναι στοχαστικοί αλγόριθμοι που μιμούνται τις διαδικασίες φυσικών φαινομένων, όπως η αυτοοργάνωση, η φυσική εξέλιξη και η φυσική επιλογή. Η βελτιστοποίηση σμήνους δυαδικών σωματιδίων (BPSO-Binary Particle Swarm Optimization)⁵ χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός βέλτιστου χρονοδιαγράμματος περικοπής που βασίζεται σε σημαντικό αριθμό διακοπόμενων οικιακών φορτίων σε χρονικό διάστημα 16 ωρών.

Αυτή η τεχνική στοχεύει να δημιουργήσει ένα χρονοδιάγραμμα ημερησίως που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα του προγραμματισμού έδειξαν ότι το BPSO είναι μια αποτελεσματική τεχνική βελτιστοποίησης για τον προγραμματισμό των

⁵ Ο αλγόριθμος BPSO επιτρέπει στον αλγόριθμο PSO να λειτουργεί σε δυαδικούς προβληματικούς χώρους. Χρησιμοποιεί την έννοια της ταχύτητας ως πιθανότητα ότι ένα bit (θέση) παίρνει ένα ή μηδέν.

διακοπτόμενων οικιακών φορτίων με αποτέλεσμα τη δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων χωρίς να επηρεάζεται η άνεση του τελικού χρήστη. Η τεχνική PSO χρησιμοποιείται επίσης για τη βελτιστοποίηση των επιθυμητών σημείων κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας των συσκευών. Οι καιρικές συνθήκες, οι προτιμήσεις των χρηστών και οι προτεραιότητες της συσκευής λαμβάνονται υπόψη σε αυτήν την τεχνική. Η τεχνική BPSO χρησιμοποιείται επίσης για τον προγραμματισμό τεσσάρων ελεγχόμενων οικιακών κατανεμημένων ενεργειακών πόρων και 29 διακοπτόμενων συσκευών. Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί το καθαρό όφελος των τελικών χρηστών και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας.

Έχει αναπτυχθεί ένας βέλτιστος ελεγκτής χρονοδιαγράμματος σε πραγματικό χρόνο για το HEMS. Αυτός ο ελεγκτής χρησιμοποιεί έναν νέο αλγόριθμο αναζήτησης δυαδικού backtracking ως ελεγκτή χρονοδιαγράμματος για τον έλεγχο και τον προγραμματισμό της λειτουργίας των οικιακών συσκευών σε χρόνο εκτός αιχμής λαμβάνοντας υπόψη τις στρατηγικές DR. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος προγραμματισμού μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής κατά περίπου 9.7138%, λαμβάνοντας υπόψη τέσσερις συσκευές σε κάθε περίοδο 7 ωρών.

Ο γενετικός αλγόριθμος (GA) με εποπτικό έλεγχο και απόκτηση δεδομένων εφαρμόστηκε για τον προγραμματισμό οικιακών φορτίων με βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα και την ελαχιστοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αποτελείται από μεταβλητά φορτία και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως κυψέλες καυσίμου, ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά. Το GA και ο μη γραμμικός προγραμματισμός μεικτού ακέραιου αριθμού συγκρίθηκαν σε διαφορετικά σενάρια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το GA μειώνει την ενέργεια καλύτερα από αυτή της τεχνικής μη γραμμικού προγραμματισμού μεικτού ακέραιου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε μια ισχυρή τεχνική βελτιστοποίησης και στοχαστικής για τον προγραμματισμό οικιακών συσκευών και τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη δυναμική τιμολόγηση.

Ο ευρετικός αλγόριθμος προγραμματισμού είναι επίσης απαραίτητος για την επίτευξη βέλτιστων λύσεων. Προτάθηκε μια αποτελεσματική ευρετική προσέγγιση και μοντέλο βελτιστοποίησης για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο οικιακών έξυπνων οικιακών συσκευών και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για την επίτευξη αποτελεσματικής διαχείρισης ενέργειας.

Μια τεχνική βελτιστοποίησης που βασίζεται στον άνεμο χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό οικιακών συσκευών ελαχιστοποιώντας το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και μεγιστοποιώντας το επίπεδο άνεσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι η τεχνική βελτιστοποίησης που βασίζεται στον άνεμο μειώνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 8,3% σε σύ-

γκριση με αυτή του PSO λόγω του βέλτιστου προγραμματισμού των οικιακών φορτίων. Η τεχνική BPSO αναπτύχθηκε επίσης για τον βέλτιστο προγραμματισμό των οικιακών συσκευών για τη μείωση του κόστους κατηγοριοποιώντας των συσκευών με βάση την προτεραιότητα και το πρόγραμμα DR.

Ωστόσο, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ευρετικός αλγόριθμος προγραμματισμού που βασίζεται στο BPSO είναι σχετικά αναποτελεσματικός όσον αφορά τον υπολογιστικό χρόνο, γεγονός που τον καθιστά ακατάλληλο για εφαρμογή σε προγραμματισμό σε πραγματικό χρόνο. Αναφέρθηκε επίσης ένας δυναμικός προγραμματισμός οικιακού φορτίου που βελτιστοποιεί τον προγραμματισμό των οικιακών συσκευών. Αυτό το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στους πελάτες να μειώσουν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και να ελαχιστοποιήσουν τα φορτία αιχμής.

Είναι γνωστό ότι οι μαθηματικές και ευρετικές τεχνικές βελτιστοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο για την επίλυση προβλημάτων προγραμματισμού. Οι πρώτες μπορούν να παρέχουν ακριβείς λύσεις, αλλά συνήθως χρειάζονται περισσότερο χρόνο κατά την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Για να ξεπεραστούν τα συγκεκριμένα μειονεκτήματα, οι ευρετικές τεχνικές βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται εκτενώς. Ωστόσο, οι ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές ευρετικής βελτιστοποίησης, όπως το PSO, περιορίζονται στο ότι παγιδεύονται σχετικά εύκολα σε ορισμένα τοπικά ελάχιστα, τα οποία είναι υπολογιστικά πολύπλοκα και παρουσιάζουν δυσκολία στην επιλογή βέλτιστων παραμέτρων ελέγχου. Όλοι αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε μη ικανοποιητικές λύσεις. Ένα σημαντικό εμπόδιο, το οποίο αντιπροσωπεύεται από την ευαισθητοποίηση των πελατών σχετικά με τις έξυπνες τεχνολογίες, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την υλοποίηση ενός κατάλληλου έξυπνου HEM για την αλληλεπίδραση με τους πελάτες (E. Woods, 2018).

2.10 Συμπεράσματα σχετικά με τα HEMs

Για να καταστεί δυνατή η ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας καθώς και για την ανάπτυξη των αποκεντρωμένων μεθοδολογιών ελέγχου δικτύου απαιτείται σημαντική έρευνα στην προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI - Advance Metering Infrastructure).

Για να επιτευχθεί το μέγιστο όφελος από ανανεώσιμες πηγές, το ESS πρέπει να ενσωματωθεί σε εμπορική κλίμακα και να διαχειρίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε, παρά τις διακυμάνσεις της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, να χρεώνονται αρκετά ώστε να παρέχουν εφεδρική υποστήριξη στο δίκτυο σε κάθε αβέβαιη κατάσταση. Επομένως, προτείνουμε στους ερευνητές να εργαστούν για την ανάπτυξη νέων αποκεντρωμένων αλγορίθμων ρύθμισης φορτίου.

Συνιστάται η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων ρύθμισης φορτίου βάσει Μηχανικής Μάθησης/Τεχνητής Νοημοσύνης (ML/AI) και πρόγνωσης καιρού, έτσι ώστε το ESS να μπορεί κατά προτίμηση να φορτίζεται σε ώρες εκτός αιχμής ή σε ώρες χαμηλότερης τιμής ενέργειας για να παρέχει φθηνή ενέργεια στους καταναλωτές για να αντικαταστήσει τις εγκαταστάσεις κορυφαίας ισχύος, οι οποίες είναι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής ή κορυφής..

Για να μειωθεί η υπολογιστική πολυπλοκότητα των δικτύων ενεργοποίησης αμφίδρομης εμπορίας ενέργειας σε τοπικό επίπεδο, θα πρέπει να αναπτυχθούν αλγόριθμοι αποκεντρωμένης διαχείρισης.

Δεδομένου ότι οι ξαφνικές αλλαγές είναι πολύ περίπλοκες να προβλεφθούν, και είναι ο μεγαλύτερος περιορισμός που περιορίζει τη μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, πρέπει να αναπτυχθούν αλγόριθμοι πρόγνωσης καιρού βασισμένοι σε Μηχανική Μάθηση. Αυτοί οι αλγόριθμοι θα πρέπει να εκπαιδεύονται κυρίως μέσω ιστορικών δεδομένων καιρού για καλύτερο αποτέλεσμα.

Καθώς η ασφάλεια και το απόρρητο δεδομένων έχουν γίνει το μεγαλύτερο μέλημα με τη μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση των δεδομένων cloud. Επομένως, με τη χρήση αλυσίδας μπλοκ, SDN, πρέπει να αναπτυχθούν συστήματα προστασίας δεδομένων πολλαπλών επιπέδων.

Προκειμένου να προστατευθούν οι αλγόριθμοι ταξινόμησης δεδομένων απορρήτου των καταναλωτών, όπως η ταξινόμηση k-means, η λογιστική παλινδρόμηση και οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, θα πρέπει να αναπτυχθούν νέα μοντέλα.

Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας σε εκπαιδευτικά κτίρια με χρήση υποδομής IoT

3.1 Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι έξυπνες πόλεις είναι δύο από τις πιο δημοφιλείς κατευθύνσεις προς τις οποίες κινείται πολύ ενεργά η ερευνητική κοινότητα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχουν επενδυθεί σημαντικοί πόροι στην οικοδόμηση σχετικών υποδομών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία και τη διαθεσιμότητα μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεων έξυπνων πόλεων σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει μια σημαντική συζήτηση σε εξέλιξη και αφορά το πώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε αυτές τις εξελίξεις στην έξυπνη πόλη, προκειμένου να παράγουμε αξιόπιστες, οικονομικά βιώσιμες και κοινωνικά δίκαιες λύσεις που δημιουργούν δημόσια αξία (Elhoseny et al., 2017).

Μία πορεία προς αυτούς τους στόχους είναι η εφαρμογή τέτοιων εργαλείων σε εκπαιδευτικό πλαίσιο και η εστίαση στη βιωσιμότητα, επιτυγχάνοντας παράλληλα εξοικονόμηση ενέργειας. Γενικά, η εκπαιδευτική κοινότητα είναι πολύ σημαντική τόσο από άποψη μεγέθους όσο και από άποψη σεβασμού προς το μέλλον μας. Οι σημερινοί μαθητές είναι οι πολίτες του αύριο και θα πρέπει να διαθέτουν τις επιστημονικές και τεχνολογικές δεξιότητες για να ανταποκριθούν σε μελλοντικές προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή.

Επιπλέον, είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι η περιβαλλοντική εκπαίδευση είναι στενά συνδεδεμένη με την εκπαίδευση του πολίτη, μια βασική πτυχή της μαθησιακής διαδικασίας που εστιάζει στη μετατροπή των μαθητών σε καλά ενημερωμένους, προσεκτικούς και υπεύθυνους πολίτες, έτοιμους να βοηθήσουν στις κοινότητες στις οποίες συμμετέχουν, είτε είναι σχολεία, γειτονιές ή τον ευρύτερο κόσμο. Ιδανικά, αυτή η διαδικασία θα πρέπει να συνδέει τη διδασκαλία στο σχολείο με ζητήματα όπως η προστασία του περιβάλλοντος.

Είναι ένα μέσο μέσω του οποίου η Ευρώπη μπορεί να επιτύχει τους στόχους της, εξοπλίζοντας τους πολίτες, τις επιχειρήσεις και τη βιομηχανία στην Ευρώπη με τις δεξιότητες και τις ικανότητες που απαιτούνται για την παροχή βιώσιμων και ανταγωνιστικών λύσεων στις προκλήσεις που προκύπτουν (Elhoseny et al., 2017).

Το ΓΑΙΑ ένα project που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, αναπτύσσει μια πλατφόρμα IoT που συνδυάζει ανίχνευση, εργαλεία που βασίζονται στο διαδίκτυο και σε στοιχεία παιχνιδιού, προκειμένου να απευθυνθεί στην εκπαιδευτική κοινότητα. Στόχος του είναι να αυξήσει την ευαισθητοποίηση σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τη βιωσιμότητα, με κριτήριο δεδομένα αισθητήρων πραγματικού κόσμου που παράγονται από τα σχολικά

κτίρια όπου ζουν και εργάζονται μαθητές και δάσκαλοι, ενώ παράλληλα οδηγεί σε αλλαγή συμπεριφοράς όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση. Σε αυτό το πλαίσιο, θεωρείται ότι μια προσέγγιση που βασίζεται σε ανοιχτού κώδικα, αναπαραγόμενη και ευρέως διαθέσιμη τεχνολογία, παρέχει ένα «θεμέλιο» που επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να προσαρμοστούν στις ανάγκες κάθε τάξης, δημιουργεί πολλές δυνατότητες.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται από τα σχολεία που συμμετέχουν στη ΓΑΙΑ ως τρόπο δομής των παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας με τρόπο που μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί, να επαληθευτεί και να αναφερθεί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που διατίθενται από το έργο σε αυτά τα σχολεία. Η εστίασή στις εκπαιδευτικές κοινότητες έχει ουσιαστικά ως στόχο να παρέχει καλύτερες ευκαιρίες στους εκπαιδευτικούς να διδάξουν τέτοιες σημαντικές πτυχές μέσω πρακτικών δραστηριοτήτων (K. R. Moses et. al., 2019).

Αρχικά παρουσιάζεται συνοπτικά η συνολική προσέγγιση του έργου και η υποδομή του και στη συνέχεια εκθέτονται τα βήματα της μεθοδολογίας με περισσότερες λεπτομέρειες. Το σύνολο αποτελεσμάτων που παράγεται με την εφαρμογή της μεθοδολογίας δείχνει ότι είναι εφικτό να υπάρξει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον εφοδιασμό σχολείων με δεδομένα πραγματικού κόσμου για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο αποτελεσμάτων της εφαρμογής στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας.

3.2 Project Γαία και εξοικονόμηση ενέργειας

Σε αυτή την ενότητα, παρέχεται μια σύντομη επισκόπηση της υποδομής του project ΓΑΙΑ, η οποία χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας, μαζί με το σύνολο εργαλείων που χρησιμοποιείται στο project ως διεπαφή τελικού χρήστη για τις μετρήσεις που παράγονται από αυτήν την υποδομή. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο τύπος της υποδομής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή δεδομένων για δραστηριότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι αρκετά γενικός και τα αποτελέσματα που περιγράφονται εδώ δεν συνδέονται ειδικά με την υποδομή που χρησιμοποιείται στην εργασία (M. El-Abed and et. al., 2015).

Η ανάπτυξη του IoT σε πραγματικό κόσμο που αναπτύχθηκε μέσω του project ΓΑΙΑ παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο 23 σχολικών κτιρίων σε 3 χώρες (Ελλάδα, Ιταλία και Σουηδία). Από αυτά τα κτίρια, αυτά που βρίσκονται στην Ελλάδα (19 συνολικά) βρίσκονται σε διαφορετικές τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (προαστιακές και αγροτικές περιοχές, μικρά νησιά, κέντρα πόλεων). Το έτος κατασκευής αυτών των κτιρίων κυμαίνεται από το 1950 έως το

2000. Καλύπτονται σχεδόν όλες οι εκπαιδευτικές βαθμίδες (πρωτοβάθμιο-λύκειο) και διαφορετικά προφίλ (προγράμματα σπουδών, οργάνωση, χαρακτηριστικά κτιρίου, κανονισμοί). Η συντριπτική πλειοψηφία των αιθουσών που παρακολουθούνται χρησιμοποιούνται για διδασκαλία.

Συνολικά, οι αναπτυγμένες συσκευές παρέχουν 1250 σημεία ανίχνευσης τα οποία είναι οργανωμένα σε τέσσερις κατηγορίες: (1) περιβαλλοντικοί αισθητήρες στην τάξη, (2) ατμοσφαιρικοί αισθητήρες (σε εξωτερικούς χώρους), (3) μετεωρολογικοί σταθμοί (σε στέγες) και (4) μετρητές κατανάλωσης ρεύματος (προσαρτημένοι στους πίνακες ηλεκτρικής ενέργειας του κύριου κτιρίου). Δεδομένων των διαφορετικών χαρακτηριστικών του κτιρίου και των απαιτήσεων χρήσης, οι αναπτύξεις ποικίλλουν μεταξύ σχολείων (π.χ. αριθμός αισθητήρων, κατασκευαστής, δικτύωση κ.λπ.).

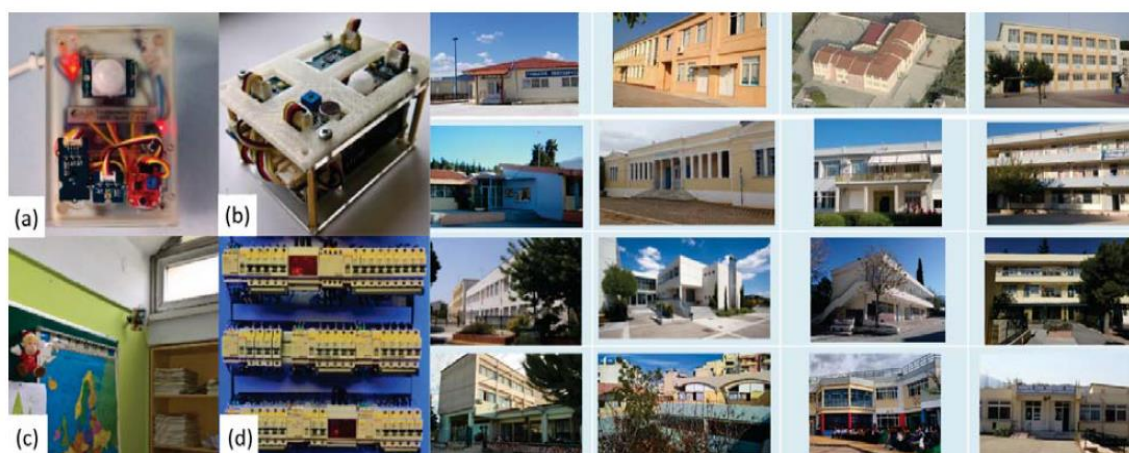
Οι συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται είναι είτε κόμβοι IoT ανοιχτού σχεδιασμού είτε προϊόντα εκτός ραφίου από κατασκευαστές συσκευών IoT. Οι συσκευές εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα IEEE 802.15.4 ή LoRa. Αυτές οι συσκευές συνδέονται με υπηρεσίες cloud μέσω συσκευών πύλης IoT, οι οποίες συντονίζουν την επικοινωνία με την υπόλοιπη πλατφόρμα, ενώ οι κόμβοι εξωτερικού χώρου χρησιμοποιούν ενσύρματη δικτύωση ή WiFi (P. Grother et. al., 2019).

Αυτή η υποδομή δεν θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη χωρίς ένα σύνολο εργαλείων για τη διευκόλυνση της πρόσβασης στα δεδομένα που παράγονται και την παροχή λειτουργικότητας για την υποστήριξη εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων. Το GAIA Challenge είναι ένα διαδικτυακό παιχνίδι για μαθητές, σχεδιασμένο για να αυξήσει την ενεργειακή ευαισθητοποίηση μέσω των εγκαταστάσεων τους. Επιπλέον, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες στα κτίρια και η συμμετοχική ανίχνευση αποτελούν μέρος της πρόκλησης. Ο στόχος είναι να οπτικοποιηθεί ο αντίκτυπος της συμπεριφοράς των συμμετεχόντων στην πραγματική ζωή και να δημιουργηθούν στοιχεία συνεργασίας (μέσα σε μια εγκατάσταση) και ανταγωνιστικών (μεταξύ εγκαταστάσεων) παιχνιδιών πάνω σε πραγματικό αντίκτυπο.

Η πρόκληση του παιχνιδιού χρησιμοποιεί μηχανισμούς παιχνιδιών για α) να παρακινήσει τους συμμετέχοντες να ασχοληθούν με θέματα εξοικονόμησης ενέργειας, β) να εργαστούν σε διαδικτυακές «αποστολές» και γ) να ανταγωνιστούν και να συγκριθούν με άλλες τάξεις και σχολεία σε άλλες χώρες. Προσαρμόζεται επίσης σε διάφορες γλώσσες και περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες που ολοκληρώνονται είτε σε ατομική βάση είτε σε ομαδική βάση. Οι δάσκαλοι συμμετέχουν σε ορισμένες δραστηριότητες της ομάδας, δουλεύοντας μαζί με τους μαθητές τους σε πρακτικές εργασίες παρατήρησης.

Η εφαρμογή διαχείρισης κτιρίων ΓΑΙΑ είναι ουσιαστικά μια ανταποκρινόμενη διαδικτυακή εφαρμογή που προσφέρει γρήγορη απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας και των δεδομένων περιβαλλοντικής ανίχνευσης, ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί τη συμμετοχική ανίχνευση σε ορισμένα σενάρια (S. Lee et. al., 2020).

Οι χρήστες το χρησιμοποιούν ως μέσο για την παρακολούθηση της κατάστασης κτιρίου του σχολείου τους και την παρακολούθηση της απόδοσης του κτιρίου, δηλαδή προσφέρει ορισμένες αναλύσεις κτιρίων. Όσον αφορά την επιθεώρηση και την παρακολούθηση κτιρίων, οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν τη χρήση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο όπου οι αντίστοιχοι μετρητές είναι διαθέσιμοι σε διάφορες χρονικές κλίμακες (από αρκετά λεπτά έως ετησίως), καθώς και να κάνουν συγκρίσεις με παρόμοια κτίρια ή με το ίδιο κτίριο σε άλλα χρονικά διαστήματα (π.χ. προηγούμενα έτη).



Εικόνα 5: Παραδείγματα υποδομής IoT που βρίσκεται εντός σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα (α-β) κόμβοι IoT βασισμένοι σε Arduino και Raspberry Pi, γ) πραγματικός κόμβος μέσα σε μια τάξη, δ) ένας μετρητής ισχύος εγκατεστημένος σε πίνακα διανομής σε ελληνικό σχολείο, μαζί με φωτογραφίες από το εξωτερικό κάποιων σχολικών κτιρίων (Y. Zhang et. al., 2020).

3.3 Τα βήματα της μεθοδολογίας Γαία

Σε αυτήν την ενότητα, παρέχεται μια λεπτομερή περιγραφή της μεθοδολογίας που προτείνεται για την ενσωμάτωση δραστηριοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας στην καθημερινή ζωή ενός σχολείου που έχει εγκαταστήσει υποδομή IoT στο κτήριο του για την παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων, όπως η συνολική του κατανάλωση ενέργειας. Ο σχεδιασμός του ακολουθεί τη συνολική φιλοσοφία του έργου GAIA, αλλά δεν περιορίζεται στην υλοποίηση της GAIA ή σε συγκεκριμένο υλικό/λογισμικό που χρησιμοποιείται στο έργο. Γενικά, προκειμένου να αλλάξει η συμπεριφορά των μαθητών και των δασκάλων όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και να επιτύχει βιώσιμα αποτελέσματα, η GAIA χρησιμοποιεί μια προσέγγιση που

βασίζεται σε βρόχους που επικεντρώνεται σε τρεις πυλώνες: ευαισθητοποίηση, υποστήριξη και ενίσχυση της δέσμευσης.

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ακολουθώντας μια σειρά από απλά βήματα, στα οποία οι μαθητές και οι δάσκαλοι μελετούν διαδοχικά το περιβάλλον τους, παρακολουθούν την υπάρχουσα κατάσταση και εντοπίζουν πιθανά προβλήματα, σχεδιάζουν μια στρατηγική για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας και δράση, και στη συνέχεια παρακολουθούν και αναθεωρούν τα αποτελέσματά των ενεργειών τους. Αρχικά περιλαμβάνεται ένα σύνολο συνολικών κατευθυντήριων γραμμών, ακολουθούμενα από 2 παραδείγματα εφαρμογής σε σχολεία στη Σουηδία και την Ιταλία. Η πρώτη αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνολικά στο κτίριο, ενώ η δεύτερη εστιάζει στα φώτα στους διαδρόμους του σχολικού κτιρίου.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα βασικά βήματα στη μεθοδολογία υλοποίησης του δείγματος δραστηριότητας, τα οποία είναι η ευαισθητοποίηση, η παρατήρηση, ο πειραματισμός και η δράση. Ένα τελευταίο βήμα προτείνει την συγκέντρωση στο στόχο και την παρακολούθηση της προόδου.

Βήμα 1 - Βήματα ευαισθητοποίησης και προετοιμασίας Αυτό το βήμα μπορεί να γίνει παράλληλα με το Βήμα 2 ή πριν από το Βήμα 2. Τα σχολεία θα πρέπει να δημιουργήσουν ένα γενικό προφίλ για το κτήριο τους και να εντοπίσουν τα σημεία όπου καταναλώνεται ενέργεια:

- Φωτισμός μέσα στο κτίριο, τις τάξεις και τους διαδρόμους, καθώς και έξω από το κτίριο.
- Θέρμανση και κλιματισμός.
- Ηλεκτρικές συσκευές, π.χ. συσκευές θέρμανσης νερού, φούρνοι και ψυγεία.
- Εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για διδακτικούς σκοπούς όπως Η/Υ, εργαστηριακός εξοπλισμός, έξυπνοι πίνακες, τρισδιάστατοι εκτυπωτές κ.λπ.

Πρέπει να σημειωθεί το χρονοδιάγραμμα του σχολείου σχετικά με τις ακόλουθες πτυχές:

- Ημέρες και ώρες χρήσης του κτιρίου.
- Αίθουσες διδασκαλίας που χρησιμοποιούνται στο κτίριο και αίθουσες διδασκαλίας που παρακολουθούνται από τη ΓΑΙΑ.
- Αριθμός μαθητών και εκπαιδευτικών που καταλαμβάνουν το κτίριο συνολικά και τις τάξεις που παρακολουθεί η ΓΑΙΑ.

Αυτό το βήμα είναι χρήσιμο για την κατανόηση των πιθανών σημείων κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια και στη σχετική συμβολή τους στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου σε σύγκριση μεταξύ τους.

Βήμα 2 - Παρατήρηση και καθορισμός μιας βάσης για την κατανάλωση ενέργειας.

Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας του σχολικού κτιρίου για μια χρονική περίοδο που δεν επηρεάζεται άμεσα από τις ώρες διδασκαλίας. Αυτό θα βοηθήσει στην διαπίστωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου όταν δεν πραγματοποιούνται δραστηριότητες σε αυτό. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα επιλογών που πρέπει να εξεταστούν σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας αυτής της βάσης: • Ημέρες κατά τις οποίες υπάρχει δραστηριότητα εντός του σχολικού κτιρίου αλλά δεν γίνονται μαθήματα εντός των τάξεων, π.χ. τις ημέρες εκδρομής, Σαββατοκύριακα και εθνικές αργίες ή όταν το σχολικό κτίριο χρησιμοποιείται εκτός των ωρών διδασκαλίας και από άλλες κοινότητες. Αυτό είναι ένα σημαντικό και κύριο βήμα για την κατανόηση του μέρους της κατανάλωσης ενέργειας που μπορεί να θεωρηθεί ως μη ευέλικτο και το οποίο δεν μπορεί να επηρεαστεί εύκολα από τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς όταν αποφασίζουν να πραγματοποιήσουν συγκεκριμένες ενέργειες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο εσωτερικό του κτιρίου.

Βήμα 3 - Πειραματισμός και παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας στο σχολείο κατά τη διάρκεια μιας κανονικής εβδομάδας. Μπορεί να μετρηθεί ποια είναι η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου μιας «κανονικής» εβδομάδας, δηλαδή μιας εβδομάδας όπου δεν αποτυπώνονται σημαντικές διακοπές στο πρόγραμμα. Για παράδειγμα μια εβδομάδα κατά την οποία δεν γίνονται εκδρομές ή άλλες αλλαγές στο πρόγραμμα του σχολείου και όπου οι μαθητές και οι δάσκαλοι κάνουν μαθήματα ως συνήθως. Αφού έχει καθοριστεί μια βάση από το προηγούμενο βήμα, αυτό θα βοηθήσει να εντοπιστούν:

- Το πραγματικό ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας που μπορεί να επηρεαστεί από τη σχολική κοινότητα, δηλαδή τη συνολική κατανάλωση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του σχολείου.
- Οι στόχοι που θα τεθούν για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και οι πιθανές στρατηγικές για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Η χρονική περίοδος αυτού του βήματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μία εβδομάδα και θα μπορούσε επίσης να συμπεριληφθούν τα δεδομένα που είναι ήδη διαθέσιμα στο σύστημα. Τα βήματα 2 και 3 βοηθούν στον προσδιορισμό του τμήματος της κατανάλωσης ενέργειας στο οποίο μπορεί να γίνει παρεμβολή. Έχοντας εντοπίσει στο βήμα 2 τις σταθερές ενε-

γειακές ανάγκες που είναι «μη ευέλικτες» και στις οποίες δεν γίνεται να προγραμματιστεί κάποια παρέμβαση, υπάρχει η δυνατότητα στη συνέχεια να υπολογιστεί το διάστημα μεταξύ της διαφοράς στη μέση κατανάλωση και των σταθερών αναγκών. Αυτό είναι το μέρος της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου που μπορεί να επηρεασθεί, χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα στην εύρυθμη λειτουργία του σχολείου.

Βήμα 4 - Δράση για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων. Κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου τουλάχιστον μιας εβδομάδας, το σχολείο θα πρέπει να εφαρμόσει τις ενέργειες που έχουν προγραμματιστεί από τους εκπαιδευτικούς για την αντιμετώπιση της κατανάλωσης ενέργειας, σε σχέση με κάθε κύκλο δραστηριότητας που επιλέγει το σχολείο.

Για παράδειγμα, όταν ο θεματικός κύκλος φωτισμού είναι ενεργός, οι μαθητές θα πρέπει να εφαρμόζουν συγκεκριμένες στρατηγικές για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας φωτισμού. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα σχολεία θα μπορούσαν να επιλέξουν να εφαρμόσουν μια στρατηγική όπου χρησιμοποιούν τα εργαλεία που παρέχει η ΓΑΙΑ για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας καθημερινά ή εβδομαδιαία. Τα σχολεία θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιήσουν στρατηγικές για τον τρόπο υλοποίησης των δραστηριοτήτων τοποθετώντας τους μαθητές σε διαφορετικές ομάδες και επιβραβεύοντάς τους για τα θετικά αποτελέσματα τους.

Στο τέλος της περιόδου, κάθε σχολείο θα μπορεί να δει το αποτέλεσμα τέτοιων ενεργειών εξοικονόμησης ενέργειας στο κτήριο του και να επιβεβαιώσει στην πράξη εάν αυτές οι ενέργειες θα έχουν κάποιο αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας του σχολείου.

Βήμα 5 – Εστίαση στην εξοικονόμηση ενέργειας και παρακολούθηση της προόδου. Αφού επιτύχουν συγκεκριμένα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας, τα σχολεία θα πρέπει να αφοσιωθούν στη συνέχιση της παρακολούθησης των αποτελεσμάτων και να ελέγξουν εάν αυτά τα αποτελέσματα επιμένουν ή αλλάζουν με κάποιο τρόπο. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η εβδομαδιαία παρακολούθηση των αντίστοιχων μετρήσεων και η επιβράβευση μαθητών και τάξεων με βάση την πρόοδό τους. Ένας άλλος τρόπος είναι μέσω διαγωνισμών, π.χ., οργανώνοντας ομάδες στο σχολικό χώρο για να ανταγωνιστούν μεταξύ τους σε διαφορετικά σημεία του σχολικού κτιρίου. Τα σχολεία θα πρέπει επίσης να έχουν υπόψη τους ότι τέτοιες πτυχές υποστηρίζονται στο πλαίσιο του διαγωνισμού ΓΑΙΑ για τη συγκεκριμένη σχολική χρονιά (C. Goumopoulos, 2018).

3.4.1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη δυναμική των εφαρμογών μεγάλων δεδομένων αποτελεί σημαντική ευκαιρία για τον ενεργειακό τομέα στον τομέα της διαχείρισης ενέργειας, της προστασίας του περιβάλλοντος και της εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, παράγονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας και ψηφιοποιούνται τα ενεργειακά συστήματα, με την αυξανόμενη διείσδυση των αναδυόμενων Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Οι ΤΠΕ, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι αναλύσεις δεδομένων αποτελούν καταλύτη για τη σύλληψη και τη δημιουργία νέων λύσεων ενέργειας και κλίματος.

Ένας τεράστιος όγκος δεδομένων παράγεται από ένα ευρύ φάσμα πηγών που σχετίζονται με την ενέργεια. Τα μεγάλα δεδομένα ενέργειας δεν περιλαμβάνουν μόνο τα τεράστια δεδομένα ανάγνωσης έξυπνων μετρητών, αλλά και τον τεράστιο όγκο σχετικών δεδομένων από άλλες πηγές, όπως δεδομένα καιρού και κλίματος, δεδομένα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Πιστοποιητικά EP), έλεγχος αποθεμάτων κτιρίων, Βιώσιμη ενέργεια και Σχέδια Δράσης για το Κλίμα (SECAP - Sustainable Energy and Climate Action Plans), κοινωνικοοικονομικά δεδομένα, χαρακτηριστικά του τελικού χρήστη ενέργειας και επίπεδα άνεσης, κ.λπ. (C. Fan et. al., 2018) Οι οργανισμοί μπορούν να αντλήσουν αξία από αυτόν τον όγκο και την ποικιλία δεδομένων, επιτρέποντας μηχανισμούς λήψης υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με αποτελεσματικές αναλύσεις δεδομένων.

Συνήθως, τα δεδομένα δεν είναι μόνο παραδοσιακά δομημένα σχεσιακά δεδομένα, αλλά και ημι-δομημένα δεδομένα (π.χ. δεδομένα καιρού και υπηρεσιών Ιστού), καθώς και μη δομημένα δεδομένα (π.χ. δεδομένα συμπεριφοράς πελατών, πληροφορίες που περιέχονται σε έγγραφα σε μορφές όπως .pdf ή .html , και τα λοιπά.). Η έλλειψη ενός κοινά αποδεκτού πλαισίου σημασιολογίας καθιστά την ολοκλήρωση και την εκμετάλλευση δεδομένων ακόμη πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Η ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων σε πολλαπλές μορφές για τη δημιουργία μεγάλου όγκου δεδομένων που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο είναι μια πρώτη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Ωστόσο, η πρόκληση δεν περιορίζεται στην απόκτηση και αποθήκευση δεδομένων, αλλά αφορά επίσης την ανάλυση και την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων. Η ταχύτητα της ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων πρέπει να είναι βέλτιστη δεδομένου του τεράστιου όγκου δεδομένων. Υπάρχουν πολλά δεδομένα ροής και σχετικά μεγάλοι όγκοι δεδομένων που αλλάζουν σε μια δεδομένη στιγμή. Από αυτή την άποψη, οι διαδικασίες ανάλυσης δεδομένων που χρειάζονται ώρες για να εκτελεστούν δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές (A. Zeng et. al., 2019).

Ο συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικούς τομείς (ενέργεια, περιβάλλον, οικονομία και χρηματοδότηση, συμπεριφορά χρηστών και κοινωνικές τάσεις και πολλά άλλα) μπορεί να ανοίξει ένα ευρύ φάσμα καινοτόμων λύσεων ΤΠΕ. Πράγματι, η ενασχόληση με τα ενεργειακά μεγάλα δεδομένα απαιτεί νέες τεχνολογίες για την αποτελεσματική επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει η ανάγκη για μια διατομεακή και διεπιστημονική προσέγγιση ενοποίησης δεδομένων που θα ενθαρρύνει καινοτόμες ενεργειακές υπηρεσίες.

Ως εκ τούτου, οι ΤΠΕ είναι ο «κύριος ολοκληρωτής» των λύσεων υποδομής και διαχείρισης και οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν τις ΤΠΕ κερδίζουν γρήγορα έδαφος για τη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων, επιτρέποντας στα νοικοκυριά, τις γειτονιές και τις πόλεις να μοιράζονται την ικανότητα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, να παράγουν τοπική ενέργεια και να γίνουν αυτόνομα.

Μέσω της χρήσης συστημάτων διαχείρισης που βασίζονται σε ΤΠΕ, τα έξυπνα συστήματα του κτιρίου μπορούν να επικοινωνούν με τους παρόχους ενέργειας για τον έλεγχο των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού και ζεστού νερού, για να εξασφαλίσουν πιο σταθερό ενεργειακό εφοδιασμό, βελτιστοποιώντας τη διαχείριση των αιχμών ζήτησης και των πόρων σε τοπικό επίπεδο. Ειδικότερα, η εφαρμογή τεχνολογίας που σχετίζεται με τις ΤΠΕ στα κτίρια είναι στενά συνδεδεμένη με την εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνων μετρητών, παρέχοντας την ευκαιρία για ανατροφοδότηση (feedback) των καταναλωτών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας (V. Marinakis et. al., 2019).

Τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS - Energy Management Systems) αυξάνουν τη διάδοσή τους και αναμένεται να σημειώσουν την ταχύτερη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα με την ενσωμάτωση μεγάλων δεδομένων και ανάλυσης δεδομένων στις υπάρχουσες ενότητες EMS. Η υιοθέτηση Συστημάτων Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (BEMS - Building Energy Management Systems)⁶ αναμένεται να αυξάνεται γρήγορα λόγω της ποικίλης εφαρμογής του στους τομείς της Υγείας, των Τηλεπικοινωνιών και της Πληροφορικής, σε εκπαιδευτικά ιδρύματα, πανεπιστήμια και εμπορικά κτίρια όπως εμπορικά κέντρα, γραφεία κ.λπ.

Η συνδεσιμότητα και η ροή δεδομένων που σχετίζονται με το IoT θα υποστηρίξουν επίσης την ευρύτερη υιοθέτηση του BEMS (Á. Sicilia et. al., 2019). Οι πλούσιες πηγές δεδομένων επιτρέπουν καλύτερους τρόπους διαχείρισης και μέτρησης κτιρίων και χαρτοφυλακίων κτιρίων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το 90% όλων των δεδομένων που παράγονται από συσκευές όπως smartphones, συνδεδεμένους μετρητές και συσκευές δεν αναλύονται ή αναλύονται ποτέ,

⁶ Ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου (BEMS) είναι μια εξελιγμένη μέθοδος παρακολούθησης και ελέγχου των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Δίπλα στη διαχείριση ενέργειας, το σύστημα μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί μια μεγάλη ποικιλία από άλλες πτυχές του κτιρίου ανεξάρτητα από το αν είναι οικιστικό ή εμπορικό.

η ικανότητα ενσωμάτωσης έξυπνων συσκευών για ανάλυση δεδομένων θα είναι το κλειδί για την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος και την κάλυψη των αναγκών ενός συνεχώς αυξανόμενου κοινού των ενδιαφερομένων στη διαχείριση ενέργειας. Αυτό το υποκεφάλαιο προτείνει μια αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου μιας πλατφόρμας μεγάλων δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει τη δημιουργία, ανάπτυξη, συντήρηση και εκμετάλλευση έξυπνων ενεργειακών υπηρεσιών μέσω της χρήσης δεδομένων μεταξύ τομέων (X. Jin et. al., 2019).

Αυτό το σχέδιο για μια έξυπνη ενεργειακή πλατφόρμα επιτρέπει την ενοποίηση ετερογενών τύπων δεδομένων (ανοικτά δεδομένα, αισθητήρας/IoT, ιστορικά δεδομένα κ.λπ.) από πολλούς τομείς και πηγές, συμπεριλαμβανομένων μεταξύ άλλων δεδομένων που σχετίζονται με την κατανάλωση/παραγωγή ενέργειας, πιστοποιητικά EP, SECAP, το Παρατηρητήριο Κτιρίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EE), πληροφορίες τοποθεσίας, καιρικές συνθήκες, περιβάλλον, χρηματοδότηση/τιμές, συμπεριφορά τελικών χρηστών και δημογραφικά στοιχεία.

Η προτεινόμενη πλατφόρμα μπορεί να απλοποιήσει την πολυπλοκότητα των πληροφοριών που συλλέγονται από αυτές τις πηγές, μετατρέποντας σε δραστικές συστάσεις και ουσιαστικές επιχειρησιακές γνώσεις για τις αρχές της πόλης και τις τοπικές διοικήσεις, διαχειριστές ενέργειας και συμβούλους, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και ενέργειας, εταιρείες παροχής υπηρεσιών ενέργειας (ESCO - Energy Service Companies) και άλλες εταιρείες ενέργειας, κατασκευαστικές εταιρείες, κατασκευαστές δομικών στοιχείων, επενδυτές και χρηματοδότες και άλλους οργανισμούς και τρίτα μέρη (C. Talon et. al., 2018).

3.4.2 Πρόοδος πέρα από την τελευταία τεχνολογία

Τα τελευταία δύο χρόνια, αρκετοί χώροι αποθήκευσης ενεργειακών δεδομένων και πλατφόρμες ανάλυσης ενεργειακών δεδομένων, με διάφορα επίπεδα ανοίγματος, ενημερώσεις δεδομένων, συντήρηση, αυτοματισμό και επεκτασιμότητα έχουν έρθει στο προσκήνιο. Το Energydata.info είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα δεδομένων που παρέχει πρόσβαση σε σύνολα δεδομένων και αναλύσεις δεδομένων που σχετίζονται με τον ενεργειακό τομέα. Το Energy DataBus, που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας σε δομές όπως έξυπνα κτίρια και πανεπιστημιούπολεις (I. Petidis et. al., 2018), και επιτυγχάνεται κλίμακα με την κατασκευή πάνω από το μεγάλο backend αποθήκευσης δεδομένων Cassandra.

Η KNIME είναι μια ελβετική start-up που παρέχει μια πλατφόρμα ανάλυσης μεγάλων δεδομένων ανοιχτού κώδικα με εκτενή υποστήριξη για ενεργειακά δεδομένα ως κύρια περίπτωση χρήσης. Τέλος, το Energywise είναι ένα εργαλείο ενεργειακής ανάλυσης που αναπτύχθηκε από την Agentis Energy για να κάνει τα εμπορικά κτίρια πιο ενεργειακά αποδοτικά, προσδιορίζοντας την κατανάλωση ενέργειας και δίνοντας στους διαχειριστές κτιρίων πληροφορίες για το πώς να κάνουν τα κτίριά τους πιο ενεργειακά αποδοτικά (K. Zhou, 2018).

Οι προαναφερθείσες πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα είναι είτε πειραματικές, είτε ξεπερασμένες είτε δεν υποστηρίζονται ενεργά, ενώ το ιδιόκτητο λογισμικό διαχείρισης δεδομένων ενέργειας/κλίματος και ανάλυσης είναι μάλλον ακριβό για πολλούς ενδιαφερόμενους, όπως μικρότερες εταιρείες κοινής ωφέλειας και καταναλωτές ενέργειας.

Ο όγκος και η διακύμανση των δεδομένων ενέργειας/κλίματος, ειδικά των μετρήσεων αισθητήρων, σημαίνει ότι ενώ πολλές λύσεις μπορεί να λειτουργούν «αρκετά καλά» σε μεμονωμένες περιπτώσεις ή για περιορισμένο χρονικό διάστημα, η χρήση τεχνολογιών μεγάλων δεδομένων είναι ο μόνος βιώσιμος τρόπος διατήρησης και λειτουργίας σε πιο συγκεντρωτικό επίπεδο, το οποίο απαιτείται για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων και πολιτικής. Η αποθήκευση και η διαχείριση δεδομένων για μεγάλα δεδομένα είναι ένας ακμάζων τομέας που έχει δει μεγάλες προόδους τα τελευταία χρόνια. Το Hadoop⁷ έχει γίνει συνώνυμο των μεγάλων δεδομένων, καθώς μπόρεσε να διεισδύσει σε μεγάλες επιχειρήσεις, αλλά η πραγματική εκμετάλλευση της ισχύος του απαιτεί δέσμευση από την οπτική γωνία του προγραμματιστή (A. Sadeghi et. al., 2020).

Το Cloudera είναι μια υπηρεσία που βασίζεται σε Υπολογιστικό Νέφος που βοηθά τις επιχειρήσεις να ενσωματώσουν και να διαχειριστούν το Hadoop με ενσωματωμένη ασφάλεια δεδομένων σε κάποιο βαθμό, ενώ το MongoDB είναι μια σύγχρονη εναλλακτική λύση στις σχεσιακές βάσεις δεδομένων που μπορεί, σε ορισμένα σενάρια, να μειώσει τα λειτουργικά έξοδα έως και 95%. Ο καθαρισμός δεδομένων μπορεί επίσης να είναι ένα σημαντικό μέρος της ροής εργασιών της επιχείρησης, ειδικά σε έναν τομέα όπως οι θαλάσσιες δραστηριότητες όπου τα δεδομένα αισθητήρων μπορούν περιστασιακά να παρέχουν ψευδείς ή ελαττωματικές πληροφορίες (J. Ferreira et. al., 2019).

Το OpenRefine είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα, που αναπτύχθηκε από την Google, για την εξερεύνηση και τον καθαρισμό τεράστιων, ακόμη και μερικώς μη δομημένων, συνόλων

⁷ Συλλογή από βοηθητικά προγράμματα λογισμικού ανοιχτού κώδικα που διευκολύνει τη χρήση ενός δικτύου πολλών υπολογιστών για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν τεράστιο όγκο δεδομένων και υπολογισμούς. Παρέχει ένα πλαίσιο λογισμικού για κατανεμημένη αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων δεδομένων χρησιμοποιώντας το μοντέλο προγραμματισμού MapReduce.

δεδομένων. Το DataCleaner μετατρέπει ημιδομημένα σύνολα δεδομένων σε αναγνώσιμα δεδομένα για τη βελτίωση της οπτικοποίησης δεδομένων, με υποστήριξη για υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων και διαχείρισης δεδομένων.

Τα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων αποτελούσαν ανέκαθεν πολύτιμα περιουσιακά στοιχεία για τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς, ενώ η ανάλυση μεγάλων δεδομένων παρουσιάζει επίσης αυξανόμενο ενδιαφέρον και μερίδια αγοράς επιχειρήσεων. Το BigML είναι μια υπηρεσία μηχανικής μάθησης με εύχρηστη διεπαφή για τη λήψη προβλέψεων, προσφέροντας επίσης μοντέλα για προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία, ενώ το ιδιωτικό εικονικό νέφος προσφέρεται για επιχειρήσεις (Y. Wei et. al., 2018).

Επί του παρόντος, τα δεδομένα που σχετίζονται με την ενέργεια/το κλίμα μαστιίζονται από την ύπαρξη διαφόρων ανταγωνιστικών, ασυμβίβαστων μορφών με ασαφή σημασιολογία, ειδικά όταν λαμβάνονται υπόψη μεγάλα σύνολα δεδομένων και δεδομένα ροής. Η προτεινόμενη πλατφόρμα μεγάλων δεδομένων θα εμπλουτίσει τα δεδομένα με σημασιολογικές πληροφορίες, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πηγών δεδομένων και διαχείρισης των συγκεντρωτικών δεδομένων. Τα υπάρχοντα εργαλεία καθαρισμού δεδομένων μπορούν να χειριστούν μεγάλα δεδομένα, αλλά δεν είναι εξειδικευμένα στον τομέα της ενέργειας/κλίματος. Επιπλέον, τα εργαλεία και οι αλγόριθμοι ανάλυσης μεγάλων δεδομένων γίνονται εξαιρετικά ισχυρά και αποτελεσματικά. Ωστόσο, ένα μεγάλο εμπόδιο στην είσοδο για μη τεχνικούς και ακόμη και τεχνικούς χρήστες, καθώς και ελάχιστη έως καθόλου εξειδίκευση για διαφορετικούς τομείς, περιορίζει τον πραγματικό αντίκτυπό τους.

Κεφάλαιο 4 – Υπολογιστικό Νέφος για διαχείριση ενέργειας σε κατοικίες

4.1 Ιδιότητες υπολογιστικού νέφους στη διαχείριση ενέργειας

Το υπολογιστικό νέφος και η διαχείριση της ενέργειας στα κτίρια συνδυάζονται, καθώς το νέφος αποτελεί σημαντική πηγή για την αποθήκευση και τη διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με το κτίριο, ιδίως όταν οι περισσότερες παράμετροι είναι σε πραγματικό χρόνο. Το υπολογιστικό νέφος είναι η διαθεσιμότητα υπολογιστικών πόρων όποτε χρειάζεται από τους χρήστες. Οι πόροι αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν αποθήκευση δεδομένων και υπολογιστική ισχύ- ωστόσο, όλοι αυτοί οι πόροι δεν διαχειρίζονται απευθείας από τον χρήστη, αλλά παρέχονται από τρίτο μέρος ως υπηρεσία.

Το υπολογιστικό νέφος είναι ένα απαραίτητο πλεονέκτημα όταν πρόκειται για μη εγγενή υποστήριξη υπολογιστών, εξαιτίας της οποίας έχει κερδίσει τεράστια προσοχή τα τελευταία χρόνια με την ενσωμάτωσή του σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ) για κτίρια και κατοικίες με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Σχετικά με τα παραπάνω, οι συγγραφείς του (A. Ramirez et. al., 2020) υλοποιούν ένα σύστημα IoT για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών ενός νοικοκυριού.

Το σύστημα αυτό υλοποιείται εντός των ορίων ενός τοπικού δικτύου, όπου ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης πόρων εντός του σπιτιού χρησιμοποιείται ως υπηρεσία νέφους. Η εργασία διατυπώνει ένα επιχείρημα σχετικά με τη σπατάλη ενέργειας σε ένα νοικοκυριό όταν οι συσκευές αφήνονται ανεξέλεγκτες και με βάση αυτό το επιχείρημα προτείνεται ένα σύστημα IoT που ελέγχει και παρακολουθεί όλες τις συσκευές σε ένα σπίτι. Οι συσκευές απενεργοποιούνται όταν δεν υπάρχει ανθρώπινη δραστηριότητα μέσα στο σπίτι, εξ ου και η "εξοικονόμηση ενέργειας". Επιπλέον, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τον δείκτη ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSSI- Received Signal Strength Indicator)⁸ για τον εντοπισμό ατόμων εντός του σπιτιού χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου υλικού.

Σε αντίθεση με το (G. Zhang et. al., 2019), η εργασία που παρουσιάζεται στο (M. El-Abed and et. al., 2015) συζητά τους περιορισμούς του τοπικά φιλοξενούμενου νέφους για τη διαχείριση της ενέργειας όσον αφορά τους περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους, ευνοώντας έτσι τις πλατφόρμες νέφους εκτός τοποθεσίας που παρέχουν μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Η κύρια συνεισφορά του παρόντος Κεφαλαίου είναι ένας σχεδιασμός πύλης που χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση όλων των αισθητήρων εντός του τοπικού δικτύου ενός έξυπνου κτιρίου στην υπηρεσία νέφους με την υποστήριξη ενός επιπέδου μετάφρασης διευθύνσεων δικτύου (NAT). Αν και

⁸ μετρά την ποσότητα ισχύος που υπάρχει σε ένα ραδιοσήμα. Είναι μια κατά προσέγγιση τιμή για την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται σε μια κεραία. Η μέτρηση της ισχύος του σήματος στην κεραία λήψης είναι ένας τρόπος προσδιορισμού της ποιότητας μιας σύνδεσης επικοινωνίας.

οι συγγραφείς των (G. Zhang et. al., 2019) και (M. El-Abed and et. al., 2015) παρέχουν καλούς λόγους για τη χρήση τοπικά φιλοξενούμενων/εκτός τόπου διακομιστών νέφους, εξακολουθούμε να πιστεύουμε ότι η χρήση τοπικά φιλοξενούμενων υπηρεσιών νέφους για μικρά νοικοκυριά δεν είναι καλή ιδέα λόγω του κόστους και των προβλημάτων συντήρησης.

Επιπλέον, καμία από τις εργασίες δεν παρουσιάζει αποτελέσματα που να απεικονίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας των νοικοκυριών. Οι συγγραφείς του (Y. Zhang et. al., 2020) υλοποιούν το διάσημο σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC-Heating Ventilation and Air Conditioning)⁹ μέσα σε ένα σπίτι, όπου μια εφαρμογή Android χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές για την προβολή της κατανάλωσης ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντάς τους να ελέγχουν τις συσκευές ανάλογα. Η εφαρμογή Android αντλεί τα δεδομένα της από την πλατφόρμα νέφους "Amazon Cloud Services" όπου μεταφορτώνονται όλες οι αισθητηριακές πληροφορίες από το οικιακό δίκτυο. Ομοίως, στο (S. Lee et. al., 2020), οι συγγραφείς ακολουθούν μια προσέγγιση του πραγματικού κόσμου για το σχεδιασμό ενός συστήματος IoT που ελέγχει το HVAC μέσα σε ένα κτίριο. Αυτός ο τύπος ελέγχου υλοποιείται με τη δυναμική αλλαγή της αρχιτεκτονικής του δικτύου και την υποδοχή νέων

4.2 Υπολογιστική Νέφους και αρχιτεκτονικές βασισμένες σε μετρήσεις

Πριν αναφερθούν οι διάφορες λύσεις αυτής της υποενότητας, θα εξηγηθούν εν συντομία οι έννοιες του υπολογισμού νέφους και της έξυπνης μέτρησης. Βασικά, ο υπολογισμός νέφους είναι ένα προστιθέμενο επίπεδο στα σύγχρονα δίκτυα αποθήκευσης που έχουν στενή σύζευξη με το υπολογιστικό νέφος και το IoT. Ο υπολογισμός ομίχλης είναι μια πολυεπίπεδη επέκταση στο περιβάλλον υπολογιστικού νέφους που συνδυάζει τα παραδοσιακά χαρακτηριστικά συντονισμού και απόδοσης του cloud με πρόσθετη ασφάλεια, αξιοπιστία και επεκτασιμότητα στην επικοινωνία και την αποθήκευση δεδομένων.

Ο υπολογισμός ομίχλης λύνει το πρόβλημα για το ποια δεδομένα πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία στο τοπικό άκρο και ποια δεδομένα πρέπει να σταλούν στο cloud για αποθήκευση. Όλα αυτά τα εξέχοντα χαρακτηριστικά (όπως η βολική αποθήκευση, η γρήγορη ανάκτηση πληροφοριών, η ασφάλεια πληροφοριών κ.λπ.) καθιστούν τον υπολογισμό νέφους κατάλληλο υποψήφιο για συστήματα διαχείρισης κτιρίων. Η έξυπνη μέτρηση, από την άλλη πλευρά, παρέχει ακριβείς και σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις ενέργειας ή αερίου σε όλα τα συνδεδεμένα μέρη, όπως καταναλωτές, προμηθευτές, ρυθμιστικές αρχές και άλλες ενδιαφερόμενες αρχές.

⁹ είναι η χρήση διαφόρων τεχνολογιών για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της καθαρότητας του αέρα σε έναν κλειστό χώρο. Στόχος του είναι να παρέχει θερμική άνεση και αποδεκτή ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου.

Οι έξυπνοι μετρητές είναι εξαιρετικά ωφέλιμοι για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια, καθώς οι καταναλωτές μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς τις ενεργειακές τους καταναλώσεις, επιτρέποντάς τους να προσαρμόσουν ανάλογα τη χρήση ενέργειας στα σπίτια. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά τους μηνιαίους/ετήσιους λογαριασμούς τους. Ο έξυπνος μετρητής έχει κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά/πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα του υπολογισμού νέφους μπορούν να συνδυαστούν με δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές για να παρέχουν στους καταναλωτές και τους προμηθευτές καλύτερη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια.

Όσον αφορά τα παραπάνω, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων του υπολογισμού νέφους και της έξυπνης μέτρησης (ξεχωριστά) για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Συγκεκριμένοι συγγραφείς άρθρων παρουσίασαν μια ολοκληρωμένη έρευνα που περιγράφει λεπτομερώς όλα τα έγγραφα που σχετίζονται με τον υπολογισμό ομίχλης σε έξυπνα σπίτια/κτίρια από το έτος 2014 έως τον Μάιο του 2019. Βασικά, χωρίζουν την υπάρχουσα βιβλιογραφία στις κατηγορίες της διαχείρισης πόρων και της διαχείρισης υπηρεσιών λύσεων, αντίστοιχα. Αρχικά εξετάζονται οι προσεγγίσεις που καλύπτουν σημεία όπως ο προγραμματισμός εργασιών, η παροχή πόρων που βασίζονται σε ενέργεια και cloud/νέφος και εξισορρόπηση ισχύος/ενέργειας. Τέλος εξετάζεται η ασφάλεια, η διαχείριση ενέργειας και το απόρρητο των πληροφοριών (F. Flouquet, 2017).

4.2.1 Τεχνικές βασισμένες σε υπολογισμό νέφους για διαχείριση ενέργειας σε κτίρια

Θεωρείται ότι η σωστή πρόβλεψη φορτίου είναι πολύ σημαντική για τη διαχείριση της ενέργειας ενός κτιρίου και επομένως θα ήταν ορθή μια στρατηγική φιλτραρίσματος φορτίου βασισμένη στη ασαφή λογική.

Βασικά, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός cloud και νέφους έτσι ώστε το στρώμα νέφους να συλλέγει και να υπολογίζει δεδομένα από έξυπνους μετρητές και να στέλνει αυτά τα δεδομένα στο σύννεφο για προεπεξεργασία και πρόβλεψη φορτίου. Τα δεδομένα cloud μπορούν στη συνέχεια να αποσταλούν σε διάφορους υπολογιστές που εκτελούν αλγόριθμους βασισμένους στη ασαφή λογική (όπως η βαθμολογία Fisher, το συνολικό βάρος χαρακτηριστικών κ.λπ.) για να εξαιρεθούν άσχετα χαρακτηριστικά (π.χ. ώρα, εποχή, καιρός κ.λπ.) από τα δεδομένα.

Στην ενότητα των αποτελεσμάτων, η εστίαση παραμένει στην επικύρωση στρατηγικών εξαγωγής χαρακτηριστικών χωρίς την απεικόνιση οποιωνδήποτε αποτελεσμάτων ή βελτιστοποιήσεων που προκαλούνται από τη συμπερίληψη αρχιτεκτονικής βασισμένης στο cloud-fog. Υπάρχει ένα άλλο μοντέλο ασαφούς νέφους όπου το στρώμα νέφους λειτουργεί ως ενδιάμεσο λογισμικό μεταξύ των στρωμάτων νέφους και ακμών. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούν το στρώμα ακμών υποβάλλονται σε επεξεργασία στο στρώμα ομίχλης χρησιμοποιώντας ασαφή λογική η οποία παρουσιάζεται ως αντιδραστική νοημοσύνη.

Εδώ, η ασαφής λογική εφαρμόζεται σε διαφορετικές μετρήσεις θερμοκρασίας και επίπεδα φωτός, για παράδειγμα, η θερμοκρασία μπορεί να είναι είτε ζεστή είτε κρύα σε κανονικές συνθήκες, αλλά η ασαφής λογική μπορεί να παρέχει διαφορετικές παρατηρήσεις σχετικά με τη θερμοκρασία κατηγοριοποιώντας την σε ελαφρώς ζεστή, αρκετά καυτή, πολύ ζεστή, και παρόμοιες άλλες αναγνώσεις της. Στη συνέχεια εξετάζεται ένα προσομοιωμένο έξυπνο σπίτι και ένα πραγματικό έξυπνο σπίτι για να αποδείξουν την ενεργειακή απόδοση της αρχιτεκτονικής τους με ασαφή νέφος, ωστόσο η ιδέα πρέπει ακόμα να δοκιμαστεί σε περισσότερα από ένα σπίτια ή ολόκληρο το κτίριο που μπορεί να αλλάξει σημαντικά τις τιμές ενεργειακής απόδοσης που επιτυγχάνονται με την προτεινόμενη προσέγγιση.

Για να εξισορροπηθεί η προσφορά και η ζήτηση ενέργειας, τα σπίτια που έχουν πλεονάζουσα ισχύ σχηματίζουν συνασπισμούς με εκείνα που παρουσιάζουν ελλείμματα, κάτι που φαίνεται από εκτενή πειραματικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα καταλήγουν επίσης στο συμπέρασμα ότι ο χρόνος επεξεργασίας και οι πόροι μνήμης αυξάνονται με αυξανόμενο αριθμό σπιτιών, επομένως, η ενσωμάτωση του στρώματος νέφους είναι απαραίτητη. Ωστόσο, τα οφέλη της συμπερίληψης του νέφους στο προτεινόμενο μοντέλο δεν φαίνονται στα αποτελέσματα. Ομοίως θα αναφερθεί ένα άλλο θεωρητικό μοντέλο παιχνιδιών στο οποίο χρησιμοποιείται μια προσέγγιση παιχνιδιού πολλαπλών ηγετών-ακολουθών για τη μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ παρόχων ενέργειας και καταναλωτών ως παίκτες παιχνιδιών, ωστόσο, ο υπολογισμός νέφους δεν είναι. Άδεια χρήσης Commons Attribution 4.0.

Η ιδέα είναι να αναπτυχθεί ένα συνεργατικό παιχνίδι όπου κάθε παίκτης παιχνιδιού (ένα έξυπνο σπίτι εδώ) μοιράζεται το πρόγραμμα χρήσης ενέργειας του με άλλους παίκτες με στόχο τη μείωση του ενεργειακού κόστους όλων των παικτών. Το στρώμα νέφους εισάγεται για προγραμματισμό ενέργειας ο οποίος επιφέρει λιγότερη καθυστέρηση σε σύγκριση με το στρώμα υπολογιστικού νέφους όπως φαίνεται στην ενότητα αποτελεσμάτων (F. Flouquet, 2017).

Παράλληλα παρουσιάζεται μια ενδιαφέρουσα νέα ιδέα όπου δύο πρόσθετα επίπεδα, όπως τα επίπεδα υπολογισμού ομίχλης και υπολογιστικού νέφους, περιλαμβάνονται στο παραδοσιακό μοντέλο TCP/IP. Αυτά τα επίπεδα προσθέτουν ευελιξία σε ένα έξυπνο οικιακό περιβάλλον παρέχοντας χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο και επεξεργασία δεδομένων καταναλωτή σε πραγματικό χρόνο. Το στρώμα υπολογισμού ομίχλης είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για συγκέντρωση δεδομένων στην άκρη. Ομοίως, το επίπεδο υπολογιστικού νέφους χειρίζεται την τεράστια ποσότητα BD που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί στην άκρη.

Η πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική δοκιμάζεται σε διάσημες πλατφόρμες (SSH -Secure Shell)¹⁰(πιο έξυπνο ασφαλέστερο σπίτι) και AAU (πανεπιστήμιο Alborg) που τους επιτρέπουν να

¹⁰ Όταν γίνεται αλληλεπίδραση με ένα αναπτυγμένο περιβάλλον, πρέπει να προστατεύετε τη σύνδεση από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.

αναπαριστούν γραφικά τη συμπεριφορά των καταναλωτών, την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών στο σπίτι, τις τιμές θερμοκρασίας και άλλους σχετικούς παράγοντες με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω διαφόρων αισθητήρων θερμοκρασίας, ισχύος και κίνησης, αντίστοιχα. Θεωρείται ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για να παρέχει απεριόριστη αποθήκευση και επεκτάσιμη επεξεργασία έξυπνων κατοικιών BD σε σύγκριση με τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές έξυπνων σπιτιών που είναι περιορισμένες σε δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας.

Ομοίως υπάρχει ένας άλλος συνδυασμός cloud-νέφους όπου το στρώμα ομίχλης σε συνδυασμό με ένα στρώμα ακμών συλλέγει και επεξεργάζεται τις αρχικές μετρήσεις (όπως η θερμοκρασία δωματίου, οι λαμπτήρες απόχρωσης με διαφορετικά χρώματα και οι μετρήσεις αερίου) που παράγονται από διάφορες αισθητήρες σε ένα κτίριο. Αυτές οι μετρήσεις στη συνέχεια μεταφέρονται στο στρώμα του νέφους για περαιτέρω ανάλυση.

Η βιωσιμότητα του σχεδιασμού αποδεικνύεται μέσα από ένα περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο με διάφορους αναπτυγμένους αισθητήρες και την εφαρμογή στρωμάτων ακμών και νέφους στο Raspberry Pi. Προτείνονται δύο αλγόριθμοι για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες στα στρώματα ακμών/νέφους και αργότερα για τη διανομή αυτών των δεδομένων στο cloud για περαιτέρω ανάλυση. Στην ενότητα των αποτελεσμάτων, είναι προφανές ότι η καθυστέρηση παραμένει χαμηλότερη όταν χρησιμοποιείται ο συνδυασμός cloud-fog σε σύγκριση με το παραδοσιακό μοντέλο cloud.

Διαφορετικά από την προσέγγιση που βασίζεται στο cloud νέφος που παρουσιάστηκε, μια στρατηγική fog-to-fog περιγράφεται στη συνέχεια. Το όνομα fog-to-fog προέρχεται από το γεγονός ότι υπάρχουν πολλαπλά οριζόντια στρώματα της ομίχλης που χειρίζονται το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας και αποθήκευσης των αισθητηριακών δεδομένων. Η πρόσβαση στο cloud γίνεται μόνο για την αναφορά μιας ανωμαλίας στο κτίριο το οποίο και μειώνει την επιβάρυνση (ή την καθυστέρηση) στα clouds. Αυτή η πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική δοκιμάζεται σε πραγματικό περιβάλλον, αναπτύσσοντας σχεδόν 50 αισθητήρες θερμοκρασίας σε ένα πάτωμα γραφείου (R. Bukhsh, 2019).

Μέσω γραφικής αναπαράστασης, εμφανίζεται ένας χάρτης θερμότητας με διάφορες μετρήσεις αισθητήρων όπου οι κανονικές και οι μη κανονικές τιμές θερμοκρασίας αναγνωρίζονται με διαφορετικά χρώματα. Μια μη φυσιολογική κατάσταση θεωρείται όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή κατωφλίου (π.χ. τη μέση τιμή όλων των αισθητήρων). Λόγω των πολλαπλών στρωμάτων νέφους και της σωστής τοποθέτησης του αισθητήρα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση πρόβλεψης από την παραδοσιακή ευρετική προσέγγιση.

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις βέβαια, γίνεται εστίασή αποκλειστικά σε ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων (BEM-Building Energy Management)¹¹ που βασίζεται στο νέφος χωρίς να υπεισέλθουν στις λεπτομέρειες του υπολογιστικού νέφους. Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθεί η ανάλυση χρονοσειρών για να προβλέψει την ωριαία κατανάλωση ενέργειας ενός καταναλωτή, ενημερώνοντάς τον για τη χρήση ενέργειας και τα αναμενόμενα εύρη τιμών. Η ανάλυση χρονοσειρών επιτρέπει αυτήν την πρόβλεψη ενέργειας με βάση τον υπολογισμό της διακύμανσης, των συναρτήσεων συσχέτισης και των προσθετικών μορφών.

Το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί ένα σύνολο συσκευών που καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια με βάση τη διακριτική ανάλυση. Ακολούθως υπάρχει η έννοια του δρομολογητή νέφους στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση διάκρισης και τα αποτελέσματα μπορούν να αποθηκευτούν, ωστόσο, αυτός ο ισχυρισμός φαίνεται μόνο υποθετικός και δεν εμφανίζονται αποτελέσματα που να τονίζουν τα μειονεκτήματα που μπορεί να επιφέρει αυτός ο δρομολογητής ομίχλης στο προτεινόμενο μοντέλο. Προτείνεται επίσης ένα άλλο υποθετικό μοντέλο, όπου ο υπολογισμός νέφους χρησιμοποιείται για την ενεργειακή βελτιστοποίηση μιας πανεπιστημιούπολης. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, το στρώμα νέφους μπορεί να λάβει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες φωτός, κλιματισμού και νερού για να προτείνει τα βελτιστοποιημένα αποτελέσματα.

Παραπάνω, παρουσιάστηκαν πολλές λύσεις που συνδυάζουν τα οφέλη του υπολογισμού νέφους με τη ασαφή λογική, τον υπολογισμό ακμών, τη θεωρία παιγνίων και τα συστήματα πολλαπλών παραγόντων για την έξυπνη κατανομή της ενέργειας σε κτίρια και σπίτια. Αυτά τα οφέλη μπορεί να είναι πιο καρποφόρα εάν η γρήγορη και αποτελεσματική υπολογιστική ισχύς του νέφους συνδυαστεί με τα δεδομένα που παράγονται από διάφορους έξυπνους μετρητές. Αρκετές προσπάθειες συζητούν τους έξυπνους μετρητές σε συνδυασμό με τον υπολογισμό νέφους, ωστόσο, η έμφαση αυτών των εγγράφων δεν είναι πραγματικά στον σχεδιασμό μιας συνδυασμένης αρχιτεκτονικής ομίχλης-SM. Αυτές οι προσεγγίσεις επικεντρώνονται μάλλον σε ζητήματα απορρήτου και ασφάλειας σε έξυπνα περιβάλλοντα. Έτσι, απαιτούνται περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες στο μέλλον για να σχεδιαστεί μια συνδυασμένη λύση fog-SM (F. Flouquet, 2017).

4.2.2 Έξυπνες μετρήσεις και διαχείριση ενέργειας σε κτήρια/κατοικία.

Διάφορες προσεγγίσεις είναι διαθέσιμες με διάφορα σχέδια SM και τεχνικές εκτίμησης κατανάλωσης. Αρχικά προτείνονται ξεχωριστά σχέδια μετρητών για καταναλωτές και διανομείς ισχύος που είναι συνδεδεμένοι σε ένα σύστημα παρακολούθησης (SCADA- Supervisory

¹¹ Μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να μειώσουν σημαντικά την ενεργειακή τους κατανάλωση. Το BEMS συνδέει τα συστήματα ενός κτιρίου (για παράδειγμα φωτισμό, HVAC και εξοπλισμό χώρων εγκαταστάσεων) για να δημιουργήσει μια ενιαία, κεντρική πλατφόρμα για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου.

Control and Data Acquisition)¹² χρησιμοποιώντας τη σχεδίαση υλικού PLC (προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής). Οι έξυπνοι μετρητές (SM) περιέχουν μια μονάδα αισθητήρα για τη λήψη των μετρήσεων ενέργειας με μια κινητή οθόνη.

Ο σχεδιασμός αυτός έχει δοκιμαστεί σε πραγματικό περιβάλλον, λαμβάνοντας μετρήσεις θερμοκρασίας από μια αίθουσα συνεδριάσεων που βρίσκεται σε ένα κτίριο, ωστόσο, το επίκεντρο της εργασίας παραμένει στην επισήμανση των πτυχών υλικού του SM χωρίς να υπάρχει μια περιεκτική συζήτηση για τα ληφθέντα αποτελέσματα. Ένα SM φαίνεται να επικοινωνεί τις τιμές της ενεργειακής τιμής με το HEMS (σύστημα διαχείρισης ενέργειας στο σπίτι) χρησιμοποιώντας ένα LAN, ωστόσο, η εστίαση της εργασίας παραμένει εξ ολοκλήρου στην ενεργειακή βελτιστοποίηση χωρίς να τονίζει ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές ή σχεδιαστικές πτυχές του έξυπνου μέτρητη.

Επιπλέον παρουσιάζεται μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδέα της αλλαγής της αντίληψης των καταναλωτών και της κατανόησης των ενεργειακών αξιών όπου αναλύονται οι συμπεριφορές των καταναλωτών με βάση διαφορετικές ανατροφοδοτήσεις που εμφανίζονται στα SM τους. Αυτές οι ανατροφοδοτήσεις κυμαίνονται από κανονικές καταναλώσεις ενέργειας (σε kWh) στην τιμή μονάδας έως εκτενείς μετρήσεις με άμεσα μηνύματα, όπως εάν μειωθεί η θερμοκρασία του θερμοστάτη στο σπίτι κατά ένα βαθμό, θα εξοικονομούσαν 11 kWh το οποίο ισοδυναμεί με 1,43 £.

Μέσω ολοκληρωμένων αναλύσεων και σχολίων από τους χρήστες, φαίνεται ότι οι μετρήσεις SM με απλοποιημένη ανάδραση έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη χρήση ενέργειας. Ομοίως, σκιαγραφείται μια παρόμοια προσέγγιση που μοιάζει με έρευνα με βάση τους καταναλωτές όπου αναλύονται τα δεδομένα SM αρκετών κατοικιών για να φανεί ο αντίκτυπος της θερμοκρασίας του αέρα στη χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές. Τέλος υπάρχουν μερικά ενδιαφέροντα σύνολα αποτελεσμάτων που δείχνουν τις καταναλώσεις ενέργειας των καταναλωτών με βάση τη δομή του σπιτιού, την ποιότητα του εξοπλισμού θέρμανσης/ψύξης, τις συνήθειες των καταναλωτών στο σπίτι, το μηνιαίο εισόδημα και ούτω καθεξής.

Τα δεδομένα SM που συλλέχθηκαν από περισσότερα από 500 σπίτια αναλύθηκαν και ταξινομήθηκαν σε διαφορετικές κατηγορίες (όπως η μέση πρωινή κατανάλωση, η αιχμή κατανάλωσης κ.λπ.) χρησιμοποιώντας τον τυχαίο ταξινομητή δασών. Αυτά τα δεδομένα που εξάγονται συσχετίζονται με τα καιρικά δεδομένα (π.χ. ταχύτητα ανέμου και βροχόπτωση) για να φανεί τον αντίκτυπο ορισμένων καιρικών συνθηκών στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μέσου χρήστη.

¹² Το SCADA είναι ένα σύστημα που βασίζεται σε υπολογιστή για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο εξοπλισμού που ασχολείται με κρίσιμα και ευαίσθητα στον χρόνο υλικά ή γεγονότα.

Μέσω εκτεταμένων αποτελεσμάτων προσομοίωσης, αποδεικνύεται ότι η έγκαιρη εξαγωγή των δεδομένων SM οδηγεί σε καλύτερες προβλέψεις ενέργειας και, ως εκ τούτου, αυξάνει την οικονομική βιωσιμότητα των οικιακών καταναλωτών. Η τεχνική τυχαίας ταξινόμησης δασών χρησιμοποιείται και πάλι, ωστόσο, η εστίαση παραμένει κυρίως στην ανάπτυξη μιας εύελικτης αρχιτεκτονικής SM για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας ενός μικρού κτιρίου. Αυτή η εργασία βασικά εστιάζει στη σχεδίαση ενός SM, επομένως, το μοντέλο επιπέδου OSI (διασύνδεση ανοιχτού συστήματος) έχει προσαρμοστεί για να δείχνει τη σύνδεση μεταξύ των καταναλωτών, των παρόχων και της υπηρεσίας cloud που χρησιμοποιούν Zigbee. Οι μετρήσεις από το σχεδιασμένο SM χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να απεικονίσουν τα πρότυπα χρήσης ενέργειας των καταναλωτών, π.χ. την υψηλή κατανάλωση ενέργειας κατά τις ώρες γραφείου (S. Paul, 2021).

Κάπως παρόμοιο με το παραπάνω, η εργασία που προτάθηκε από ερευνητές από το Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ συσχετίζει τα δεδομένα από τα SM με τις καιρικές συνθήκες χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση ποσοτικής παλινδρόμησης. Αυτός ο τύπος μοντελοποίησης επιλέγεται για την καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου και των επεξηγηματικών μεταβλητών του (όπως το μέσο εισόδημα του νοικοκυριού). Μέσω της ανάλυσης δεδομένων SM σχεδόν ενός έτους, εξάγονται οι δώδεκα πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεταβλητές (π.χ. τυπική θερμοκρασία, μέσο οικιακό εισόδημα και αρκετές άλλες) και να μετρήσουν το ποσοστό επίπτωσης που έχουν αυτές οι μεταβλητές στη χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές.

Ομοίως μπορεί να χρησιμοποιεί μια άκρως συγκριτική ανάλυση χρονοσειρών (HCTSA- Highly Comparative Time Series Analysis)¹³ για να διαφοροποιήσει τις καταναλώσεις ενέργειας και τους άλλους παράγοντες όπως οι διακοπές ρεύματος και οι αστοχίες μεταξύ οικιστικών και ιδρυματικών κτιρίων (π.χ. εργαστηρίου). Το HCTSA μπορεί να αποδειχθεί μια αποτελεσματική τεχνική για την κατηγοριοποίηση δεδομένων SM, χρησιμοποιώντας διάφορα διαγράμματα μοντέλων και χάρτες θέρμανσης/ψύξης. Ωστόσο, αυτή η εργασία εστιάζει μόνο στην παρακολούθηση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας των χρηστών, η οποία μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω (στο μέλλον) εξάγοντας ορισμένα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά από τα δεδομένα SM, όπως οι καιρικές συνθήκες που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

Ελαφρώς διαφορετικό από τα παραπάνω, θα παρουσιαστεί ένα μοντέλο ανίχνευσης ενεργειακής ανωμαλίας συλλέγοντας τα δεδομένα από πενήντα διαφορετικά SM. Μια ανωμαλία εδώ ορίζεται ως μια απροσδόκητη κατάσταση που είναι απίθανο να συμβεί στην πλειονότητα των μετρητών, αλλά αντανακλάται σε ορισμένους ελαττωματικούς μετρητές (π.χ. αύξηση στην

¹³ Πακέτο λογισμικού Matlab για εκτέλεση άκρως συγκριτικής ανάλυσης χρονοσειρών. Εξάγει χιλιάδες χαρακτηριστικά χρονοσειρών από μια συλλογή μεταβλητών χρονοσειρών και περιλαμβάνει μια σειρά εργαλείων για την απεικόνιση και την ανάλυση του προκύπτοντος πίνακα χαρακτηριστικών χρονοσειρών.

κατανάλωση ενέργειας ορισμένων SM όταν όλοι οι άλλοι εμφανίζουν μοτίβο μείωσης) και επομένως, ανιχνεύεται χρησιμοποιώντας την ευρετική προσέγγιση. Έχουν παρασχεθεί εκτεταμένα αποτελέσματα προσομοίωσης για να δείξουν τις ενεργειακές ανωμαλίες σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, του μήνα και του έτους και αυτά τα αποτελέσματα συζητούνται αργότερα με τη διοίκηση του κτιρίου για μελλοντική διόρθωση.

Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιήσει επίσης οι μεθόδους ομαδοποίησης, όπως η ομαδοποίηση K-means για να ταξινομηθούν και να τακτοποιηθούν τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα SM. Οι μετρήσεις που συλλέγονται από ένα SM ομαδοποιούνται σε διαφορετικές κατηγορίες, π.χ. τα φώτα κουζίνας και το AC στην κρεβατοκάμαρα. Αργότερα, η τεχνική ομαδοποίησης K-means εφαρμόζεται για να ομαδοποιηθούν οι συσκευές στο σχετικό τους σύμπλεγμα, π.χ., οι λυχνίες LED (διόδου φωτισμού) ανήκουν στο σύμπλεγμα λιγότερης κατανάλωσης ενέργειας. Η ομαδοποίηση K-means χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση των κτιρίων ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας, ωστόσο, το SM χρησιμοποιείται για το συνώνυμο και δεν παρέχεται πραγματική συζήτηση/λεπτομέρεια για αυτό.

Για περαιτέρω επεξεργασία της ομαδοποίησης και της ανάλυσης των δεδομένων του SM, θα παρουσιαστεί μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση προ-διαλογής. Το SM μπορεί να εξεταστεί μέσω πέντε διαφορετικών μεθόδων διερεύνησης της χρήσης ενέργειας από τους καταναλωτές με βάση τη συχνότητα χρήσης, τις ημέρες, τις εβδομάδες και τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια αναλύονται μέσω εκτεταμένων αποτελεσμάτων προσομοίωσης για να αναζητηθούν οι ευκαιρίες πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας. Με βάση αυτές τις πληροφορίες και την κατανόηση τους μπορεί να βρεθεί το σημείο αναφοράς για τις επερχόμενες στρατηγικές ανάλυσης δεδομένων SM στο μέλλον.

Διαφορετικά από τα παραπάνω, ένα SM σχεδιάζεται χρησιμοποιώντας τη ασαφή λογική με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας που παρέχεται στους καταναλωτές με αυξημένη ασφάλεια. Ο σχεδιασμός του SM περιέχει την παραδοσιακή οθόνη LCD (οθόνη υγρών κρυστάλλων), κουμπιά, τροφοδοτικό και μονάδες σειριακής θύρας με συνδεσιμότητα WiFi.

Αυτός ο σχεδιασμός υλοποιείται και δοκιμάζεται σε πραγματικό εργαστήριο με την υποστήριξη ενός πλήρους εξοπλισμού όπως οι πίνακες διανομής και οι μονάδες αποθήκευσης. Στη συνέχεια εφαρμόζονται ασαφείς κανόνες στο σχεδιασμένο υλικού προκειμένου να διαχειριστούν την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας των χρηστών. Υπογραμμίζονται επίσης τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που δείχνουν τη διαφορά στο μέσο ημερήσιο φορτίο με και χωρίς τη συμπερίληψη του προτεινόμενου SM, ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι πολύ καλά επεξηγημένα και επομένως χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση (S. Paul, 2021).

4.2.3 Άλλες σχετικές προσεγγίσεις για διαχείριση της ενέργειας σε κτίρια/κατοικίες

Αρκετοί ερευνητές έχουν εξερευνήσει τη διαχείριση ενέργειας σε κτίρια και έξυπνα σπίτια λαμβάνοντας υπόψη τους τομείς της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (BD), της επιστήμης δεδομένων και της τεχνητής νοημοσύνης (AI), του γενικού IoT και πολλών άλλων τομέων. Υπάρχουν πολλά έργα που σχετίζονται με έρευνες στη βιβλιογραφία που συνοψίζουν τη χρήση των προαναφερθέντων τομέων για τη διαχείριση της ενέργειας στα κτίρια. Έτσι εδώ, συνοψίζονται ορισμένες σημαντικές εργασίες που σχετίζονται με έρευνες για τα παραπάνω θέματα.

Ξεκινώντας με την ανάλυση BD χρησιμοποιώντας τα IoT για κτίρια και σπίτια, το BD κατηγοριοποιείται σε τέσσερις σημαντικούς τομείς όπως η αποθήκευση, ο καθαρισμός, η ανάλυση και η οπτικοποίηση και εξετάζεται τον αντίκτυπο που έχουν αυτοί οι τέσσερις παράγοντες στους τομείς του IoT, όπως η υγειονομική περίθαλψη, ο αυτοματισμός κτιρίων και οι έξυπνες πόλεις. Επίσης υπάρχουν πλεονεκτήματα των BD και AI για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Τα AI και του BD χρησιμοποιούνται για έξυπνους τοίχους, έξυπνες αρχιτεκτονικές, έλεγχο θερμοκρασίας και διαχείριση ενέργειας, προηγμένες προβλέψεις ενέργειας, ηλιακή ενέργεια και πολλές άλλες πτυχές μέχρι το έτος 2019, αντίστοιχα.

Σε συνέχεια των παραπάνω, η τεχνητή νοημοσύνη και οι αλγόριθμοι που σχετίζονται με την επιστήμη δεδομένων έχουν διερευνηθεί ευρέως για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Ακολούθως θα συζητηθούν οι εφαρμογές της επιστήμης δεδομένων για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Οι τεχνικές της επιστήμης δεδομένων όπως η παλινδρόμηση, η ομαδοποίηση και η εξερεύνηση ακολουθίας εξετάζονται για την πρόβλεψη ενέργειας, την πρόληψη αστοχιών, την εξισορρόπηση φορτίου και την ανίχνευση σφαλμάτων σε κτίρια μέχρι το έτος 2017.

Η μοντελοποίηση της ενεργειακής χρήσης των κτιρίων από το έτος 2010 έως το 2018, αντίστοιχα περιλαμβάνει μια περιεκτική συζήτηση σχετικά με διάφορα βήματα που εμπλέκονται στη μετατροπή του γεωμετρικού σχεδιασμού ενός κτιρίου σε σχέδιο σχετικό με την ενέργεια. Παραθέτει επίσης ορισμένα εργαλεία και αλγόριθμους που μπορούν να εκτελέσουν τις μετατροπές, όπως το εργαλείο απλοποίησης γεωμετρίας (GST-Geometry Simplification Tool)¹⁴, EnergyPlus, αλγόριθμος προβολής κοινής τομής ορίων (CBIP-Common Boundary Intersection Projection)¹⁵ και αρκετοί άλλοι. Ελαφρώς διαφορετική έρευνα (A. Ramirez et. al., 2020) υπογραμμίζει πολυάριθμες τεχνικές επιστήμης δεδομένων για την πρόβλεψη ενέργειας σε κτίρια, ειδικά εκείνες που σχετίζονται με τη μηχανική μάθηση μέχρι το έτος 2019.

Αυτές περιλαμβάνουν τις προσεγγίσεις του γκριζου και του λευκού κουτιού (χρησιμοποιώντας τους νόμους της φυσικής για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας), τις λύσεις

¹⁴ Εργαλείο που χρησιμοποιείται για την αφαίρεση διαστημάτων και εξωτερικών κανόνων αναφοράς για οριζόντιες και κάθετες γεωμετρίες.

¹⁵ Χρησιμοποιεί γεωμετρικές αναπαραστάσεις των οντοτήτων του κτιρίου που λαμβάνονται από τα αρχεία IFC για τη δημιουργία της τοπολογίας των ορίων του χώρου του κτιρίου.

χρονοσειρών και ορισμένες υβριδικές τεχνικές μηχανικής εκμάθησης. Οι συγγραφείς του (A. Ramirez et. al., 2020) συμπεραίνουν ότι οι περισσότερες από τις υπάρχουσες προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης επικεντρώνονται σε εμπορικά και εκπαιδευτικά κτίρια με μικρότερο αριθμό λύσεων για κτίρια κατοικιών. Επομένως, χρειάζεται περισσότερη έρευνα για τα κτίρια κατοικιών. Επιπλέον, υπογραμμίζουν επίσης ορισμένους περιορισμούς των τεχνικών μηχανικής εκμάθησης (π.χ. έλλειψη γενικότητας και υπερβολικά πολλά δεδομένα για αντιμετώπιση).

Οι συγγραφείς τονίζουν περαιτέρω να βασίζονται στις παραμέτρους που σχετίζονται με τη φυσική αντί για αυτές που σχετίζονται με το χρόνο για την ανάπτυξη βελτιστοποιημένων λύσεων για τη διαχείριση ενέργειας σε κτίρια. Ομοίως, σε έρευνα σε περισσότερα από 200 ερευνητικά άρθρα που εξετάζουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακή, αιολική, γεωθερμία κ.λπ.), οι συγγραφείς πραγματοποιούν μια ενδελεχή ανάλυση διαφόρων τεχνικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το έτος 2020, διαιρώντας αυτές τις προσεγγίσεις στη μηχανική μάθηση, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και τις προσεγγίσεις που βασίζονται σε σύνολο, αντίστοιχα. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας μπορούν να θέσουν τα σημεία αναφοράς στην πρόβλεψη και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια και έτσι να παρέχουν στους ερευνητές μια ολοκληρωμένη άποψη για την επιλογή του σωστού μοντέλου επιστήμης δεδομένων.

Κεφάλαιο 5 – Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα

5.1 Έννοια των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων

Επειδή η φράση «έξυπνα ενεργειακά συστήματα» επινοήθηκε το έτος 2012, υπήρξαν αρκετές τεχνολογίες που σχετίζονται με την ενέργεια που είναι επίσης γνωστές ως «έξυπνη ενέργεια» ή «έξυπνα ενεργειακά συστήματα». Η εξέταση και η αξιολόγηση των μετρήσεων, της σύνθεσης, των στόχων και της διαχείρισης διαφορετικών ευφών ενεργειακών συστημάτων αποδίδει πολυάριθμες εναλλακτικές αντιλήψεις και ερμηνείες των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων.

Σύμφωνα με τον (D. Maltoni et. al., 2020) τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα είναι «μια προσέγγιση στην οποία τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και φυσικού αερίου συνδυάζονται με τεχνολογίες αποθήκευσης και συντονίζονται για τον εντοπισμό συνεργειών μεταξύ τους προκειμένου να επιτευχθεί μια βέλτιστη λύση για κάθε μεμονωμένο τομέα καθώς και για το συνολικό ενεργειακό σύστημα» (M. Bordeau, 2019). Σύμφωνα με έγγραφα, ο τομέας ανάπτυξης της έξυπνης ενέργειας είχε ένα συγκεκριμένο μοτίβο μετάβασης από το έξυπνο δίκτυο σε έξυπνα ενεργειακά συστήματα. Το έξυπνο δίκτυο ήταν μια αρχική έννοια της έξυπνης ενέργειας, αν και οι απόψεις σχετικά με τον βασικό στόχο και την εστίασή του παρέμειναν διχασμένες. Σύμφωνα με τους (I. Petidis et. al., 2018), ο κύριος στόχος του έξυπνου δικτύου είναι να επιλύει τις αστάθειες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας για το συνδυασμό σημαντικού ποσοστού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (A. Ramirez et. al., 2020).

Σύμφωνα με τους (D. Maltoni et. al., 2020)., το έξυπνο δίκτυο πρέπει να επικεντρωθεί στο πώς να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να συμμετέχουν πλήρως σε ρυθμιζόμενες ροές ενέργειας, όπως μέσω της χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αντλιών θερμότητας και άλλων τρόπων. Αν και διαφορετικές προοπτικές είναι ικανές να συνδυαστούν σε επίπεδο συστήματος, η παροχή μιας ενιαίας περιγραφής παραμένει πρόκληση (J. Ferreira et. al., 2019). Οι έννοιες της έξυπνης ενέργειας καθώς και των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων προέκυψαν σταδιακά πολύ μετά την εισαγωγή του έξυπνου δικτύου.

Οι περισσότεροι ερευνητές συμφώνησαν ότι τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα ήταν μια καλή ιδέα, επομένως συνέχισαν να επεκτείνουν και να εφαρμόσουν την έννοια. Η πλειοψηφία της έρευνας που ακολουθεί, επικεντρώνεται στα τεχνολογικά στοιχεία των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων. Ο Mathiesen, για παράδειγμα, έθεσε την έννοια των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων σε μοντελοποίηση προκειμένου να αποδείξει ότι τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα είναι όντως η ιδανική μέθοδος για την επίτευξη 100% βιωσιμότητας της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (J. G. Javadzadeh, 2020). Παράλληλα οι Nastasi και Lo έχουν προσθέσει στην ποικιλομορφία των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων προτείνοντας τη χρήση υδροηλεκτρικής

ενέργειας για τη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, αρκετοί ακαδημαϊκοί έχουν τονίσει τη σημασία των ανησυχιών της αγοράς και των κανονιστικών ρυθμίσεων στην εφαρμογή έξυπνων ενεργειακών συστημάτων. Όπως, οι Shi et al. ανέλυσε τα εργαλεία διαχείρισης και ανταπόκρισης από την πλευρά της ζήτησης των σύγχρονων έξυπνων ενεργειακών συστημάτων, επισημαίνοντας ότι οι πελάτες στις περισσότερες χώρες δεν θα εμπλακούν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όπως είχε προγραμματιστεί. Η ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών συστημάτων απέχει πολύ από το να είναι απλός συνδυασμός για αναβαθμίσεις φυσικών ενεργειακών συστημάτων εκτός από τις τεχνολογίες πληροφοριών και ο ρόλος της αγοράς και της πολιτικής δεν πρέπει να υποβαθμίζεται (Á. Sicilia et. al., 2019).

5.2 Βασικές Τεχνολογικές Εξελίξεις για Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα

5.2.1 Ευφυής Νέα Τεχνολογία Πρόβλεψης Παραγωγής Ενέργειας

Η πιο πρόσφατη ενέργεια έχει εξελιχθεί με τρόπο καθοριστικής σημασίας για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης καθώς και για την επίτευξη της παγκόσμιας εκφόρτισης μηδενικού άνθρακα λόγω των πλεονεκτημάτων της, ότι δηλαδή είναι καθαρή και εκπέμπει χαμηλές ποσότητες άνθρακα.

Η πολιτική βοήθεια και οι σημαντικές μειώσεις του κόστους στην παραγωγή ηλιακής και αιολικής ενέργειας έχουν επιταχύνει την ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Ακόμη και μέχρι το τέλος του 2019, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών είχε ξεπεράσει τα 651 GW, με πάνω από 6000 GW νεόδμητης ισχύος (Á. Sicilia et. al., 2019). Με την ταχύτατη ανάπτυξη της νεότερης παραγωγής ενέργειας, εξακολουθούν να υπάρχουν νέα ζητήματα για την αξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου (A. Aftab et. al., 2021). Αποτέλεσμα αυτού, η αρχική τεχνική πρόβλεψης παραγωγής ενέργειας έχει ήδη διερευνηθεί και εφαρμοστεί εκτενώς για την καταπολέμηση αυτού του ζητήματος.

Στατιστικά στοιχεία για το σχεδιασμό και τις λειτουργίες του δικτύου μπορούν να ληφθούν από αξιόπιστες προβλέψεις παραγωγής νέας ενέργειας που θα μπορούσαν να χειριστούν σημαντικά αυτήν την κατάσταση της μεγάλης κλίμακας αστάθειας παραγωγής ενέργειας (A. Jain et al., 2018). Αυτή η τεχνική επιτρέπει την προηγμένη έξυπνη τεχνική συλλογής αλλά και την ανάλυση αποτελεσματικών στατιστικών για την πρόβλεψη της συνολικής παραγωγής ενέργειας κατά την επόμενη περίοδο, εξασφαλίζοντας τη σταθερή λειτουργία πολλών συνδέσεων του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της μεταφοράς, της διανομής και της ζήτησης ενέργειας. Με βάση τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, οι παραδοσιακές προσεγγίσεις πρόβλεψης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: φυσική προσέγγιση, στατιστική προσέγγιση και μεθοδολογία τεχνητής νοημοσύνης (A. Sadeghi et. al., 2020).

Η φυσική τεχνική βασίζεται στην πρόγνωση του καιρού που χρησιμοποιείται κυρίως για την πρόβλεψη της ατμοσφαιρικής δυναμικής. Επιπλέον, επειδή απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ, δεν είναι κατάλληλο για βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη (A. Zeng et. al., 2019). Ένα λειτουργικό μοντέλο προηγούμενων επιδόσεων και προγνωστικών στοιχείων καθιερώνεται χρησιμοποιώντας την ποσοτική προσέγγιση. Ο στόχος του (C. Fan et. al., 2018) είναι να εμφανίσει τη μαθηματική σύνδεση που περιέχει δεδομένα ενεργειακών διαδικτυακών χρονοσειρών, ωστόσο η γραμμική προσέγγισή του περιορίζει την ικανότητά του να αντιμετωπίζει εκτεταμένες προκλήσεις πρόβλεψης.

Τα υποψήφια συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έχουν περισσότερες δυνατότητες στην εξόρυξη δεδομένων και στην αφαίρεση χαρακτηριστικών (C. Talon et. al., 2018) με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανές χρήσεις του. Περιλαμβάνει τόσο ρηχά μοντέλα όσο και προβλέψεις βαθιάς μάθησης. Η μέθοδος συλλογής χαρακτηριστικών του ρηχού μοντέλου έχει μεγάλο κόστος και η ικανότητα γενικότητας είναι περιορισμένη, καθιστώντας περίπλοκα σύνθετα σύνολα δεδομένων.

Κατά συνέπεια, η τεχνική πρόβλεψης βασισμένη σε βαθιά μάθηση έχει ήδη διερευνηθεί πέρα από αυτό για να ξεπεραστούν αυτά τα ζητήματα. Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά, την αιολική ενέργεια, καθώς και άλλες βιομηχανίες, η τεχνική πρόβλεψης παραγωγής καθαρής ενέργειας χρησιμοποιείται πλέον συχνά. Η τεχνική είναι ικανή ωριαίας, λεπτής και δεύτερου επιπέδου προβολής και παίζει ουσιαστικό συμπληρωματικό ρόλο στην ασφαλή λειτουργία της σύγχρονης παραγωγής ενέργειας.

5.2.2 Προηγμένες Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας

Το καινοτόμο σύστημα ES (Energy Storage) ενσωματώνει ολοκληρωμένη διεπιστημονική μελέτη, όπως κινητική, θερμοδυναμική, μηχανική ρευστών, μικροδομή, φυσική εξέλιξη, χημικές διεργασίες και άλλες, για την επιτυχή υλοποίηση της αποτελεσματικής αποθήκευσης πλήθους πηγών ενέργειας (Hakimi & Hasankhani, 2019). Ενισχύει την αξιοπιστία και την προσαρμοστικότητα του ενεργειακού εφοδιασμού αντιμετωπίζοντας το απρόβλεπτο της διάσπαρτης παραγωγής και του φορτίου στη ζήτηση ενέργειας. Τα συστήματα φυσικής και χημικής ενέργειας είναι δύο τύποι τεχνολογιών ES. Η αντλία αποθήκευσης, το ES πεπιεσμένου αέρα, το ES σφονδύλου και το υπεραγώγιμο μαγνητικό ES είναι κάποια παραδείγματα φυσικών ES. Οι μπαταρίες Li-ion, οι μπαταρίες Na-ion, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, οι μπαταρίες ροής, οι μπαταρίες νατρίου-θείου και άλλα καινοτόμα ενεργειακά συστήματα μπαταριών είναι παραδείγματα αποθήκευσης χημικής ενέργειας. Η αποθήκευση με αντλία είναι μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές ES μεγάλης κλίμακας παγκοσμίως, με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 127 GW (Hakimi & Hasankhani, 2019).

Η αντλούμενη αποθήκευση επιτυγχάνει αμοιβαίο μετασχηματισμό ηλεκτρικής ενέργειας, δυναμικής ενέργειας και μηχανικής ισχύος μέσω πολυάριθμων συνδεδεμένων δεξαμενών σε ποικίλα ύψη, αντιμετωπίζοντας έτσι την αστάθεια της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τα ζητήματα ελέγχου συχνότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (Y. Wei et. al., 2018). Η αντλούμενη αποθήκευση, από την άλλη πλευρά, έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Η δημιουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αντλία αποθήκευσης περιορίζεται από τη γεωγραφία, καθώς η υψηλότερη και η χαμηλότερη δεξαμενή πρέπει να βρίσκονται κοντά μεταξύ τους και να υπάρχει μια λογική διακύμανση ύψους.

Η ενεργειακή πυκνότητα, την οποία θα μπορούσε να αποκτήσει μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αντλία αποθήκευσης είναι μέτρια όταν υπάρχει μικρή υψομετρική διακύμανση. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με αντλία αποθήκευσης έχουν χαμηλό οικονομικό ποσοστό απόδοσης, μεγάλο κόστος κεφαλαίου και μεγάλους χρόνους ανάκτησης. Ο πεπιεσμένος αέρας ES αποθηκεύει ενέργεια σε αέρα υψηλής πίεσης και τη χρησιμοποιεί για να τροφοδοτήσει τουρμπίνες που καίνε αέρα υψηλότερης πίεσης και ίσως διαφορετικά καύσιμα αερίου για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (C. Fan et. al., 2018).

Αυτό έχει διερευνηθεί και αναπτυχθεί σε τεράστια κλίμακα, δεύτερο μόνο μετά την αντλούμενη αποθήκευση. Περιλαμβάνει το πλεονέκτημα εκτεταμένης διάρκειας φόρτισης/εκφόρτισης. Για παράδειγμα, διερευνήθηκαν οι ανησυχίες για τη διαδικασία και την ασφάλεια πολλών ειδών συστημάτων ES πεπιεσμένου αέρα, επιτρέποντας μια ακριβή αξιολόγηση της απόδοσης και της δυνατότητας εφαρμογής (M. Jia, 2021). Το Flywheel ES είναι πλέον μία από τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας με τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθιστώντας το ιδανικό για περιορισμένους και βραχυπρόθεσμους σκοπούς. Το Flywheel ES έχει περάσει σε μια εποχή γρήγορων εξελίξεων, με αποτέλεσμα την αύξηση της έρευνας, της καινοτομίας της ενιαίας τεχνολογίας και της καινοτομίας εξομοιούμενης χρήσης στο Flywheel ES. Δηλαδή, διερευνήθηκε η συνάφεια της τεχνικής ES του σφονδύλου στη λειτουργία ηλεκτρικών αυτοκινήτων μεγαλύτερης κλίμακας, παρέχοντας τεχνολογική βοήθεια για την αντιμετώπιση των προκλήσεων σημαντικών απωλειών εφεδρικής ισχύος.

Η μαγνητική υπεραγωγιμότητα ES αποθηκεύει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μέσα σε ένα πηνίο αποθήκευσης υπεραγώγιμης ενέργειας με γρήγορο χρόνο αντίδρασης, υψηλότερη απόδοση μετασχηματισμού και υψηλότερη απόδοση δυναμικής μεταφοράς ισχύος (S. S Reka, 2021). Ήταν ένα επίκεντρο της μελέτης στον ακαδημαϊκό χώρο, διότι θα μπορούσε να βελτιώσει αποτελεσματικά την αξιοπιστία της παροχής ρεύματος και τον δυναμικό έλεγχο του ηλεκτρικού δικτύου. Οι ερευνητές διερευνούν αυτή την περίοδο την άμεση απόκριση της αποθήκευσης υπεραγώγιμης μαγνητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμων κραδασμών του συστήματος ισχύος (Mehmood, 2019).

Το Chemical ES έχει συγκεντρώσει σημαντικό ενδιαφέρον λόγω της ευκολίας χρήσης και της μεγάλης αποτελεσματικότητάς του, και έχει εξελιχθεί ως η κύρια καθοριστική διαδρομή σε πολλές χρήσεις ES. Η τεχνολογία Chemical ES, όπως συμβολίζεται με τις μπαταρίες, προσφέρει μεγαλύτερη ποικιλία, ταχύτερη πρόοδο και πιο αποδεκτή οικονομική βιωσιμότητα σε σύγκριση με άλλα είδη ηλεκτρικών ES (M. Ge, 2021). Επιπλέον, οι πολυάριθμες ιδιότητές του μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ικανοποιούν ένα πλήθος απαιτήσεων του συστήματος ισχύος. Το Chemical ES, ως ο πυρήνας και η τεχνολογία συμφόρησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (M. Ge, 2021), είναι ζωτικής σημασίας για την ευρεία υιοθέτηση σύγχρονων ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και για τη διατήρηση της ενέργειας και τον έλεγχο της ρύπανσης.

5.2.3 Ολοκληρωμένος Μηχανισμός Ψηφιακής Ενέργειας Αγοράς και Υπηρεσιών

Η δημιουργία πλήρους πλαισίου ψηφιακής αγοράς και υπηρεσιών είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της κατασκευής έξυπνων δικτύων και έξυπνων πόλεων ως αποτέλεσμα της ψηφιακής επανάστασης. Το συμβατικό μοντέλο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται σε διαφορετικούς τύπους ενέργειας και ποικίλους τρόπους τιμών, χάρη στις μετατροπές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και το αυξανόμενο άνοιγμα της βιομηχανίας πολλαπλών ενεργειών (M. Jia, 2021). Για να διερευνήσουν τη σημασία του μεγέθους της αγοράς, της ψηφιακής ετοιμότητας και της ορθής διακυβέρνησης στην αγορά, οι Hiteva, Foxon (2021) και οι DuchBrown, Rossetti (2020) διερεύνησαν 217 ψηφιακές ενεργειακές πλατφόρμες στην αγορά της ΕΕ και την κοινωνικοοικονομική αποτίμηση που δημιουργείται από τις ενεργειακές υπηρεσίες για χρήστες και συστήματα ισχύος, αντίστοιχα.

Επιπλέον, το σύστημα συναλλαγών στην ηλεκτρονική αγορά ενέργειας λειτουργεί ως αγωγός για τις συναλλαγές και τις λειτουργίες μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά. Στις συναλλαγές, η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και η διαφάνεια πολλών δεδομένων έχουν καθοριστική σημασία. Το σύστημα καθορίζει επίσης εάν η διαδικασία επεξεργασίας συναλλαγών θα εκτελεστεί ομαλά. Ως αποτέλεσμα, μια αξιόπιστη τεχνική εμπορίου ισχύος που χρησιμοποιεί τεχνολογία ομομορφικής κρυπτογράφησης έχει στόχο να ξεπεράσει τη διαρροή ανωνυμίας στις ενεργειακές συναλλαγές κάτι το οποίο διερευνήθηκε για την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της μετάδοσης πληροφοριών στις συναλλαγές της ψηφιοποιημένης αγοράς ενέργειας (.G. Javadzadeh, 2020).

Επιπλέον, επειδή το σύστημα μάρκετινγκ ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, η εκτέλεσή του πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη λειτουργικότητα και την επιθυμία συμμετοχής σε πολυάριθμες οντότητες. Ως αποτέλεσμα, η λειτουργία ενός πρωτότυπου μηχανισμού της αγοράς με παράλληλη εξέταση διαφορετικών ενδιαφερομένων και επίτευξη ευρείας ενεργού συμμετοχής θα ήταν ένα κρίσιμο εμπόδιο για την κατάκτηση αυτού του συστήματος.

5.3 Εφαρμογή του IoT σε Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα

Για τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αντιπροσωπεύει ένα νέο πλαίσιο. Οι νεότεροι εξοπλισμοί που συνδέονται με το IoT παρέχουν πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για να επενδύσουν στην τεχνολογία, να ενισχύσουν την παραγωγικότητα και την αποτελεσματικότητα, να λύσουν κρίσιμα ζητήματα, να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και να δημιουργήσουν δημιουργικές και μοναδικές συναντήσεις. Καθώς ακόμη περισσότερες συσκευές συνδέονται, εν τω μεταξύ, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ηλεκτρικής ενέργειας θα αντιμετωπίσουν περισσότερα ζητήματα συνδεσιμότητας, τμηματοποίησης και ασφάλειας.

Το Internet of Things (IoT) υποστηρίζει τις τρέχουσες τεχνολογίες. Η τεχνολογία IoT συνδέει όλα τα στοιχεία παραγωγής και εμπορίας ενέργειας, τη διαφάνεια του μετασχηματισμού και παρέχει πραγματικό αντίκτυπο σε κάθε φάση του ενεργειακού κύκλου, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης για την παροχή στον τελικό χρήστη. Τα οικονομικά της παραγωγής υδρογονανθράκων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επωφελούνται από αυτή τη συνεργασία. Με την ανθρώπινη εργασία και μια προηγμένη προσέγγιση επεξεργασίας, οι τεχνικές IoT για τον τομέα της ενέργειας βοηθούν τους οργανισμούς να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα και τις υπηρεσίες.

Οι λειτουργίες αιολικών πάρκων μπορούν να βελτιστοποιηθούν, οι διαδικασίες μπορούν να μεγιστοποιηθούν και τα έξοδα μπορούν να μειωθούν σημαντικά χάρη στις τεχνολογίες IoT και ενέργειας. Γραμμές μεταφοράς, συστήματα παρακολούθησης, διαχείριση εργαζομένων κινητικότητας, παρακολούθηση επιτόπιων εργασιών και IoT στη διαχείριση ενέργειας αποτελούν παραδείγματα εφαρμογών IoT στη βιομηχανία ενέργειας. Η βιομηχανία καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας), ο τομέας ενέργειας και το IoT στις βιομηχανίες φυσικού αερίου και πετρελαίου είναι κάποια παραδείγματα IoT στον μεταποιητικό τομέα. Το σύστημα IoT επιτρέπει στους παρόχους να εξετάζουν τις σχετικές πληροφορίες σε τακτική βάση, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση προϋπολογισμού και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Η εξυπηρέτηση πελατών και οι εταιρικές λειτουργίες θα επωφεληθούν από την αυτοματοποίηση και την απλότητα.

5.3.1 Εφαρμογή σε Πολιτικές Ενεργειακών Λειτουργιών

Οι νομοθέτες υποχρεούνται να χρηματοδοτήσουν προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης, καθώς και δραστηριότητες δοκιμών, προκειμένου να φέρουν την τεχνολογία IoT στην αγορά και να χρησιμοποιούν δομικούς κώδικες για την προώθηση της χρήσης αυτών των συσκευών. Ο Naser και οι συνεργάτες του (M. M-Solana, 2021) εξέτασαν την εφαρμογή του IoT και τη ρύθμιση γύρω από τέτοιες συσκευές στην ενεργειακή βιομηχανία. Οικονομολόγοι, ρυθμιστικές αρχές ενέργειας, στελέχη και ειδικοί διερεύνησαν τα προβλήματα και τις προοπτικές της Διασύνδεσης σε διάφορους τομείς της ενέργειας ως αποτέλεσμα αυτής της μελέτης.

Έτσι ενθαρρύνεται η σύγκλιση κοινοτικών και νομικών δεδομένων, παρέχετε πρόσβαση σε δεδομένα και βελτιώνεται η συνολική απόδοση του συστήματος ως μέρος των προτάσεων πολιτικής για το IoT για τη μείωση των οικολογικών επιπτώσεων και τη ρύθμιση της χρήσης ενέργειας. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός θα προωθηθεί από γρήγορους τεχνολογικούς κανονισμούς με δυνατότητα IoT σε ανίχνευση και αντίδραση σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα μια ψηφιακή κυβέρνηση βασισμένη στα δεδομένα, ικανή να παρέχει κανονισμούς, συμφέροντα της κοινωνίας και οφέλη σε πολλούς τομείς (J. P. Gouveia, 2020).

5.2.2 Συνεισφορά έξυπνων δικτύων

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της εφαρμογής συστήματος διαχείρισης ενέργειας (EMS) για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την ελαχιστοποίηση του κόστους, επιβάλλεται η ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ενέργειας (EMS). Το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλα τα ελεγχόμενα και μη ελεγχόμενα φορτία, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Στην έρευνα των (Hakimi και Hasankhani 2019) προτείνεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λαμβάνοντας υπόψη τα προγραμματιζόμενα/μη προγραμματιζόμενα φορτία και τα φορτία των ηλεκτρικών και θερμικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του έξυπνου κτιρίου. Σε μια προσπάθεια βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικιών, η αλληλεπίδραση μεταξύ των έξυπνων σπιτιών (SH) μπορεί να θεωρηθεί ως λύση. Από αυτή την άποψη, τα έξυπνα σπίτια (SH) μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια μεταξύ τους. Ως εκ τούτου, τα έξυπνα σπίτια (SH) θεωρείται ότι είναι εξοπλισμένα με σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) καταναλωμένων πόρων παραγωγής (DG) και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS).

Κάθε έξυπνο δίκτυο (SH) έχει το δικό του μικροδίκτυο (MG) το οποίο είναι σε θέση να τροφοδοτεί μέρος των ηλεκτρικών φορτίων και να παρέχει τα δικά του θερμικά φορτία. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) ως βασική διεπαφή μεταξύ του μικροδικτύου MG και του έξυπνου σπιτιού (SH) λαμβάνει τιμολόγια RTP(real-time-pricing) από την εταιρεία ηλεκτρισμού μέσω του έξυπνου μετρητή που είναι εγκατεστημένος μέσα σε κάθε σπίτι.

Ο σχεδιασμός των ευέλικτων φορτίων και η αξιοποίηση των καταναλωμένων πόρων παραγωγής (DG) γίνεται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κατανάλωσης ενέργειας και της χρήσης ενεργειακών πόρων στα έξυπνα σπίτια (SHs), τις επόμενες 24 ώρες. Επιπλέον, θεωρείται ότι το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) κάθε έξυπνου σπιτιού (SH) έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με άλλα παρακείμενα σπίτια προκειμένου να ανταλλάσσει πληροφορίες σχετικά με την τιμή και την ποσότητα της ενέρ-

γειας που ανταλλάσσεται. Προκειμένου να υπολογιστεί η δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των σπιτιών (SH), θεωρείται ότι τα σπίτια μπορούν να χρησιμοποιούν το ένα το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) του άλλου.

Η κύρια συμβολή αυτής της μελέτης είναι η εξέταση της καθαρότερης παραγωγής και της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της μεταφοράς ενέργειας μεταξύ των SH. Η ενεργειακή αλληλεπίδραση μεταξύ των κτιρίων ήταν πάντα ευεργετική για την επίλυση των ενεργειακών προβλημάτων, ωστόσο μόλις πρόσφατα απέκτησε μεγαλύτερη σημασία σύμφωνα με τους ακόλουθους λόγους:

1. Ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ιδιαίτερα φωτοβολταϊκών) σε έξυπνα κτίρια. Αυτοί οι πόροι παράγουν περισσότερη ισχύ από την ωριαία ζήτηση του κτιρίου, η οποία μπορεί να μεταφερθεί σε άλλα κτίρια.
2. Αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ηλεκτροδότησης φορτίων θέρμανσης/ψύξης. Εάν τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης σε έξυπνα κτίρια χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια, μπορεί να μεταφερθεί μεταξύ έξυπνων κτιρίων. Ως αποτέλεσμα, θα μπορούσε να εξοικονομηθεί περισσότερη ενέργεια.
3. Τα ηλεκτρικά οχήματα αυξάνονται σημαντικά, γεγονός που αυξάνει τη ζήτηση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να εφαρμοστούν ως σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Πρόσφατα αναπτύχθηκε η υποδομή επικοινωνίας. Ειδικά το IoT - διαδίκτυο των πραγμάτων, μεταξύ έξυπνων συσκευών και έξυπνων σπιτιών (SH), γεγονός που απλοποιεί την εμπορία ενέργειας μεταξύ έξυπνων κτιρίων.
5. Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας σε έξυπνα σπίτια (SH), τα οποία μπορούν να είναι χρήσιμα ειδικά σε ώρες αιχμής.

Οι κύριοι στόχοι αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

1. Διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε έξυπνα σπίτια (SH) λαμβάνοντας υπόψη τα θερμικά και ηλεκτρικά τους φορτία σε δύο διαφορετικές προγραμματιζόμενες και μη προγραμματιζόμενες κατηγορίες.
2. Εμπορία ενέργειας μεταξύ έξυπνων κτιρίων σε λειτουργία εκτός δικτύου σε περίπτωση ελλείψεων μέσω ESS.
3. Ανάπτυξη εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε SH μέσω ESS και ανταλλαγής ενέργειας προκειμένου να μετριαστούν οι αβεβαιότητές τους.
4. Προσδιορισμός της παραγωγής κάθε θερμικής και ηλεκτρικής μονάδας για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους.

Ο όρος «έξυπνα κτίρια» περιγράφει μια σειρά τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για να κάνουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κτιρίων πιο αποτελεσματική, εφαρμόσιμη τόσο σε υφιστάμενα όσο και σε νεόδμητα ακίνητα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης κτιρίου (BMS – Building Management Systems) που λειτουργούν συστήματα θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με τις ανάγκες των ενοίκων ή λογισμικό που απενεργοποιεί όλους τους προσωπικούς υπολογιστές και τις οθόνες αφού έχουν πάει όλοι στο σπίτι. Τα δεδομένα BMS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό πρόσθετων ευκαιριών για βελτιώσεις απόδοσης.

Οι ΤΠΕ μπορούν να συμβάλουν στο δυναμικό ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια μέσω της εφαρμογής συστημάτων διαχείρισης κτιρίων και ενέργειας, έξυπνων τεχνολογιών μέτρησης, συστημάτων φωτισμού και ελέγχου φωτισμού στερεάς κατάστασης, ευφών αισθητήρων και λογισμικού βελτιστοποίησης. Λόγω της συμβολής στην ενεργειακή απόδοση πολλών διαφορετικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των υλικών και των τεχνολογιών, και των διαφόρων πιθανών ανταλλαγών μεταξύ τους, η ανάπτυξη μιας συστημικής κατανόησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.

Η Ε&Α που στοχεύει στην ενεργειακή απόδοση σε μελλοντικά έξυπνα κτίρια θα αναπτυχθεί γύρω από τα ακόλουθα θεμελιώδη πεδία:

- **Ευφυείς μονάδες:** Αυτές οι μονάδες (ή ονομαζόμενες μονάδες) πρέπει να έχουν ενσωματωμένα ηλεκτρονικά τσιπ, καθώς και τους κατάλληλους πόρους για την επίτευξη τοπικών υπολογιστών και την αλληλεπίδραση με το εξωτερικό, επομένως είναι σε θέση να διαχειρίζεται κατάλληλα πρωτόκολλα ώστε να αποκτά και να παρέχει ορατότητα σε πραγματικό χρόνο στα ενεργειακά δεδομένα.

- **Αποτελεσματικές επικοινωνίες:** Πρέπει να επιτρέπουν σε αισθητήρες, ενεργοποιητές και ευφυείς μονάδες να επικοινωνούν μεταξύ τους και με υπηρεσίες μέσω του δικτύου. Πρέπει να βασίζονται σε πρωτόκολλα που είναι τυποποιημένα και ανοιχτά. Επίσης, μια συμφωνία για μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών υψηλού επιπέδου είναι απαραίτητη προκειμένου τα διαφορετικά συστήματα να μπορούν να αλληλεπιδρούν και να κατανοούν το ένα το άλλο, ακόμη και αν δεν χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

- **Smart BMS/ECMS:** Τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) και τα συστήματα διαχείρισης ενεργειακού ελέγχου (ECMS - Energy Control Management Systems) βασίζονται σε ενσωματωμένες έξυπνες μονάδες και αποτελεσματικές επικοινωνίες. Πρέπει να είναι νέα συστήματα που χαρακτηρίζονται όχι μόνο από βελτιωμένα χαρακτηριστικά (π.χ. βελτιστοποίηση της εξίσωσης για ενεργειακή απόδοση/διάρκεια/κόστος), αλλά να μπορούν να επικοινωνούν με την ενσωμάτωση κατάλληλων ετικετών (π.χ. αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων) και να βελτιώνουν την

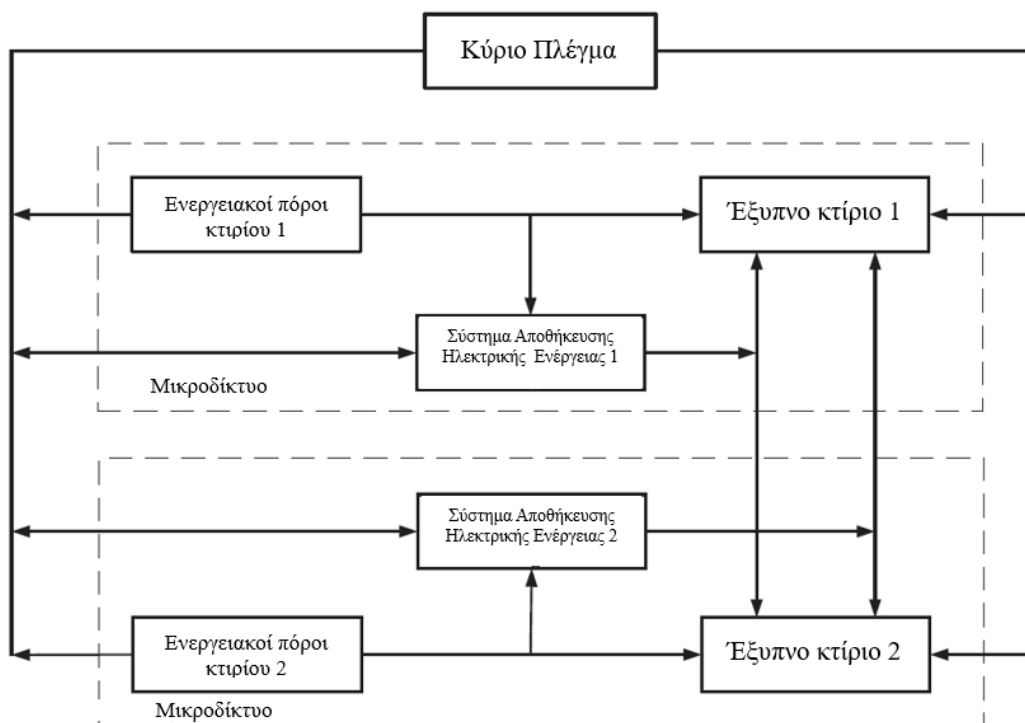
παγκόσμια παρακολούθηση της σύνθετης συναρμολόγησης προϊόντων και εξοπλισμού στο δομημένο περιβάλλον. Πρέπει να επιτρέπουν δυναμικά τον δυναμικό έλεγχο και τη διαμόρφωση συσκευών (βάσει στρατηγικών), μέσω νέων αλγορίθμων και αρχιτεκτονικών για οποιαδήποτε διαμόρφωση έξυπνων συσκευών (δηλαδή οποιοδήποτε σύνολο τέτοιων συσκευών που διασυνδέονται) να μπορεί να εξελίσσεται δυναμικά ανάλογα με το περιβάλλον ή την αλλαγή σε μια επιλογή μιας παγκόσμιας στρατηγικής.

Τελικά, τα δίκτυα αυτών των BMC και ECMS θα αποτελέσουν τα θεμέλια αυτορρυθμιζόμενων συστημάτων οικίας και κτιρίου για ενεργειακή απόδοση, βασισμένα σε αρχιτεκτονικές όπου τα εσωτερικά συστήματα που βασίζονται σε εξαρτήματα μαθαίνουν από τη δική τους χρήση και τη συμπεριφορά των χρηστών και είναι σε θέση να προσαρμοστούν σε νέες καταστάσεις, τον εντοπισμό και την ενσωμάτωση νέων λειτουργιών όπως απαιτείται, συμπεριλαμβανομένης της πιθανής χρήσης της αναγνώρισης προτύπων για τον εντοπισμό και την ιεράρχηση βασικών θεμάτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν και για τον προσδιορισμό των σχετικών πληροφοριών.

• **Πολυτροπικές διαδραστικές διεπαφές:** Ο απώτερος στόχος αυτών των διεπαφών είναι να κάνουν το εσωτερικό δίκτυο όσο το δυνατόν πιο απλό στη χρήση. Αυτές οι διεπαφές θα πρέπει επίσης να είναι μέσα για την κοινή χρήση χώρων πληροφοριών περιβάλλοντος ή περιβάλλοντα εργασίας περιβάλλοντος. Θα πρέπει να προσαρμόζονται στη διαθέσιμη προσοχή των χρηστών, αποφεύγοντας την υπερφόρτωση του «γνωστικού εύρους ζώνης» τους με περιττές προειδοποιήσεις ή περιττές ανατροφοδοτήσεις.

5.4 Μεθοδολογία υπό μελέτη συστήματος

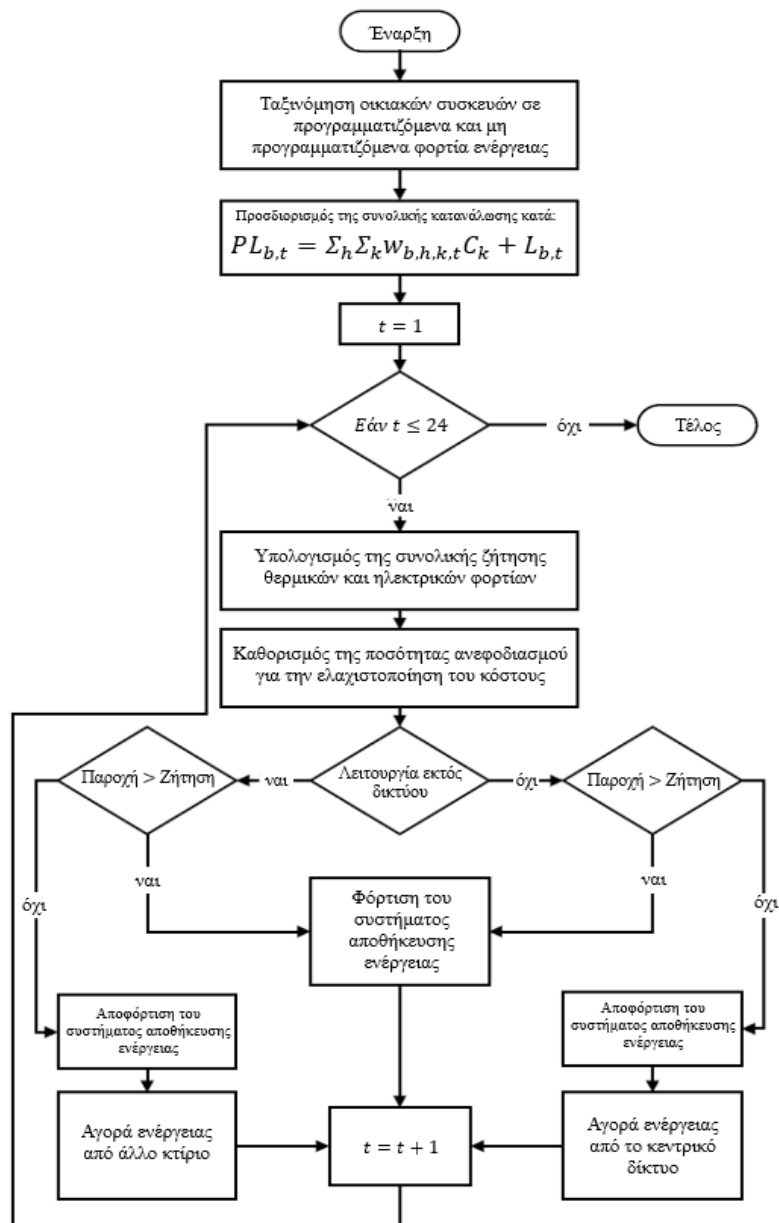
Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα εξαρτήματα του υπό μελέτη συστήματος και υπολογίζεται η κατανάλωση και η παραγωγή τους (X. Jiang et. al., 2019). Μετά την εισαγωγή όλων των στοιχείων στα έξυπνα σπίτια (SH), θα συζητηθεί η παρουσιαζόμενη μέθοδος προκειμένου να διευκρινιστεί ο σκοπός του αλγορίθμου διαχείρισης ενέργειας (EMA). Σκοπός αυτού του παραρτήματος είναι να παρουσιάσει τις μέγιστες δυνατότητες των έξυπνων σπιτιών (SH) σε συνθήκες όπου μπορούν να λειτουργούν και εκτός δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος «πρώτα ορίζονται οι περιορισμοί για την επίλυση του προβλήματος» και στη συνέχεια εισάγεται η αντικειμενική συνάρτηση.



Εικόνα 6: Μια σχηματική εικόνα του συστήματος (X. Jiang et. al., 2019)

Ένα απλό σχηματικό διάγραμμα του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 6. Όπως φαίνεται σε αυτήν την Εικόνα, εξετάζονται δύο διαφορετικά μικροδίκτυα (MG) σε σχέση μεταξύ τους. Το σύνολο των έξυπνων κτιρίων, των ενεργειακών πόρων και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (ESS) θεωρούνται ως μικροδίκτυα. Αυτά τα μικροδίκτυα μπορούν να στέλνουν πληροφορίες μεταξύ τους και να έχουν μεταφορά ενέργειας ταυτόχρονα. Αυτά τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν και σε λειτουργία εντός και εκτός δικτύου (N. David, 2020).

Εάν τα μικροδίκτυα (MG) μας λειτουργούν σε λειτουργία εντός δικτύου, μπορούν να αγοράσουν ηλεκτρική ενέργεια από το κύριο δίκτυο και επίσης να πουλήσουν στο κύριο δίκτυο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι αυτή η σχέση μπορεί να επηρεάσει το κύριο δίκτυο σε διάφορες πτυχές, όπως η αύξηση της ζήτησης, το φορτίο αιχμής και η απώλεια ενέργειας. Ωστόσο, μια αξιόπιστη εφαρμογή εκτός δικτύου μπορεί να αποφύγει αυτά τα προβλήματα. Μπορεί να φανεί στην Εικόνα 6 ότι κάθε μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα και να αλληλεπιδρά με άλλα. Εάν τα μικροδίκτυα (MG) λειτουργούν σε λειτουργία εκτός δικτύου, μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν, πληροφορίες και ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής της παρουσιαζόμενης μεθόδου.

Δύο συνδέσεις μεταξύ του έξυπνου κτιρίου No. 1 και του έξυπνου κτιρίου No. 2 δείχνουν τη μεταφορά πληροφοριών και ενέργειας μεταξύ τους. Σε κάθε μικροδίκτυο, η ενέργεια μεταφέρεται μεταξύ διαφορετικών τμημάτων. Όπως αναφέρεται, ο κύριος στόχος αυτής της παραγράφου είναι η παροχή όλων των φορτίων κάθε μικροδικτύου (MG) σε λειτουργία εκτός δικτύου. Κάθε μικροδίκτυο (MG) τροφοδοτεί τη ζήτηση του από το σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ESS), και μπορεί επίσης να αγοράσει ηλεκτρική ενέργεια από άλλο μικροδίκτυο σε περίπτωση έλλειψης. Η διαχείριση ενέργειας γίνεται με τρόπο ώστε το συνολικό κόστος να ελαχιστοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του συστήματος.

5.5 Επίδραση βιώσιμων κτιρίων στο περιβάλλον

Την τελευταία δεκαετία, πέραν των περιβαλλοντικών προβλημάτων, το ενεργειακό κόστος έχει αυξηθεί, και τα καύσιμα εξαντλούνται. Για παράδειγμα οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μετατρέπουν μόνο το 30–35% της εισροής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το υπόλοιπο απορρίπτεται ως σπατάλη θερμότητας. Έτσι ένα σχέδιο κατανάλωσης ενέργειας αποτελεί επιτακτική ανάγκη και άμυνα για την επίλυση αυτών των ζητημάτων. Οι πηγές ορυκτών καυσίμων εξαφανίζονται με πολύ γρήγορο ρυθμό τα τελευταία 200 χρόνια προκαλώντας υψηλά ποσοστά ζημιών στην κλιματική αλλαγή.

Νέα αποθέματα ορυκτών καυσίμων γίνονται όλο και πιο δύσκολο να βρεθούν και αυτά που ανακαλύπτονται είναι σημαντικά μικρότερα από αυτά του παρελθόντος. Τα αποθέματα πετρελαίου αναμένεται να εξαφανιστούν μεταξύ 2050 και 2060 και το ίδιο ισχύει και για το φυσικό αέριο. Ενώ ο άνθρακας αναμένεται να διαρκέσει έως το 2100. Άλλοι παράγοντες στην αύξηση των εκπομπών και του ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη και η σημαντική αύξηση του ρυθμού τήξης των πάγων και των παγετώνων. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία χρόνια καθώς βιώνουμε ιστορικά τα θερμότερα χρόνια. Ένα κτίριο που έχει σχεδιαστεί για να είναι πιο βιώσιμο έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις επιπτώσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον. Αυτό το αποτέλεσμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 8: Επίδραση των βιώσιμων κτιρίων στο περιβάλλον, την κοινωνική ζωή και την οικονομική ανάπτυξη (M. Shehadi 2020)

5.6 Επιτάχυνση αλλαγής στις έξυπνες κοινωνίες - ένα στρατηγικό πλαίσιο βασισμένο στη γνώση για την έξυπνη ενεργειακή μετάβαση των αστικών κοινοτήτων

Οι αστικές κοινότητες διαφέρουν ως προς τα κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και ως προς την προσέγγιση της χρήσης ενέργειας. Η δυναμική χρήση ενέργειας και οι διαθέσιμοι επιτόπιοι πόροι επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και συμβάλλουν στους βασικούς δείκτες απόδοσης των έξυπνων πόλεων. Αυτή το υποκεφάλαιο έχει ως στόχο να προτείνει συστηματικά ένα στρατηγικό πλαίσιο για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων μετατρέποντας σταδιακά τις αστικές κοινότητες σε έξυπνα ενεργειακά συστήματα. Αυτό το πλαίσιο βασίζεται σε διεπιστημονικές πρακτικές σχετικά με τον σταδιακό σχεδιασμό έξυπνων κοινοτήτων και αναπτύσσει έννοιες έξυπνου μετασχηματισμού για να ενισχύσει τις ικανότητες προς τη διατήρηση, την αναζωογόνηση, τη βιωσιμότητα και τη βιωσιμότητα μιας κοινότητας.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο, εστιάζουμε στην έννοια και τη σημασία των έξυπνων κοινοτήτων και των κοινοτήτων μηδενικού άνθρακα, χρησιμοποιώντας τεχνολογία και υποδομή. Εξετάζουμε επίσης την υπόθεση της κοινότητας και τις σχετικές κοινωνικές, τεχνολογικές και οικονομικές πτυχές. Οι δομές αποφάσεων εξηγούνται από την προοπτική μιας προσέγγισης από τη βάση προς την κορυφή που κυμαίνεται από τις προκαταρκτικές επιθεωρήσεις έως τον οικονομικό σχεδιασμό επενδύσεων.

Υπάρχουν τρεις κύριες προσεγγίσεις για την έννοια των έξυπνων πόλεων. Η πρώτη είναι μια τεχνοκεντρική προσέγγιση που αναθέτει κρίσιμο ρόλο στις ΤΠΕ και εστιάζει σε προηγμένες τεχνολογίες, υλικό και ψηφιακή υποδομή. Η δεύτερη είναι μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση και δίνει έμφαση στο ρόλο του κοινωνικού και ανθρώπινου κεφαλαίου στην έξυπνη πόλη. Διαφορετικοί συγγραφείς υπογραμμίζουν το ρόλο του ανθρώπινου κεφαλαίου και της εκπαίδευσης στην αστική ανάπτυξη και βιωσιμότητα. Η τρίτη είναι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που υποστηρίζει ότι το ανθρώπινο και κοινωνικό κεφάλαιο και η τεχνολογία δημιουργούν από κοινού κατάλληλες συνθήκες για μια συνεχή διαδικασία ανάπτυξης και καινοτομίας.

Μια έξυπνη πόλη ενσωματώνει ανθρώπινες δυνατότητες, δραστηριότητες έντασης γνώσης, θεσμικούς μηχανισμούς κοινωνικής συνεργασίας προς τη γνώση και την ανάπτυξη της καινοτομίας και ψηφιακή υποδομή (δηλαδή, υποδομές ΤΠΕ, εργαλεία και εφαρμογές). Συνεπώς, η έξυπνη πόλη αντιπροσωπεύει ένα περιβάλλον που μπορεί να συνδυάσει βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα ενσωματώνοντας διαφορετικές διαστάσεις ανάπτυξης (δηλαδή, κοινωνική, οικονομική, περιβάλλον και διαβίωση και διακυβέρνηση, άνθρωποι, και κινητικότητα. Η εστίαση είναι στους οδηγούς των ΤΠΕ και στον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν την αστική ανάπτυξη.

Όλοι οι ορισμοί των έξυπνων κοινοτήτων μοιράζονται τρεις κοινές έννοιες: τη διαδικασία (δικτύωση διαφόρων παραγόντων), τα μέσα επικοινωνίας (ΤΠΕ, τεχνολογία και υποδομή δικτύου) και τον επιδιωκόμενο στόχο (συμμετοχή κοινού).

5.7 Από τις συνδεδεμένες κοινότητες σε ένα συνδεδεμένο κόσμο

Η μετάβαση από τους στόχους και τα σχέδια μιας κοινότητας σε αυτά σε επίπεδο πόλης αλλά και μιας κοινότητας είναι εξαιρετικά δύσκολη, λαμβάνοντας υπόψη την εκθετική αύξηση της πολυπλοκότητας, κυρίως λόγω της συμπερίληψης κοινωνικών και πολιτικών παραγόντων σε μεγαλύτερη κλίμακα. Αποτέλεσμα η μετάβαση σε επίπεδο πόλης θα πρέπει να πραγματοποιείται με δύο τρόπους, κατανεμημένα και βηματικά για να επιτευχθεί ο μετασχηματισμός ενός συνδεδεμένου δικτύου έξυπνων κοινοτήτων σε έξυπνες πόλεις μεγάλης κλίμακας.

Οι κοινότητες που έχουν την ικανότητα να εφαρμόσουν έξυπνο και βιώσιμο μετασχηματισμό παρατηρείται να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά όπως συμμετοχή του κοινού, ιδιοκτησία και διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, διαθέσιμοι πόροι, ετερογενείς και ευέλικτες ενεργειακές απαιτήσεις. Έτσι είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα σύστημα με γνώμονα τους πόρους που να περιλαμβάνει άτομα που κατοικούν σε αυτό. Η μετάβαση που αφορά τις μη προνομιούχες κοινότητες είναι μια εξαιρετική έκθεση οικονομικών και κοινωνικών οφελών που προκύπτουν από τη μετάβαση σε επίπεδο κοινότητας και πόλης. Επιπλέον, ορισμένες περιοχές έχουν σημαντική εξάρτηση και είναι ιδιαίτερα ευάλωτες από περιβαλλοντική άποψη, δηλαδή μεγάλες εμπορικές περιοχές, κόμβοι μεταφορών, λιμάνια και εργοστάσια.

Από ενεργειακή άποψη, η συνεχής εξέλιξη των έξυπνων τεχνολογιών όσον αφορά τα ενεργειακά συστήματα, τον προηγμένο αυτοματισμό, το IoT και τις ΤΠΕ έχει επιτρέψει τη σύνδεση ενός δικτύου έξυπνων κοινοτήτων. Οι καταναλωτές και δημιουργοί ενέργειας, όπως τα περιουσιακά στοιχεία, τα κτίρια, η κινητικότητα, και οι πάροχοι ενέργειας εντός της κοινότητας οφείλουν να λειτουργούν σε συγχρονισμό για να επιτύχουν βελτιστοποίηση όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση.

Έξυπνες τεχνολογίες και δεδομένα (π.χ. παρακολούθηση αποβλήτων, νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιστοποίηση χρήσης ενέργειας και παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλυτερεύσουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα ζωής των πολιτών, να αυξήσουν τις ευκαιρίες τους και να εξασφαλίσουν ένα βιώσιμο και υγιές μέλλον.

Η χρήση αυτών των τεχνολογιών θα οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση νερού και λιγότερα στερεά απόβλητα ανά άτομο μέσα στο χρόνο, σε αναχαίτιση των ρύπων και σε λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, για να επιτευχθούν οι στόχοι μιας έξυπνης πόλης

είναι απαραίτητο να συνδυαστούν δράσεις σε επίπεδο κοινότητας και εγκαταστάσεων. Η σταδιακή μετάβαση λαμβάνει τη μορφή της δημιουργίας συστάδων κοινότητας με επίγνωση των συστημάτων για την επίτευξη των ευρύτερων επιπτώσεων όλων των υποσυστημάτων στην εφοδιαστική υψηλού επιπέδου. Αντίστοιχα, οι έξυπνες πόλεις ενισχύονται και ακολούθως ενισχύεται η έξυπνη οικονομία, η έξυπνη κοινωνία και η έξυπνη διακυβέρνηση.

Ένα τέτοιο ολιστικό σύστημα είναι προσβάσιμο και χωρίς αποκλεισμούς και κατά συνέπεια βελτιώνεται η ποιότητα ζωής γενικότερα. Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν περιορίζονται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η συνέργεια θα πρέπει να δημιουργηθεί σε ένα συνδεδεμένο σύστημα. Αυτή η συνδεδεμένη αρχιτεκτονική επιτρέπει στις κοινότητες να λειτουργούν σε έναν συνδεδεμένο κόσμο και να ανταλλάσσουν τους πόρους τους σε έναν οδικό χάρτη ενεργειακής μετάβασης.

Πιο συγκεκριμένα, η διαδραστική ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των κοινοτήτων μπορεί να προγραμματιστεί και υπολογιστεί, αν και το κόστος και τα οφέλη δεν έχουν ακόμη καθοριστεί. Επιπρόσθετα, οι προσφορές από κοινότητα σε κοινότητα θα μπορούσαν να έχουν ιδιαίτερες οικονομικές παραμέτρους. Αυτό το συνδεδεμένο δίκτυο θα επιτρέψει τη βέλτιστη διαχείριση να επεκτείνει τη βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα. Μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα μέτρα για τον ορισμό των κοινοτήτων και των συνεργαζόμενων οντοτήτων σε έναν συνδεδεμένο ενεργειακό κόσμο. Οι έννοιες που μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για τη σταδιακή μετάβαση σε μια έξυπνη πόλη είναι τα νανοδίκτυα (NG - Nano Grids), τα μικροδίκτυα (MG - Micro Grids) και η κοινοτική ενέργεια (CE - Community energy).

Τα νανοδίκτυα είναι μικρά, τοπικά δίκτυα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέουν μεταξύ τους μικρές μονάδες παραγωγής, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννητρίες και μικρές μονάδες παραγωγής με καύση ορυκτών καυσίμων. Τα νανοδίκτυα συνήθως καλύπτουν μια περιοχή από λίγα τετραγωνικά μέτρα έως λίγα τετραγωνικά χιλιόμετρα. Τα μικροδίκτυα είναι μεγαλύτερα από τα νανοδίκτυα και μπορούν να καλύπτουν μια περιοχή από λίγα τετραγωνικά χιλιόμετρα έως μερικές δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Τα μικροδίκτυα μπορούν να περιλαμβάνουν μια ποικιλία μονάδων παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, ανεμογεννητριών και μονάδων παραγωγής με καύση ορυκτών καυσίμων. Η κοινοτική ενέργεια είναι ένα μοντέλο παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο οποίο οι καταναλωτές συμμετέχουν ενεργά στη δημιουργία και τη διαχείριση του δικτύου. Οι κοινοτικές επιχειρήσεις ενέργειας μπορούν να δημιουργηθούν από κοινού από ομάδες καταναλωτών, επιχειρήσεις ή κοινότητες.

5.8 Κοινότητες Ενέργειας και Μηδενικού Άνθρακα

Η κοινοτική ενέργεια (CE) είναι μια έννοια που θα εφαρμοστεί σε μια μετάβαση διαφόρων σταδίων σε έναν συνδεδεμένο ενεργειακό. Μέσω αυτής, οι κοινότητες μπορούν να μετατραπούν σε ενεργειακά συστήματα ελάχιστων έως και μηδενικών εκπομπών άνθρακα δίνοντας προτεραιότητα στη συμμετοχή των μελών της τοπικής κοινότητας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, αυτή η στρατηγική έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή, όπως στη Δανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία, την Αυστραλία και τις Ηνωμένες Πολιτείες (J. MacArthur, 2020). Η CE μπορεί να παρέχει πρωτοβουλίες εναλλακτικής ενέργειας που απευθύνονται σε και εφαρμόζονται από ντόπιους, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα, (G. Walker, 2018).

Καθοδηγούμενες από άτομα που κατοικούν στην κοινότητα, αυτές οι κοινότητες μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά μέσω έργων CE (J. Rogers, 2022). Διάφορες υποθέσεις σχετικά με τις διαδικασίες, όπως η αυξημένη τοπική υποστήριξη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η κοινωνικοοικονομική αναγέννηση, η ενεργειακή παιδεία, ο περιβαλλοντικός τρόπος ζωής, η ανάπτυξη γνώσεων και ικανοτήτων, η ενδυνάμωση της κοινότητας, η πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ενέργεια, η συμμετοχή και η λήψη αποφάσεων είναι κρίσιμα για τα αποτελέσματα του CE. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ισχυρά στοιχεία που να υποστηρίζουν τις θεωρητικές υποθέσεις για οφέλη για την τοπική κοινότητα. Επομένως, είναι ιδιαίτερος σημαντικό να διερευνηθούν αυτά τα οφέλη συστηματικά, συγκριτικά και εμπειρικά. Οι μελέτες θα πρέπει να διερευνήσουν τεχνολογικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη βιώσιμη μετάβαση στο μηδενικό άνθρακα.

Η κοινοτική ενέργεια ορίζεται κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο οι κοινότητες συμμετέχουν στις ενεργειακές εξελίξεις. Μέσω της κοινοτικής ενέργειας (CE), οι πολίτες συμμετέχουν ενεργά στις αντιλήψεις πολιτικής και στην παραγωγή, παράδοση και κατανάλωση ενέργειας, ακυρώνοντας εν μέρη τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα (U. A. U. Amirulddin, 2022). Η κοινοτική ενέργεια (CE) αποτελείται από ανοιχτές συμμετοχικές πρακτικές που βασίζονται στη συμμετοχή των μελών της κοινότητας. Αυτό επιτρέπει τη συλλογή περιεκτικών δεδομένων βασισμένων σε στοιχεία με βάση τοπικών προοπτικών.

Οι νέες προσεγγίσεις και πρακτικές των συστημάτων CE επικεντρώνονται πρωτίστως στη συμμετοχή της κοινότητας και μοιάζουν με προσεγγίσεις από κάτω προς τα πάνω (συμμετοχή των πολιτών και μια ποικιλία κοινοτικών παραγόντων) σε αντίθεση με τις προσεγγίσεις από πάνω προς τα κάτω (θεσμικά καθοδηγούμενα παραδοσιακά συστήματα) (A. A. Alves, 2021). Έτσι, η συμμετοχή των μελών της κοινότητας είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική υιοθέτηση πηγών ενέργειας χωρίς άνθρακα και τη μείωση των βλαβερών εκπομπών. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν και να προσδιοριστούν οι σχετικοί κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες.

Επιπλέον, ένα υψηλό επίπεδο προσκόλλησης και σχετικοί θετικά συναισθηματικοί δεσμοί μεταξύ των ανθρώπων και του περιβάλλοντος μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο είτε στην αντίθεση είτε στην υποστήριξη του μετασχηματισμού προς ένα ενεργειακό σύστημα μηδενικών εκπομπών άνθρακα και των τεχνολογικών εξελίξεων (A. A. Alves, 2021). Η αντίθεση ή η υποστήριξη εξαρτώνται από τις ιδέες για τις νέες τεχνολογίες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως απειλή αλλά και από την άλλη πλευρά και ευκαιρία για την τοπική κοινωνία. Έτσι, η έννοια της «κοινότητας» είναι σημαντική για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι νέες τεχνολογίες και οι νέες τεχνολογικές δραστηριότητες, όπως ο μετασχηματισμός προς ενεργειακά συστήματα, οι τεχνολογίες μηδενικού άνθρακα και οι σχετικοί κίνδυνοι σχετίζονται με τα συναισθήματα των ανθρώπων για την κοινότητά τους.

5.9 Έννοιες μικροδικτύων και νανοδικτύων

Οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DER) έχουν υιοθετηθεί παγκοσμίως στα συστήματα ισχύος και η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αναθεωρηθούν τα τρέχοντα επιχειρηματικά μοντέλα και η υποδομή πίσω από τις λειτουργίες του δικτύου για να γίνουν πιο φιλικά προς το περιβάλλον και αξιόπιστα. Αυτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο της ενεργειακής μετάβασης, που αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη έξυπνων πόλεων.

Μεταξύ των βιώσιμων λύσεων, το μικροδίκτυο (MG - Micro Grid) συνδέει τα DER σε τοπικές περιοχές σε ένα μίνι-δίκτυο που έχει έναν ελεγχόμενο συγκεντρωτικό κόμβο από την πλευρά του ηλεκτρικού δικτύου. Το μικροδίκτυο (MG) γενικά ορίζεται με διαφορετικούς τρόπους επίσημα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, το MG αντιπροσωπεύει «μια ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων και κατανεμημένων ενεργειακών πόρων εντός σαφώς καθορισμένων ηλεκτρικών ορίων που λειτουργούν ως μια ενιαία ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο» (Ton, 2021).

Επιπλέον, το Διεθνές Συμβούλιο για Μεγάλα Ηλεκτρικά Συστήματα (CIGRÉ) ορίζει το μικροδίκτυο ως «μια ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων και κατανεμημένων ενεργειακών πόρων εντός σαφώς καθορισμένων ηλεκτρικών ορίων που λειτουργούν ως ενιαία ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο. Ένα MG μπορεί να συνδεθεί και να αποσυνδεθεί από το δίκτυο για να του επιτρέψει να λειτουργεί τόσο σε λειτουργία σύνδεσης στο δίκτυο όσο και σε κατάσταση νησίδας» (C. Harrison, 2019).

Με βάση αυτούς τους ορισμούς, το MG αποτελείται από ελεγκτές, σύνολο αισθητήρων, μετατροπείς AC-DC, καλώδια/σωλήνες που δημιουργούν ηλεκτρικά/θερμικά δίκτυα, κόμβους προσφοράς-ζήτησης και διακόπτες που λειτουργούν ως κεντρική επεξεργασία πληροφοριών του μικροδικτύου (MG) που διασφαλίζει την έξυπνη διαχείριση ενέργειας. Τα MG αντιπροσωπεύουν

τοπικά ελεγχόμενα συστήματα. Έτσι, λειτουργούν τόσο σε συνδεδεμένες στο δίκτυο όσο και σε νησιωτικές λειτουργίες, ενώ πληρούν τους περιορισμούς του δικτύου, όπως οι κομβικές τάσεις και η ροή ισχύος τροφοδοσίας σε ηλεκτρικά μόνο MG.

Η λειτουργία νησίδας επιτρέπει στα μικροδίκτυα (MGs) να λειτουργούν όλα ή τμήματα των κρίσιμων φορτίων τους κατά τη διάρκεια μιας κρίσης, όπως διακοπές ρεύματος και καταιγίδες, ενώ το αντίθετα με το ρεύμα δίκτυο τίθεται σε κίνδυνο σε τέτοιες καταστάσεις. Ως εκ τούτου, τα MG έχουν πλεονεκτήματα όπως πιο αξιόπιστη και ανθεκτική εξυπηρέτηση (Ton, 2021), ανακούφιση από τη συμφόρηση και αναβολή επενδύσεων T&D μέσω μειωμένων φορτίων αιχμής, βοηθητικές υπηρεσίες ως αποτέλεσμα της συν-βελτιστοποίησης της αποστολής των DERs και φιλικές προς το περιβάλλον λειτουργίες λόγω της αυξημένης ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ακολουθώντας τη σχεδίαση του μικροδικτύου, συνήθως επιλέγεται μια διάταξη πλέγματος με πολλαπλούς βρόχους για τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ασφάλειάς του. Η διάταξη πλέγματος-πλέγματος ενσωματώνει ένα σύνολο ελεγχόμενων διακοπών, οι οποίοι μπορούν να εξασφαλίσουν τη συνέχεια της υπηρεσίας. Επιπλέον, ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό ενός MG είναι η βέλτιστη επιλογή του σημείου κοινής σύζευξης δηλαδή ένας στατικός κόμβος μεταγωγής που επιτρέπει συνδεδεμένους με το δίκτυο τρόπους λειτουργίας.

Γενικά, ένα MG απαιτεί μια μονάδα καταναμημένης παραγωγής (DG) συν-ένα. Αυτό μπορεί να είναι με τη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες περιλαμβάνουν DGs(Distributed Generation) που τροφοδοτούνται με βιομάζα, κυψέλες καυσίμου, ανεμογεννήτριες και ηλιακούς συλλέκτες, DGs που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα (DDGs-Diesel Driven Generators), συμπεριλαμβανομένων με καύση αερίου και ντίζελ. DDG με καύσιμο ή υβριδικά DGs-Distributed Generations¹⁶, όπως ένα σύστημα συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP)¹⁷ για τη διατήρηση της λειτουργίας των κρίσιμων φορτίων όταν το MG είναι νησίδα.

Εκτός από τα υβριδικά DS, RES και DDG, οι πόροι απόκρισης ζήτησης (DR) και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS)¹⁸ και οι πόροι απόκρισης ζήτησης (DR) ταξινομούνται επίσης ως DER κατά το σχεδιασμό ενός μικροδικτύου. Επομένως, τα DER είναι ο κύριος κινητήριος μοχλός οποιωνδήποτε MG των οποίων το χαρτοφυλάκιο είναι βελτιστοποιημένο όσον αφορά την τοποθεσία και το μέγεθος. Η επιλογή της τεχνολογίας γίνεται με βάση των σκοπών

¹⁶ Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα DGs λόγω των πολλών προκλήσεων που αντιμετωπίζει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

¹⁷ Η CHP είναι μια τεχνολογία που παράγει ηλεκτρική και θερμική ενέργεια με υψηλή απόδοση χρησιμοποιώντας μια σειρά τεχνολογιών και καυσίμων. Με την παραγωγή ενέργειας, οι απώλειες ελαχιστοποιούνται και η θερμότητα που διαφορετικά θα σπαταλιόταν εφαρμόζεται στα φορτία των εγκαταστάσεων με τη μορφή θέρμανσης διεργασίας, ατμού, ζεστού νερού ή ακόμα και κρύου νερού.

¹⁸ Η ηλεκτρική ενέργεια στην αρχική της μορφή δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε καμία κλίμακα, αλλά με τη χρήση ενός ESS μπορεί να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας που μπορούν να αποθηκευτούν. Αυτές οι μορφές ενέργειας μπορούν αργότερα να μετατραπούν εκ νέου σε ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειαστεί.

και των στόχων του χειριστή της MG, τις ανάγκες θερμικής ενέργειας, την προσβασιμότητα στα καύσιμα και τις λειτουργικές παραμέτρους. Θεμελιώδης για την αποτελεσματική λειτουργία ενός MG είναι η διασφάλιση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας με πλήρη επίγνωση της κατάστασης με χρήση μετρήσεων που μπορεί να λάβει έγκαιρα μέτρα ελέγχου.

Ο ρόλος των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας είναι να εκτελούν τη συντονισμένη λειτουργία των DER εντός των ορίων του MG και να βελτιστοποιούν συνεχώς την ισορροπία προσφοράς-ζήτησης. Τα MG και NG, που αναφέρονται επίσης ως πλέγματα fractal¹⁹, είναι παρόμοια, αλλά το NG αντιπροσωπεύει ένα σύστημα μικρότερου εύρους. Αντίστοιχα, πραγματοποιούν λειτουργίες μόνο για μία εγκατάσταση ή πελάτη. Μπορούν να λειτουργήσουν και σε λειτουργία DC και AC. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα NG είναι κοινά συστήματα ηλιακής αποθήκευσης. Είναι σημαντικό ότι τα νανοδίκτυα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο κοινής ωφέλειας μέσω ενός μετρητή, να υλοποιούνται εντός των μικροδικτύων και να συνδέονται με άλλα νανοδίκτυα.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι οι έννοιες μικροδίκτυο και νανοδίκτυο είναι κοινότητες ικανές να υποστηρίξουν τον πολύπλοκο σχεδιασμό της ανάπτυξης έξυπνων πόλεων στην έξυπνη ενεργειακή μετάβαση. Τέτοιες κοινότητες, μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα και την ποιότητα των υπηρεσιών στα ενεργειακά συστήματα, να ενισχύσουν την ευημερία των πολιτών και να διευκολύνουν τον έξυπνο μετασχηματισμό (K. Priya Dharshini, 2022).

5.10 Κοινωνικοί Παράγοντες και Έξυπνος Μετασχηματισμός

Ο κοινοτικός μετασχηματισμός της έξυπνης ενέργειας μπορεί να παρεμποδιστεί από κοινωνικά και συμπεριφορικά στοιχεία, όπως η έλλειψη προθυμίας, αποδοχής και ευαισθητοποίησης, αποτρέποντας την ανάπτυξη και επέκταση τεχνολογικών εναλλακτικών λύσεων. Επομένως, ο έξυπνος μετασχηματισμός πρέπει να υποστηριχθεί και να εφαρμοστεί με συγκεκριμένη στρατηγική που θα περιλαμβάνει κοινωνικούς φορείς σε όλες τις οριζόντιες και κάθετες διαδικασίες.

Ανθρώπινοι και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες θα πρέπει να περιλαμβάνονται σε όλα τα στάδια λήψης αποφάσεων του έξυπνου μετασχηματισμού. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τέτοιοι παράγοντες εξαρτώνται από συγκεκριμένες περιπτώσεις. Συνεπώς, δεν είναι δυνατό να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα. Τέτοιοι παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πολιτι-

¹⁹ Είναι μια αρχιτεκτονική συστημάτων καταναμημένων ενεργειακών πόρων ή DER. Σε μια τοπολογία Fractal πλεγμάτων, πολλαπλά μικροδίκτυα είναι στρατηγικά διατεταγμένα ώστε να ακολουθούν ένα fractal ή αναδρομικό μοτίβο. Το Fractal είναι ένα μαθηματικό σχήμα που είναι απείρως πολύπλοκο. Στην ουσία, ένα Fractal είναι ένα μοτίβο που επαναλαμβάνεται για πάντα και κάθε μέρος του Fractal, ανεξάρτητα από το πόσο έχει σμικρυνθεί ή μεγεθυνθεί, μοιάζει πολύ με ολόκληρη (γενική) την εικόνα.

κές, δομικούς και δημογραφικούς παράγοντες, πολιτισμικούς φραγμούς και ψυχολογικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, οι δημογραφικοί παράγοντες επηρεάζουν τις αποφάσεις των ατόμων σχετικά με τις περιβαλλοντικές δράσεις.

Ακόμα, το φύλο αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σε σχέση με την υιοθέτηση στρατηγικών για το περιβάλλον. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι γυναίκες είναι πιο διατεθειμένες να υιοθετούν πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας. Σύμφωνα με τον Zelezny αλλά και άλλου ερευνητές (L. Zelezny, 2020), οι περισσότερες μελέτες έχουν επιβεβαιώσει ότι οι γυναίκες είναι πιο πιθανό να ασχοληθούν με την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, μελέτες έχουν επίσης αναφέρει ότι οι άνδρες τείνουν να εγκαθιστούν ηλιακούς συλλέκτες (L. Niamir et. al., 2022). Επιπλέον, η ηλικία είναι επίσης ένας κρίσιμος παράγοντας, διότι τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας είναι πιο δύσπιστα σχετικά με την απόδοση των επενδύσεων σε ενεργειακές. Αντίθετα, ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει ότι ο ηλικιωμένος πληθυσμός είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιεί από τους νεότερους ιδιοκτήτες σπιτιού. Έρευνα για τη σχέση μεταξύ εισοδήματος και στάσεων απέναντι στην υιοθέτηση της τεχνολογίας έχει δείξει ότι η τάση για υιοθέτηση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συσχετίζεται με το μηνιαίο εισόδημα (E. Sardianou, 2020). Ομοίως, οι ιδιοκτήτες κατοικιών με υψηλά εισοδήματα είναι πιο διατεθειμένοι να επενδύσουν στην τεχνολογία ηλιακού ζεστού νερού.

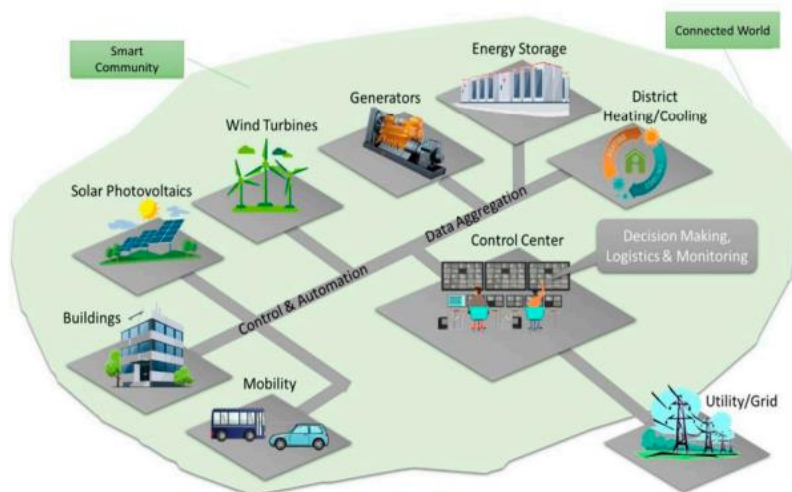
Ένας ακόμα καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει κρίσιμα τη μετάβαση είναι οι δομικοί παράγοντες, οι οποίοι αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των κτιρίων (π.χ. μέγεθος, ηλικία και τύπος). Για παράδειγμα, οι Mills et al. διαπίστωσε ότι τα παλαιότερα σπίτια είναι λιγότερο ενεργειακά αποδοτικά. Εξάλλου, ο Niamir και άλλοι (L. Niamir, 2019) υποστήριξαν ότι οι ιδιοκτήτες σπιτιού είναι πιο διατεθειμένοι να επενδύσουν στην πράσινη ενέργεια από τους ιδιοκτήτες διαμερισμάτων, επειδή οι ιδιοκτήτες νέων κτιρίων είναι πιο πιθανό να επενδύσουν σε ηλιακούς συλλέκτες. Επιπλέον, υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους της κατοικίας και της επένδυσης σε ηλιακούς συλλέκτες και μόνωση κατοικιών θεωρώντας ότι οι ιδιοκτήτες μεγαλύτερων κατοικιών έχουν υψηλότερο εισόδημα και είναι σε θέση να επενδύσουν στην πράσινη ενέργεια. Βέβαια, τα μεγαλύτερα σπίτια έχουν επίσης μεγαλύτερους χώρους στον τελευταίο όροφο που μπορούν να φιλοξενήσουν ένα σύστημα ηλιακών πάνελ.

5.11 Έξυπνος οδικός χάρτης μετασχηματισμού

Μια έξυπνη κοινότητα ορίζεται ως ένα δυναμικό σύστημα με ιεραρχική αρχιτεκτονική που εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, οι αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις και οι εξωτερικές επιδράσεις που διασχίζουν τα όρια του συστήματος και οι αβεβαιότητες που δημιουργούνται από παράγοντες όπως η ανθρώπινη συμπεριφορά και οι καιρικές συνθήκες δημιουργούν αυξανόμενη πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των έξυπνων κοινοτήτων. Ο έξυ-

πνος μετασχηματισμός μιας υπάρχουσας κοινότητας αποτελείται από πολλαπλές φάσεις προκειμένου να δημιουργηθεί μια ιεραρχική αρχιτεκτονική επιπέδων πληροφοριών και περιουσιακών στοιχείων που διευκολύνουν την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής μετάβασης, υιοθετώντας νέες τεχνολογίες και δημιουργώντας μια συνεργασία για να καταστεί δυνατή η πανταχού παρουσία συσκευών και η σύντηξη πληροφοριών. Το σύστημα θα πρέπει να σχεδιαστεί βάση μιας υποδομής ICT.

Η ICT²⁰ είναι εξοπλισμένη με τοπικά συστήματα αυτοματισμού, αισθητήρες και εργαλεία μέτρησης, κόμβους δεδομένων και κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Για έναν έξυπνο μετασχηματισμό ενέργειας, τεχνολογίες όπως DER, ESS, συσκευές τηλεθέρμανσης, ψύξης και τεχνολογίες που επιτρέπουν την ηλεκτροδότηση των μεταφορών είναι αναπόφευκτες. Τα φορτία τελικής χρήσης που σχετίζονται με τα δομημένα περιβάλλοντα μπορούν να διαχειρίζονται δυναμικά και να διαμορφώνονται με βάση την προβλεπόμενη διαθεσιμότητα σε πόρους αλλά και τη ζήτηση. Μια έξυπνη κοινότητα λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί μια κοινότητα με αυτογνωσία, με γνώμονα τους πόρους και μια συνδεδεμένη κοινότητα που έχει επίσης αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον της και τον συνδεδεμένο κόσμο (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου σε μια έξυπνη κοινότητα

Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι να επιτύχει τη βιωσιμότητα, ενώ παράλληλα θέτει στόχους σχετικά με την εξοικονόμηση κόστους, την ανθεκτικότητα, την ποιότητα των υπηρεσιών, την ανθρώπινη ζωή, την απόδοση του συστήματος, την ανταπόκριση και τις συνεισφορές στους δήμους και τις γύρω κοινότητες.

Έτσι μια έξυπνη κοινότητα μπορεί να επιτύχει μηδενικές εκπομπές άνθρακα και να εξασφαλίσει την πιθανότητα αρνητικής εκπομπής άνθρακα εστιάζοντας σε φυσικές και τεχνητές προσεγγίσεις δέσμευσης άνθρακα. Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι ο σχεδιασμός και τα επίπεδα

²⁰ Η υποδομή Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ICT) αντιπροσωπεύει τον εξοπλισμό και το λογισμικό που είναι απαραίτητο για την εφαρμογή και λειτουργία συστημάτων και δικτύων για υπηρεσίες επικοινωνιών, καθώς και εφαρμογές υποστήριξης, ψηφιακό περιεχόμενο και ηλεκτρονικό εμπόριο.

πληροφοριών και περιουσιακών στοιχείων είναι σύμφωνα με περιβαλλοντικά μέτρα για την επίτευξη κατάστασης μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Προς αυτή την έξυπνη μετάβαση με μηδενικές εκπομπές άνθρακα, τα οικονομικά, τεχνολογικά και κοινωνικά εμπόδια συμπεριφοράς απαιτούν πλήρη έλεγχο. Εκτός από τους στόχους μείωσης των εκπομπών και απόδοσης, ο αντίκτυπος της συμμετοχής ανθρώπινων παραγόντων όπως η προθυμία, η παραγωγικότητα και η άνεση σε έναν έξυπνο μετασχηματισμό πρέπει να εμπλακεί στην αρχιτεκτονική.

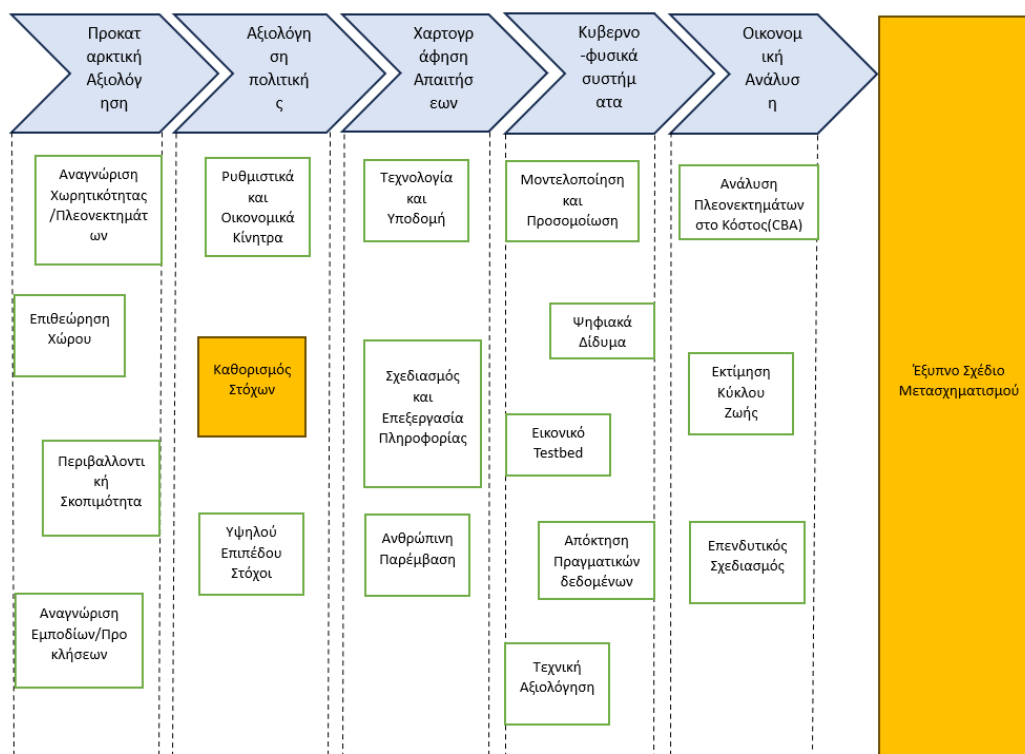
Μέσω της χρήσης των DER και των κοινών περιουσιακών στοιχείων της περιοχής (π.χ. θέρμανση και ψύξη, θερμική αποθήκευση, κοινοτική ηλιακή ενέργεια κ.λπ.), μια έξυπνη κοινότητα μπορεί να βελτιώσει την ανθεκτικότητα του συστήματός της, ακόμη και να συνεισφέρει στις γύρω κοινότητες σε κανονικές λειτουργίες και καταστροφές. Μια έξυπνη κοινότητα μπορεί να λάβει διάφορα σήματα από τον συνδεδεμένο κόσμο (connected world) και να συνδυάσει αυτές τις εισόδους με πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο εντός των ορίων της για να ενορχηστρώσει τη λειτουργία της με δήμους βάσει διαφορετικών συνθηκών. Η επικοινωνία και η υποδομή των IoT των έξυπνων κοινοτήτων μπορεί να δημιουργήσει ένα σύστημα σε πραγματικό χρόνο και γρήγορης απόκρισης το οποίο θα είναι ενήμερο για εσωτερικές παραλλαγές και εξωτερικά σήματα. Αποτέλεσμα η ενίσχυση της ευελιξίας και της ανταπόκρισης του συστήματος στο σχεδιασμό και τις λειτουργίες.

Βέβαια, λαμβάνοντας υπόψη τις συνεχείς τεχνολογικές αλλαγές στον αυτοματισμό, τα ESS, τους ενεργειακούς πόρους, την υπολογιστική ισχύ, τις καινοτόμες λύσεις τεχνητής νοημοσύνης (AI) και τις ΤΠΕ, οι δυνατότητες είναι περιορισμένες. Οι λύσεις τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναπτυχθούν περαιτέρω χάρη στις αυξημένες πηγές δεδομένων με υψηλότερες αναλύσεις, με αποτέλεσμα ολοκληρωμένα σχήματα σχεδιασμού και πιο αξιόπιστη και ακριβή μοντελοποίηση πρόβλεψης, η οποία περιλαμβάνει την κατάσταση όλων των συμμετεχόντων κόμβων στο σύστημα.

Αυτό είναι δυνατό από πλατφόρμες συστημάτων ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και διαχείρισης βάσεων δεδομένων που είναι σε θέση να αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Επιπλέον, οι νέες αρχιτεκτονικές IoT διευκολύνουν τη μετάδοση δεδομένων εντός της κοινότητας και επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων άμεσης απόκρισης και την παρακολούθηση του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της αποδοτικότητας της τεχνολογίας και το μειωμένο κόστος, τα καθαρά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας έχουν καθιερωθεί ως οικονομικά δικαιολογημένα. Επιπλέον, οι καινοτόμες καθολικές πύλες και τα πρωτόκολλα επιτρέπουν την ενσωμάτωση περισσότερων τεχνολογιών ως δίκτυο, αυξάνοντας έτσι τις δυνατότητες περαιτέρω. Ωστόσο, προκειμένου οι κοινότητες να κατανοήσουν τις επιλογές τους και να τις χρησιμοποιήσουν με τον καλύτερο τρόπο συνεπάγεται την ανάγκη δημιουργίας ενός επιστημο-

νικού πλαισίου και ενός συνόλου εργαλείων λήψης αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, είναι απαραίτητο αυτές οι αποφάσεις να βασίζονται σε τεράστιες ποσότητες δυναμικών και στατικών δεδομένων για την ανάπτυξη μιας εφικτής λύσης για την έξυπνη μετάβαση.

Η έξυπνη μετάβαση, κατά συνέπεια, βασίζεται σε τεχνολογικές και διαχειριστικές επιλογές και εναλλακτικές λύσεις, αλλά περιορίζεται από οικονομικούς, ρυθμιστικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Στην Εικόνα 10 αποτυπώνονται τα στάδια λήψης αποφάσεων που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός σχεδίου μετασχηματισμού. Το πρώτο στάδιο είναι οι προκαταρκτικές αξιολογήσεις, ακολουθούμενες από τον καθορισμό στόχων, την αξιολόγηση πολιτικής, την εικονική/φυσική δημιουργία πρωτοτύπων και την οικονομική ανάλυση, όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα. Οι καθορισμένοι στόχοι θα πρέπει να ελέγχονται από έναν υπεύθυνο λήψης αποφάσεων σε κάθε στάδιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Ακόμα θα πρέπει να εξεταστούν οι μελέτες σκοπιμότητας και οι τεχνικές-οικονομικές αξιολογήσεις για να αναθεωρηθεί ανάλογα το σχέδιο μετασχηματισμού.



Εικόνα 10 Στρατηγικό πλαίσιο και πολλαπλά στάδια λήψης αποφάσεων για τη δημιουργία ενός έξυπνου σχεδίου μετασχηματισμού.

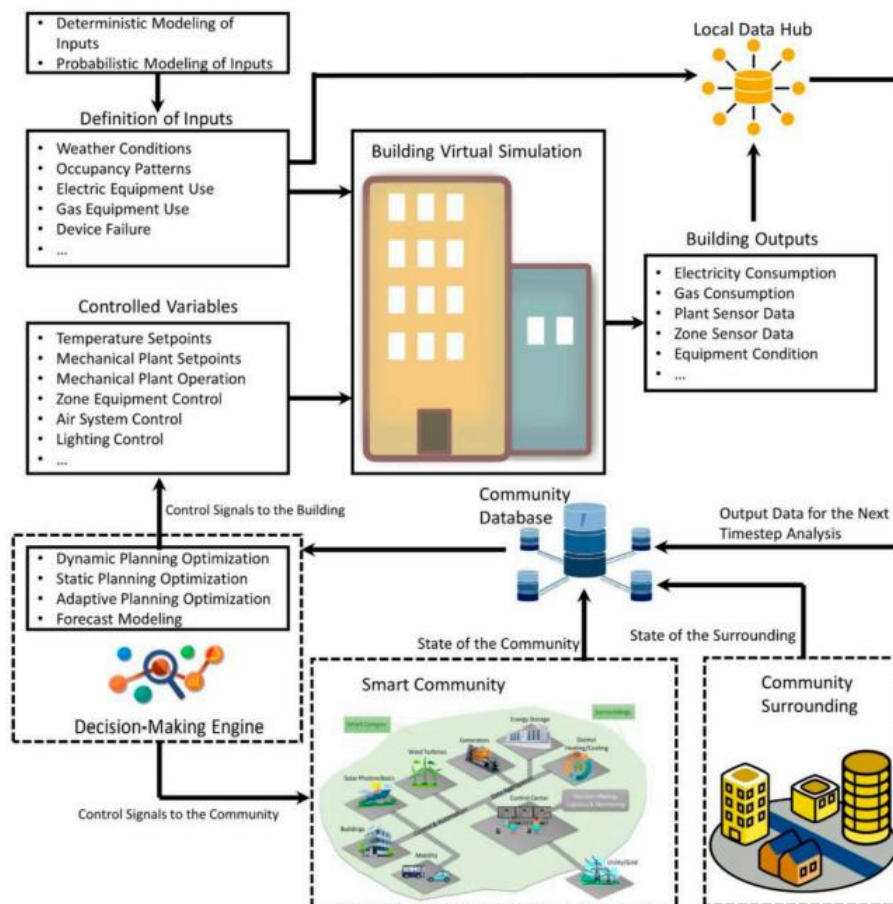
Οι έξυπνες κοινότητες είναι εξαιρετικά δυναμικά και πολύπλοκα συστήματα που εξελίσσονται συνεχώς και εμπλέκονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων εντός των ορίων της έξυπνης κοινότητας και με το περιβάλλον πέρα από τα όρια, όπου πολλοί παράγοντες έχουν αντίκτυπο πάνω του. Έχει πραγματοποιηθεί μια εικονική δημιουργία πρωτοτύπων για την επικύρωση και αξιολόγηση πριν από τις πραγματικές φάσεις και τις φυσικές υλοποιήσεις.

Στην δημιουργία αυτή πρωτοτύπων το εικονικό δοκιμαστικό κρεβάτι επιτρέπει τη προσομοίωση διαφόρων στοιχείων, όπως ενότητες που βασίζονται σε δεδομένα, ενότητες βελτιστοποίησης, προγράμματα προσομοίωσης και μαθηματικές ενότητες σε ένα περιβάλλον λογισμικού με τη βοήθεια υπολογιστή, το οποίο μπορεί να μοντελοποιήσει πληροφορίες και αλληλεπίδραση εντός των ορίων της έξυπνης κοινότητας αλλά και πέρα από αυτά για την αξιολόγηση διαφορετικών πλαισίων που επηρεάζουν έναν έξυπνο μετασχηματισμό. Αναπτύχθηκε έτσι ένα εικονικό πρωτότυπο για να την ανάλυση της δυναμικής και της συμπεριφοράς μιας έξυπνης κοινότητας.

Το εικονικό πρωτότυπο επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να πραγματοποιούν δυναμική μοντελοποίηση σχετικά με τη χρήση αναλυτικών εργαλείων σχετικά με τους στόχους και τα μέτρα απόδοσης μιας έξυπνης κοινότητας και τον αντίκτυπο της επένδυσης σε προηγμένες τεχνολογίες υπό διάφορα σενάρια και συνθήκες. Τα κτίρια αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της έξυπνης κοινότητας. Πιο συγκεκριμένα, τα κτίρια αντιπροσωπεύουν τα πιο πολύπλοκα συστήματα και τους κύριους καταναλωτές σε μια έξυπνη κοινότητα. Μέσω μιας ντετερμινιστική και πιθανολογική μοντελοποίηση εισροών αναλύθηκε η κατάσταση του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας έναν τοπικό κόμβο δεδομένων.

Ορίστηκαν οι είσοδοι, όπως οι καιρικές συνθήκες, τα πρότυπα πληρότητας, η χρήση ηλεκτρικού εξοπλισμού, η χρήση εξοπλισμού αερίου και η αστοχία συσκευής. Επιλέχθηκαν συγκεκριμένες ελεγχόμενες μεταβλητές όπως τα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας, τα σημεία ρύθμισης μηχανικής εγκατάστασης, η λειτουργία μηχανικής εγκατάστασης, ο έλεγχος εξοπλισμού ζώνης, ο έλεγχος συστήματος αέρα και έλεγχος φωτισμού. Επιπλέον, η μηχανή λήψης αποφάσεων, η οποία μεταφέρει τα σήματα στην έξυπνη κοινότητα, περιλαμβάνει δυναμική βελτιστοποίηση προγραμματισμού, στατική βελτιστοποίηση προγραμματισμού, προσαρμοστική βελτιστοποίηση προγραμματισμού και μοντελοποίηση προβλέψεων.

Επιπλέον, προσδιορίσαμε τις εξόδους του κτιρίου που θα μετρηθούν, δηλαδή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κατανάλωση αερίου, δεδομένα αισθητήρα εγκατάστασης, δεδομένα αισθητήρα ζώνης και κατάσταση εξοπλισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11. Επιπλέον, αναπτύχθηκε η μηχανή λήψης αποφάσεων της εικονικής δοκιμαστικής κλίνης με στόχο την απόκτηση της κατάστασης της έξυπνης κοινότητας. Αυτή η μηχανή λήψης αποφάσεων πραγματοποιεί βελτιστοποίηση προγραμματισμού, στατική βελτιστοποίηση προγραμματισμού, προσαρμοστική βελτιστοποίηση προγραμματισμού και μοντελοποίηση προβλέψεων.

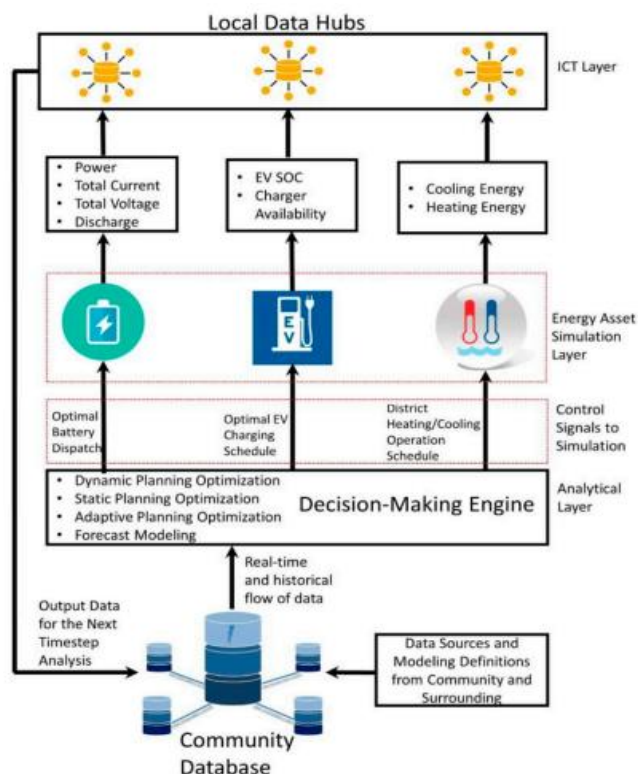


Εικόνα 11 Παράδειγμα ροών δεδομένων εισόδου/εξόδου για ένα κτίριο ως στοιχείο ενός συνδεδεμένου οικοσυστήματος

Επιπλέον, στοχεύει στη διασφάλιση της βέλτιστης αποστολής της μπαταρίας ελέγχοντας και αναλύοντας την ισχύ, το συνολικό ρεύμα, τη συνολική τάση, την εκφόρτιση, βέλτιστο χρονοδιάγραμμα φόρτισης EV αναλύοντας το SOC, το φορτιστή και τη διαθεσιμότητα του EV, καθώς και το πρόγραμμα λειτουργίας θέρμανσης-τοπικής ψύξης λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια ψύξης και θέρμανσης. Αυτοί οι τοπικοί κόμβοι δεδομένων αποτελούνται από ένα αναλυτικό επίπεδο, που παραδειγματίζεται από το επίπεδο απόφασης, τα σήματα ελέγχου για την προσομοίωση και το επίπεδο προσομοίωσης ενεργειακού στοιχείου (Εικόνα 12).

Τέλος με σκοπό να γίνει έλεγχος της πρόβλεψης σχεδιάστηκε ένα σενάρια περιπτώσεων για την πραγματοποίηση αξιολογήσεων τεχνικής σκοπιμότητας και τον προσδιορισμό των πρωτογενών προτάσεων αξίας της έξυπνης κοινότητας. Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση μιας μικρής κοινότητας σε μια εικονική βάση δοκιμών (περιβάλλον Lawrence Berkeley BCVTB)²¹ που περιλαμβάνει κεντρικά ελεγχόμενα και ενσωματωμένα ηλεκτρικά οχήματα, σταθμό ταχείας φόρτισης, ανεμογεννήτρια μικρής κλίμακας, ηλιακούς συλλέκτες, αποθήκευση μπαταριών και δύο κτίρια.

²¹ Το BCVTB είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης για την ανάπτυξη και τη δοκιμή αλγορίθμων, στρατηγικών και συστημάτων ελέγχου



Εικόνα 12 Παράδειγμα ροών δεδομένων εισόδου/εξόδου για τον έλεγχο κοινόχρηστων στοιχείων μιας έξυπνης κοινότητας.

Μέσω αυτής της προσομοίωσης, υπολογίστηκε η παραγωγή ενέργειας με χρήση πιθανής απώλειας φορτίων, η εισαγόμενη ισχύς από το δίκτυο, ο ρόλος της αποθήκευσης ενέργειας στην υποστήριξη της διαλείπουσας παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και η ζήτησης μεταφοράς, των κτιρίων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να παραχθούν πληροφορίες σχετικά με την πλεονάζουσα παραγωγή ενέργειας και συνεισφορά πόρων στο περιβάλλον, την ποιότητα του αέρα του δομημένου περιβάλλοντος, η εξοικονόμηση κόστους και η μείωση των εκπομπών άνθρακα. Οι τεχνικές αξιολογήσεις δείχνουν πώς τα πλαίσια βελτιστοποίησης και δεδομένων αυξάνουν την απόδοση μέσω γρήγορης απόκρισης, προγνωστικών αποφάσεων ως ένα δυναμικό ολοκληρωμένο σύστημα. Μια τέτοια προσομοίωση μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για το σχηματισμό νέων προβλέψεων και υποθέσεων.

Κεφάλαιο 6 – Μελέτη Περίπτωσης

6.1 Χρήση ΤΠΕ για βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης

Η οικονομική ανάπτυξη αυξάνει τη ζήτηση για ενέργεια. Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) έχουν προσδιοριστεί ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της ενεργειακής έντασης και στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της οικονομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Οι ΤΠΕ όχι μόνο θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και θα βοηθήσουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αλλά θα τονώσουν επίσης την ανάπτυξη μιας μεγάλης αγοράς αιχμής για τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης με δυνατότητα ΤΠΕ που θα ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και θα δημιουργήσουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Καθώς οι ΤΠΕ είναι σήμερα διάχυτες σε όλους τους βιομηχανικούς και επιχειρηματικούς τομείς, αναμένεται να έχουν βαθιές επιπτώσεις στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων του αύριο.

Αν και διατίθενται ευέλικτες στατιστικές πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας σε διαφορετικά κτίρια, εξακολουθεί να υπάρχει περιορισμένη κατανόηση σχετικά με τις δυνατότητες των ΤΠΕ να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Προκειμένου να τεθούν οι ΤΠΕ στον πυρήνα της προσπάθειας ενεργειακής απόδοσης και να καταστεί δυνατή η αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού τους, είναι απαραίτητο να ενθαρρυνθεί η έρευνα και ανάπτυξη (Ε&Α) σε νέες λύσεις που βασίζονται σε ΤΠΕ και να ενισχυθεί η υιοθέτησή τους — έτσι ώστε η ενεργειακή ένταση της οικονομίας μπορεί να μειωθεί περαιτέρω με την προσθήκη ευφυΐας σε εξαρτήματα, εξοπλισμό και υπηρεσίες.

Σε αυτό το Κεφάλαιο, διερευνώνται εργαλεία υποστήριξης της ενεργειακής απόδοσης με βάση τις ΤΠΕ στα λεγόμενα έξυπνα κτίρια. Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στις ΤΠΕ για έξυπνα κτίρια συζητείται με έμφαση στον ρόλο των ΤΠΕ και σε βασικούς θεμελιώδεις τομείς στους οποίους απαιτούνται προσπάθειες Ε&Α για να καταστεί δυνατή η ενεργειακή απόδοση στα μελλοντικά έξυπνα κτίρια. Έχουν εντοπιστεί πέντε βασικοί τομείς, όπως εργαλεία σχεδίασης και προσομοίωσης, διαλειτουργικότητα/πρότυπα, αυτοματισμός κτιρίων, έξυπνη μέτρηση και εργαλεία ευαισθητοποίησης των χρηστών, όπου υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης μέσω της χρήσης ΤΠΕ και θεωρούνται ως η επόμενη γενιά ΤΠΕ για μελλοντικές έξυπνες κτίρια. Ως παράδειγμα ενεργειακά αποδοτικής στέγασης, ο Φάρος που κατασκευάστηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο συζητείται λεπτομερώς μαζί με τις ολοκληρωμένες κτιριακές υπηρεσίες ΤΠΕ και δεδομένα επίδειξης χρήσης ενέργειας. Αυτό δίνει μια καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων των ΤΠΕ στην ενεργειακή απόδοση στα κτίρια. Το έγγραφο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για να επιτευχθεί η ενεργειακή απόδοση στα κτίρια, απαιτείται περαιτέρω υποστήριξη της διεπιστημονικής Ε&Α και της καινοτομίας που καταδεικνύουν τις δυνατότητες των λύσεων που βασίζονται στις

ΤΠΕ για την προώθηση και την επιτάχυνση της ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών λύσεων στα κτίρια

Οι ΤΠΕ μπορούν να επιτρέψουν βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης μειώνοντας την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την παροχή ενός δεδομένου προϊόντος ή υπηρεσίας:

- Με την παρακολούθηση και την άμεση διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, οι ΤΠΕ μπορούν να επιτρέψουν βελτιώσεις της απόδοσης σε σημαντικούς τομείς που καταναλώνουν ενέργεια.

- Παρέχοντας τα εργαλεία για πιο ενεργειακά αποδοτικά επιχειρηματικά μοντέλα, εργασιακές πρακτικές και τρόπους ζωής, όπως εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου, τηλεργασίας και ηλεκτρονικής διακυβέρνησης και προηγμένες τεχνολογίες συνεργασίας, οι ΤΠΕ μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση για ενέργεια και άλλους υλικούς πόρους.

- Με την παροχή καινοτόμων τεχνολογιών, οι ΤΠΕ μπορούν να μειώσουν τη σπατάλη ενέργειας (π.χ. ο φωτισμός στερεάς κατάστασης είναι ένα σαφές παράδειγμα). Αναδυόμενες λύσεις στον τομέα της πληροφορικής, όπως ο thin client (υπολογιστές χωρίς μονάδες σκληρού δίσκου βασίζονται κυρίως σε κεντρικούς διακομιστές για δραστηριότητες επεξεργασίας δεδομένων), οι τεχνολογίες υπολογισμού πλέγματος και εικονικοποίησης υπόσχονται να μειώσουν τις πλεονάζουσες ανάγκες που υπάρχουν στα σημερινά συστήματα που βασίζονται σε υπολογιστές.

6.2 Ανάπτυξη ΤΠΕ επόμενης γενιάς για έξυπνα κτήρια.

Πρόσφατες έρευνες σχετικά με τα ευφυή συστήματα διαχείρισης εντός κτιρίων, μεταξύ άλλων εφαρμογών ΤΠΕ, έχουν δείξει ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιώντας αυτές τις τεχνολογίες (EPIS, 2007). Η χρήση αυτών των ευφυών συστημάτων στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να βελτιώσει τον έλεγχο και τη διαχείριση του HVAC και άλλων συσκευών που απαιτούν ενέργεια. Η εφαρμογή νέων λύσεων ΤΠΕ για συστήματα ελέγχου και αυτοματισμούς κτιρίων έχει αντίκτυπο στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο νοικοκυριών και πολύ περισσότερο σε επίπεδο δημόσιας ιδιοκτησίας κτιρίων τα οποία διαχειρίζονται επαγγελματικά. Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων επιτρέπουν την ολοκληρωμένη αλληλεπίδραση ενός αριθμού τεχνολογικών στοιχείων όπως HVAC, φωτισμό, εξοπλισμό ασφαλείας. Οι εξελίξεις στις νανοτεχνολογίες, τους αισθητήρες, τις ασύρματες επικοινωνίες και την επεξεργασία δεδομένων επιτρέπουν την ενσωμάτωση της νοημοσύνης του περιβάλλοντος στο κτίριο, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Η έκθεση της ομάδας έξυπνων κτιρίων (Heras and Zarli, 2008) προσδιορίζει πέντε τομείς όπου υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης μέσω της χρήσης των ΤΠΕ.

Πρώτος τομέας είναι αυτός που αφορά τα εργαλεία σχεδίασης και προσομοίωσης. Η ενσωμάτωση ολόκληρου του κύκλου ζωής των κτιρίων σε μια ολιστική προσέγγιση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι βασική απαίτηση από τα ενδιαφερόμενα μέρη (Ye et al. 2008). Η χρήση μοντέλων πληροφοριών κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων ενεργειακών προσομοιώσεων σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, θα έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη σημαντικών βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων παρέχοντας οθόνες και αισθητήρες σε όλη την έκταση που μπορούν να συνεισφέρουν στην ακριβέστερη μέτρηση της χρήσης, της κατάστασης του συστήματος και των συνθηκών εξοπλισμού καθώς και πληροφορίες τιμών, δυναμική απόκριση τιμολογίων και ζήτησης και επιτρέποντας πιο ενεργειακά αποδοτικές επιλογές πελατών, υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας και πιο ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση από την πλευρά της ζήτησης.

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη τόνισαν ότι οι σχεδιαστές μπορούν να επιτύχουν σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου εάν εφαρμόσουν εργαλεία ΤΠΕ για τον σχεδιασμό κτιρίων που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας, για παράδειγμα προσομοίωση και βελτιστοποίηση μέτρων περιβλήματος και τεχνικών παθητικής ηλιακής θέρμανσης. Σε μέτρια-ψυχρά κλίματα, όπως αυτά της κεντρικής Ευρώπης, οι ειδικές ανάγκες θέρμανσης μπορούν να μειωθούν από πάνω από 200 kWh/m²/έτος σε λιγότερο από 15 kWh/m²/έτος (WWE, 2008). Αν και ο αντίκτυπός του είναι υψηλότερος στις νέες εξελίξεις, τα εργαλεία σχεδιασμού και προσομοίωσης καθίστανται ουσιαστικό στοιχείο στις εργασίες ανακαίνισης υφιστάμενων κτιρίων, καθώς επιτρέπουν την αξιολόγηση των διαφορετικών λύσεων προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη λύση για τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου.

Ένας δεύτερος τομέας είναι αυτός της διαλειτουργικότητας και των προτύπων. Τα περισσότερα συστήματα ελέγχου κτιρίων σήμερα βασίζονται σε τοπικούς μικροεπεξεργαστές με ενσύρματους αισθητήρες που ελέγχουν μεμονωμένες λειτουργίες. Δεν είναι ασυνήθιστο να υπάρχουν ξεχωριστοί ελεγκτές για θέρμανση και ψύξη κλιματισμού. Υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για απόδοση, αλλά οι περισσότερες χάνονται λόγω έλλειψης συμβατότητας. Η καταλληλότερη λύση θα ήταν ένα ενιαίο σύστημα ελέγχου, που θα διέπει όλες τις εφαρμογές HVAC, φωτισμού και άλλες ηλεκτρικές εφαρμογές, καθώς και σχετικά υποσυστήματα εγκατεστημένα σε ένα κτίριο.

Το κύριο εμπόδιο σε αυτή τη λογική λύση είναι το γεγονός ότι τα διαφορετικά υποσυστήματα κατασκευάζονται και συχνά εγκαθίστανται και λειτουργούν ακόμη και από διαφορετικές εταιρείες. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη ενός συστήματος ΤΠΕ, οι λειτουργίες αναβάθμισης θα είναι δύσκολες καθώς εξακολουθεί να υπάρχει ανεπαρκής ανάπτυξη τυποποίησης για τις διεπαφές και την επικοινωνία, ακόμη και μεταξύ των αισθητήρων και των ενεργοποιητών.

Ακόμα είναι ο τομέας του κτιριακού αυτοματισμού, ο οποίος θεωρείται κυρίως ως βελτίωση της ποιότητας ζωής (π.χ. πιο άνετα και έξυπνα σπίτια)τα ΤΠΕ έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην ενεργειακή απόδοση μέσω της χρήσης βελτιωμένων συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης που βασίζονται σε έξυπνες συσκευές και δίκτυα επικοινωνίας. Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων αποσκοπούν στη βελτίωση της ποιότητας των συνθηκών άνεσης, υγείας και ασφάλειας των εσωτερικών περιβαλλόντων με αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο.

Σε αντίθεση με τα μέτρα παθητικής ενεργειακής απόδοσης (π.χ. μόνωση) και τις συμβατικές τεχνολογίες θέρμανσης/ψύξης, τα συστήματα ελέγχου κτιρίων έχουν εισαχθεί για να διασφαλιστεί η ολοκληρωμένη αλληλεπίδραση ενός πολύ ευρύτερου φάσματος τεχνολογικών στοιχείων (HVAC, φωτισμός, εξοπλισμός, ασφάλειας ζωής, αρχιτεκτονική) και των ανθρώπων που ζουν/εργάζονται σε αυτά προκειμένου να επηρεάσουν το εσωτερικό περιβάλλον. Πρόσφατα οι εξελίξεις στη νανοτεχνολογία (π.χ. παράθυρα, επιφάνειες), στην τεχνολογία αισθητήρων/ενεργοποιητών, στην τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών και στην επεξεργασία και έλεγχο δεδομένων επέτρεψαν την ενσωμάτωση της νοημοσύνης του περιβάλλοντος σε κτίρια.

Ένας τέταρτος τομέας είναι η έξυπνη μέτρηση, η οποία επιτρέπει την ακριβέστερη μέτρηση της κατανάλωσης μέσω της χρήσης προηγμένων μετρητών που συνδέονται με μια κεντρική μονάδα μέσω ενός δικτύου επικοινωνιών, βελτιώνοντας τη συλλογή δεδομένων για σκοπούς χρέωσης. Τα οφέλη της έξυπνης μέτρησης εξετάστηκαν λεπτομερώς στην έκθεση δικτύων. Η έξυπνη μέτρηση παρέχει πληροφορίες για τα πρότυπα κατανάλωσης συμβάλλοντας σε πιο βιώσιμη κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας.

Ένας έξυπνος μετρητής προσδιορίζει την κατανάλωση με μεγαλύτερη λεπτομέρεια από έναν συμβατικό μετρητή και μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες μέσω του δικτύου πίσω στο τοπικό βοηθητικό πρόγραμμα για σκοπούς παρακολούθησης και χρέωσης. Η χρήση έξυπνων μετρητών για σκοπούς συλλογής δεδομένων και τιμολόγησης δεν αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητές τους. Στην πραγματικότητα οι έξυπνοι μετρητές κλείνουν το κενό πληροφοριών για την κατανόηση του προτύπου χρήσης ενέργειας και την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών μηχανισμών ελέγχου. Προσφέρουν στους πελάτες (τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και του φυσικού αερίου) αρκετά πλεονεκτήματα όπως:

- 1) Πιο ακριβείς λογαριασμοί (δηλαδή αποφυγή λογαριασμών βάσει εκτιμώμενης χρήσης).
- 2) Πληροφορίες που θα μπορούσαν να τους βοηθήσουν να χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και να ενθαρρύνουν τις επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση.
- 3) Χαμηλότερο κόστος μέσω μειωμένης κατανάλωσης αιχμής, διότι αυτό θα μείωνε την ανάγκη για νέες επενδύσεις στο δίκτυο.

4) Αυξημένη ασφάλεια του εφοδιασμού επειδή χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια.

5) Περισσότερη βιώσιμη κατανάλωση μέσω μειωμένων εκπομπών άνθρακα.

Ένας τελευταίος τομέας είναι αυτός που αφορά εργαλεία ευαισθητοποίησης των χρηστών. Η παροχή διαισθητικής ανατροφοδότησης στους χρήστες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο έχει σημαντικές δυνατότητες αλλαγής της συμπεριφοράς στη χρήση ενεργόβωρων συστημάτων. Διαφορετικές μελέτες έχουν δείξει ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί μείωση κατά 5-15% της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της εφαρμογής του συγκεκριμένου μέτρου (Darby, 2006). Παράλληλα υπάρχει ανάγκη να εξασφαλιστεί η αποδοχή των ενσωματωμένων συστημάτων και άλλων λύσεων που βασίζονται σε ΤΠΕ στο σπίτι μέσω της χρήσης ανθρωποκεντρικών γραφικών διεπαφών για διαφορετικά προφίλ χρηστών (ηλικία, πολιτισμικό επίπεδο, κ.λπ.).

6.3 Ενεργειακή απόδοση σπιτιού: Ο Φάρος

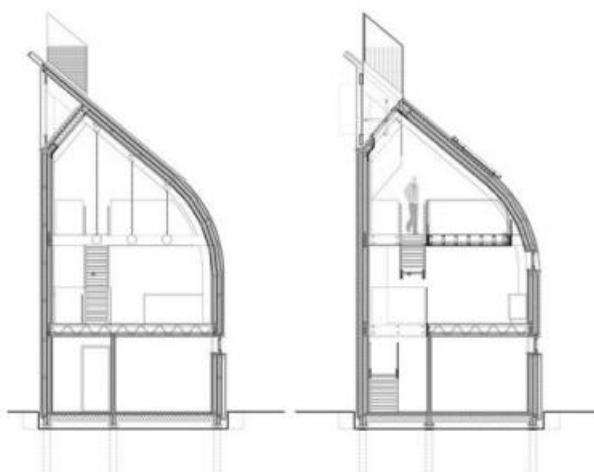
Ο Φάρος είναι ο πρώτος καθαρός οίκος μηδενικού άνθρακα του Ηνωμένου Βασιλείου που πληροί επίσης τον Κώδικα Επίπεδο 6 (το υψηλότερο επίπεδο) του Κώδικα για Αειφόρα Σπίτια (CSH, 2006). Σχεδιάστηκε για να παρέχει έναν τρόπο ζωής που ενθαρρύνει τρόπους ζωής που είναι εγγενώς «ελαφροί» για τους παγκόσμιους πόρους, εξισορροπώντας έτσι τις πρακτικές απαιτήσεις των ιδιοκτητών σπιτιού δίνοντας ουσιαστικά μια απάντηση στην αναμενόμενη κλιματική αλλαγή στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του σπιτιού απέδειξε ότι ένα σπίτι χωρίς άνθρακα είναι εφικτό, αλλά φέρει την ευθύνη τόσο στις τεχνολογίες (π.χ. ΤΠΕ και υλικά) όσο και στον χρήστη του. Είναι μια ζωντανή εμπειρία που βασίζεται στην προσαρμογή του τρόπου ζωής του ενοίκου.

Ο πυρήνας της σχεδιαστικής ιδέας για τον Φάρο, το πρωτότυπο του οποίου είναι 93 m², δυόμισι ορόφων, δύο υπνοδωματίων, είναι η φιλοδοξία να δημιουργηθούν ελκυστικά σπίτια. μέρη όπου τα περιβαλλοντικά συστήματα και οι μέθοδοι κατασκευής δεν θέτουν σε κίνδυνο την ποιότητα της ζωής των επιβατών, αλλά προσθέτουν σε αυτήν - προσαρμόσιμους, ευέλικτους χώρους που έχουν σχεδιαστεί για σύγχρονη ζωή, ενσωματώνοντας διαισθητικά τη βιωσιμότητα. Έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με το Lifetime Homes (LTH, 2004) και τα Πρότυπα Ανάπτυξης Σχεδίου (SDS, 2003). Η εικόνα 13 απεικονίζει το περίγραμμα του Φάρου.



Εικόνα 13: Περίγραμμα του Φάρου

Η δομή του Φάρου είναι μια απλή μορφή σαν αχυρώνα, που προέρχεται από μια στέγη 40 μοιρών που φιλοξενεί μια φωτοβολταϊκή συστοιχία (όπως φαίνεται στην εικόνα 14). Η οροφή περιβάλλει τον κεντρικό χώρο – ένας ενιαίος χώρος διαβίωσης με φωτισμό, διπλού ύψους, με χώρο ύπνου στο επίπεδο του εδάφους. Ο χώρος διαβίωσης χρησιμοποιεί μια ξύλινη δομή πύλης, ώστε τα δάπεδα να μπορούν να διαχωριστούν σε πλαίσια ή να αφεθούν ανοιχτά όπως απαιτείται.



Εικόνα 14: Δομή του Φάρου

Η σταθερότητα επιτυγχάνεται μέσω των στιγμιαίων συνδέσεων στο επίπεδο του πρώτου ορόφου και της οροφής. Στο επίπεδο του εδάφους, μια δομική διάταξη ξύλινου πλαισίου μεταφέρει τα κατακόρυφα φορτία των άνω πλαισίων ανοιχτής κάτοψης και παρέχει σταθερότητα στους διατμητικούς τοίχους. Είναι κατασκευασμένο χρησιμοποιώντας το Kingspan Off-Site's TEK Building System (TEK, 2009), ένα υψηλής απόδοσης δομικά μονωμένο σύστημα βασισμένο σε πάνελ το οποίο, για το Lighthouse, θα παρέχει υψηλό επίπεδο θερμομόνωσης και απόδοσης – τιμές $U 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ και αεροστεγανότητα μικρότερη από $1,0 \text{ m}^3/\text{hr/m}^2$ στα 50 Pa - μειώνοντας

πιθανώς την απώλεια θερμότητας κατά τα δύο τρίτα ενός τυπικού σπιτιού. Τα θεμέλια αποτελούνται από κασέτες δαπέδου ξυλείας εκτός έδρας σε μια δακτυλιοειδή δοκό από ξύλινες δοκούς που υποστηρίζονται από το επίπεδο του εδάφους με βιδωτές γρήγορες κεφαλές πασσάλων. Οι σωροί παρέχουν ελάχιστη ενόχληση στο έδαφος και παρέχουν κατάλληλα στηρίγματα για κατοικίες οικιακής κλίμακας. Όταν το κτίριο φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του, το γρήγορο σημείο στήριξης θεμελίωσης μπορεί να αφαιρεθεί.

6.3.1 Ολοκληρωμένες κτιριακές υπηρεσίες ΤΠΕ

Οι ΤΠΕ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενσωμάτωση υπηρεσιών κτιρίου στον Φάρο. Το έξυπνο σύστημα μέτρησης και διαχείρισης ενέργειας με δυνατότητα ΤΠΕ θα καταγράφει την κατανάλωση ενέργειας και θα δίνει τη δυνατότητα στους επιβάτες να αναγνωρίζουν εάν υπάρχει σπατάλη, συμβάλλοντας στην προώθηση πιο περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένου τρόπου ζωής. Οι ΤΠΕ θα μπορούσαν όχι μόνο να καταστήσουν αποτελεσματικότερη τη διαχείριση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέσω της ενσωμάτωσής της με τις ΤΠΕ, η ανανεώσιμη ενέργεια παρέχεται από λέβητα βιομάζας με αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας για θέρμανση, ενσωματωμένο φωτοβολταϊκό ηλεκτρισμό και ηλιακή-θερμική συστοιχία, η οποία παρέχει ζεστό νερό και επιτρέπει στον λέβητα να απενεργοποιείται και να τίθεται σε λειτουργία το καλοκαίρι.

Από την άλλη να απενεργοποιείται την άνοιξη και το φθινόπωρο, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Αυτά τα χαρακτηριστικά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν μειώσει το κόστος ενεργειακών καυσίμων για τη θέρμανση χώρου και νερού στο Φάρο σε περίπου £30 ετησίως και, καθώς όλη η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται μέσω ηλιακών τεχνολογιών, το κόστος λειτουργίας ηλεκτρικής ενέργειας εξαλείφεται εντελώς. Το συνολικό κόστος του καυσίμου έχει μειωθεί κατά περίπου 94% (χωρίς τις τυπικές χρεώσεις). Ο Φάρος περιλαμβάνει επίσης μηχανικό εξαερισμό με ανάκτηση θερμότητας (MVHR), καθώς και ανεμοσυλλέκτη τοποθετημένο στην οροφή, που παρέχει ασφαλή νυχτερινό αερισμό για παθητική ψύξη, σε συνδυασμό με σανίδες θερμικής μάζας στις οροφές και εξωτερική σκίαση. Αυτό βοηθά στον έλεγχο της θερμοκρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος, βελτιώνοντας την άνεση των ενοίκων και διατηρώντας το σπίτι δροσερό τους καλοκαιρινούς μήνες.

Κεφάλαιο 7 – Πληροφοριακό Σύστημα σε Java για Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων

Στην ενότητα αυτή έχουμε υλοποιήσει μια πλήρη εφαρμογή σε java στο περιβάλλον IntelliJ Idea που αφορά τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια. Περιγράφουμε αναλυτικά τις κλάσεις που έχουμε χρησιμοποιήσει και παραθέτουμε παραδείγματα από την εκτέλεση του κώδικα.

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ο κώδικας μας πληροί όλες τις αρχές της αντικειμενοστραφούς προσέγγισης και δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην κληρονομικότητα καθώς έτσι μπορούμε να εξειδικεύουμε κλάσεις με νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες και παράλληλα να χρησιμοποιούμε ίδιο κώδικα εξοικονομώντας πολλές γραμμές κώδικα για να περιγράψουμε ταυτόσημες λειτουργίες που υλοποιούνται σε παραγόμενες κλάσεις.

Εκτός από την αρχή της κληρονομικότητας εφαρμόζουμε και την αρχή του πολυμορφισμού καθώς οι μέθοδοι κλάσεων εξειδικεύονται στη λειτουργία τους στις παραγόμενες κλάσεις. Επίσης εφαρμόζουμε και την αρχή της απόκρυψης πληροφορίας καθώς τα μέλη των κλάσεων δηλώνονται ως ιδιωτικά.

Στο τέλος έχουμε υλοποιήσει και μια μέθοδο `main` στην οποία δηλώνουμε στιγμιότυπα από όλες τις κλάσεις και καλούμε τις μεθόδους τους για να ελέγξουμε τη λειτουργία τους. Επίσης στις περισσότερες κλάσεις εφαρμόζουμε διαχείριση εξαιρέσεων προκειμένου να αντιμετωπίζουμε σφάλματα κατά την εκτέλεση του κώδικα μας που έχουν να κάνουν με την εισαγωγή λανθασμένων δεδομένων από την πλευρά του χρήστη. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στο τέλος του `main` έχουμε υλοποιήσει και διαχείριση αρχείων. Πιο συγκεκριμένα έχουμε χρησιμοποιήσει 3 διαφορετικά αρχεία: `study_room.txt` `public_facility.txt` στα οποία κάνουμε και καταχώριση αλλά και ανάγνωση εγγραφών από αυτά. Ο λόγος είναι αποθηκεύοντας όλα τα αποτελέσματα σε αρχεία μπορούμε στο τέλος να υπολογίσουμε και στατιστικά στοιχεία. Στον κώδικα που ακολουθεί παραθέτουμε αρκετά στατιστική στοιχεία όπως και παραδείγματα από την εκτέλεση του

Ακολουθώς περιγράφουμε αναλυτικά όλες τις κλάσεις που έχουμε χρησιμοποιήσει στην εφαρμογή μας και περιγράφουμε τις βασικές μεθόδους τους

Κλάση AirConditioner

Στην κλάση αυτή περιγράφεται ένα κλιματιστικό αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας

Μέλη:

```
private double coolingCapacity; //Η χωρητικότητα του κλιματιστικού σε Watt  
private double energyConsumption; //Η κατανάλωση ενέργειας του κλιματιστικού σε Watt  
private double operatingHours; //Ο αριθμός των ωρών που θα λειτουργήσει το κλιματιστικό
```

Βασικές Μέθοδοι:

```
public AirConditioner(double coolingCapacity, double energyConsumption) //δημιουργός  
αρχικοποίησης της κλάσης AirConditioner  
{  
    try  
    {  
        if (coolingCapacity <= 0 || energyConsumption <= 0) //έλεγχος ορθότητας δεδομένων  
σε μηχανισμό try..catch για τη χωρητικότητα του και την κατανάλωση του  
        {  
            throw new IllegalArgumentException("Η ψυκτική ικανότητα και η κατανάλωση  
ενέργειας πρέπει να είναι θετικές τιμές."); //εμφάνιση διαγνωστικών μηνυμάτων σχετικά με  
τα λανθασμένα δεδομένα που εισήχθηκαν  
        }  
        this.coolingCapacity = coolingCapacity;  
        this.energyConsumption = energyConsumption;  
    }  
    catch (IllegalArgumentException e)  
    {  
        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage()); //εμφάνιση μηνύματος αν  
συμβεί σφάλμα  
    }  
}  
  
public double calculateEnergyConsumption() //Μέθοδος που υπολογίζει τη συνολική  
κατανάλωση ενέργειας  
{  
    if (operatingHours < 0) //έλεγχος ορθότητας για ώρες λειτουργίας κλιματιστικού
```

```

    {
        throw new IllegalArgumentException("Οι ώρες λειτουργίας δεν μπορούν να είναι αρνητικές.");
    }
    return energyConsumption * operatingHours;
}
}

```

Κλάση HeatingSystem

Η κλάση αυτή περιγράφει το σύστημα θέρμανσης αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας

```
class HeatingSystem
```

Μέλη:

```

private double heatingCapacity; //Η χωρητικότητα θέρμανσης του συστήματος θέρμανσης σε Watt
private double energyConsumption; //Η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος θέρμανσης σε Watt
private double operatingHours; //Ο αριθμός των ωρών που το σύστημα θέρμανσης θα λειτουργήσει

```

Βασικές Μέθοδοι:

```
public HeatingSystem(double heatingCapacity, double energyConsumption) //δημιουργός
αρχικοποίησης του συστήματος θέρμανσης
```

```

{
    try
    {
        if (heatingCapacity <= 0 || energyConsumption <= 0) //εδώ πραγματοποιείται διπλός
έλεγχος στα δεδομένα εισόδου εξετάζοντας και τη χωρητικότητα θέρμανσης και την κατανάλωση
ενέργειας
        {
            throw new IllegalArgumentException("Η ικανότητα θέρμανσης και η κατανάλωση
ενέργειας πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
        }
        this.heatingCapacity = heatingCapacity;
        this.energyConsumption = energyConsumption;
    }
    catch (IllegalArgumentException e)
    {

```

```

        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
    }

    public double calculateEnergyConsumption() //Η μέθοδος αυτή υπολογίζει τη συνολική
κατανάλωση ενέργειας
    {
        return energyConsumption * operatingHours;
    }
}

```

Κλάση Vehicle

Η κλάση αυτή περιγράφει ένα τροχοφόρο αναφορικά με την κατανάλωση του

Μέλη:

```

private int km; //Τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει το όχημα
private double kmConsumption; //Η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος ανά χιλιόμετρο
private double vehicleEnergy; //Η συνολική ενέργεια του οχήματος

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public Vehicle(int km, double kmConsumption) //δημιουργός για την κλάση Vehicle
{
    try
    {
        if (km<0 || kmConsumption<=0) //έλεγχος ορθότητας δεδομένων σε μηχανισμό try..catch
για τα χιλιόμετρα του οχήματος και την κατανάλωση του
        {
            throw new IllegalArgumentException("Τα χιλιόμετρα και η κατανάλωση πρέπει
να είναι θετικές τιμές.");
        }

        this.km = km;
        this.kmConsumption = kmConsumption;
        this.vehicleEnergy = km * kmConsumption;
    }
    catch (IllegalArgumentException e)
    {
        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
    }
}

```

@Override

```
public String toString() //υπέρβαση μεθόδου στην παραγόμενη
{
    return "Χιλιόμετρα=" + km + ", Κατανάλωση/χιλιόμετρο=" + kmConsumption + ", Ενέργεια: "
+ vehicleEnergy;
}
}
```

Κλάση StudyRoom

Η κλάση αυτή περιγράφει μια αίθουσα διδασκαλίας αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει

Μέλη:

```
private int seats; //Ο αριθμός των θέσεων της αίθουσας διδασκαλίας
private int area; //Η επιφάνεια της αίθουσας διδασκαλίας
private String description; //Η περιγραφή της αίθουσας διδασκαλίας
private double studyRoomEnergy; //Η συνολική ενέργεια της αίθουσας διδασκαλίας
```

Βασικές Μέθοδοι:

```
public StudyRoom(int seats, int area, String description)
{
    try
    {
        if (seats <= 0 || area <= 0) //έλεγχος ορθότητας για αριθμό θέσεων και εμβαδόν της
αίθουσας διδασκαλίας
        {
            throw new IllegalArgumentException("Ο αριθμός των θέσεων και η επιφάνεια
πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
        }

        this.seats = seats;
        this.area = area;
        this.description = description;
        this.studyRoomEnergy = area * 2.5 + seats * 1.2; //Υπολογισμός συνολικής ενέργειας
        System.out.println("Ενέργεια Αίθουσας Μελέτης = " + studyRoomEnergy);
    }
}
```

```

    }
    catch (IllegalArgumentException e)
    {
        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
    }
}

@Override
public String toString() //υπέρβαση μεθόδου toString στην παραγόμενη κλάση StudyRoom
{
    return "Περιγραφή: " + description + ", Θέσεις: " + seats + ", Επιφάνεια: " + area + ",
Ενέργεια: " + studyRoomEnergy;
}

```

Κλάση PublicFacility

Η κλάση αυτή περιγράφει μια δημόσια εγκατάσταση π.χ. ένα δημόσιο κτίριο, οργανισμό κ.λ.π. αναφορικά με την ενέργεια που καταναλώνει

Μέλη:

```

private int pubFacilityArea; //Η περιοχή (κωδικός περιοχής) που βρίσκεται η δημόσια εγκατάσταση
π.χ. το δημόσιο κτίριο
private String pubFacilityDescription; //Η περιγραφή της δημόσιας εγκατάστασης
private int floors; //Οι όροφοι που περιλαμβάνει ένα δημόσιο κτίριο
private double totalFacilityEnergy; //Η συνολική ενέργεια που καταναλώνει η δημόσια εγκατάσταση

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public PublicFacility(int facilityArea, String facilityDescription, int floors) //δημιουργός
αρχικοποίησης των μελών της κλάσης PublicFacility
{
    try

        if (facilityArea <= 0 || floors <= 0) //έλεγχος ορθότητας δεδομένων σε μηχανισμό try..catch
για το εμβαδόν του χώρου του και τους ορόφους του
        {
            throw new IllegalArgumentException("Η περιοχή και οι όροφοι πρέπει να είναι
θετικές τιμές.");
        }
    }
}

```

```

    }

    this.pubFacilityArea = facilityArea;
    this.pubFacilityDescription = facilityDescription;
    this.floors = floors;
    this.totalFacilityEnergy = facilityArea * 3.2 * floors; //Υπολογισμός συνολικής
ενέργειας

    System.out.println("Ενέργεια Δημόσιας Εγκατάστασης = " + totalFacilityEnergy);
}

catch (IllegalArgumentException e)
{
    System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
}
}

@Override
public String toString()
{
    return "Περιγραφή: " + pubFacilityDescription + ", Περιοχή: " + pubFacilityArea + ",
Όροφοι: " + floors + ", Ενέργεια: " + totalFacilityEnergy;
}

```

Κλάση EnergyMicroservice

Η κλάση αυτή περιγράφει μικρουπηρεσία για κατανάλωση ενέργειας

Μέλη:

```

private double windEnergyData; //Δεδομένα για την αιολική ενέργεια
private double solarEnergyData; //Δεδομένα για την ηλιακή ενέργεια
private double waterEnergyData; //Δεδομένα για την ενέργεια από νερό
private String weather; //Πληροφορίες για τον καιρό

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public EnergyMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather) //δημιουργός αρχικοποίησης των μελών της κλάσης
{
    this.windEnergyData = windEnergyData;
    this.solarEnergyData = solarEnergyData;
}

```



```

    this.waterEnergyData = waterEnergyData;
    this.weather = weather;
}

```

Κλάση LightMicroservice

Η κλάση αυτή περιγράφει μικρουπηρεσία για κατανάλωση φωτός

Μέλη:

```

private double hourlyConsumption; //Κατανάλωση ανά ώρα
private int lightsNum; //Αριθμός των φώτων
private int hours; //Πλήθος ωρών λειτουργίας για τα φώτα
private double totalLightsEnergy; //Συνολική ενέργεια που καταναλώνουν τα φώτα

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public LightMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, int lightsNum, String weather, int hours) //δημιουργός αρχικοποίησης μελών
κλάσης
{
    super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather);
    this.hourlyConsumption = 2;
    this.lightsNum = lightsNum;
    this.hours = hours;
    this.totalLightsEnergy = lightsNum * hours * hourlyConsumption; //Υπολογισμός κατανάλωσης
συνολικής ενέργειας φώτων
    System.out.println("Συνολική Ενέργεια Φώτων = " + totalLightsEnergy);
}

```

Κλάση WaterMicroservice

Η κλάση αυτή περιγράφει μικρουπηρεσία για κατανάλωση νερού κληρονομεί την κλάση EnergyMicroservice

Μέλη:

```

private double waterConsumption; //Η κατανάλωση νερού

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public WaterMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double

```

```

waterEnergyData, String weather, double waterConsumption)
{
    super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather); //καλείται ο δημιουργός της υπερκλάσης EnergyMicroservice για να κατασκευάσει ένα στιγμιότυπο σε αυτή από το οποίο κληρονομείται το στιγμιότυπο της WaterMicroservice
    this.waterConsumption = waterConsumption;
    System.out.println("Κατανάλωση Νερού = " + waterConsumption);
}

```

Κλάση HVACSystem

Η κλάση αυτή περιγράφει το σύστημα καθαρισμού αέρα.

Μέλη:

```

private double area; //Εμβαδόν του χώρου
private double temperature; //Θερμοκρασία του χώρου
private double efficiency; //Απόδοση του συστήματος
private double energyConsumption; //Κατανάλωση ενέργειας

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public HVACSystem(double area, double temperature, double efficiency)
{
    if (area <= 0 || temperature <= 0 || efficiency <= 0) //έλεγχος εγκυρότητας τιμών εισόδου για εμβαδόν, θερμοκρασία και αποδοτικότητα συστήματος
    {
        throw new IllegalArgumentException("Το εμβαδόν, η θερμοκρασία και η απόδοση πρέπει να είναι θετικές");
    }
    this.area = area;
    this.temperature = temperature;
    this.efficiency = efficiency;
    this.energyConsumption = area * temperature * efficiency;
    System.out.println("Κατανάλωση ενέργειας HVAC = " + energyConsumption);
}

```

Κλάση BuildingEnergyMicroservice

Στην κλάση αυτή περιγράφεται μια μικρουπηρεσία για κατανάλωση ενέργειας σε κτίριο και είναι κληρονομούμενη της κλάσης EnergyMicroservice.

Μέλη:

```
private double totalEnergy; //Συνολική ενέργεια του κτιρίου
private List<StudyRoom> studyRooms; //ArrayList με δωμάτια διδασκαλίας στο κτίριο
private List<PublicFacility> publicFacilities; //ArrayList με δημόσιες εγκαταστάσεις στο κτίριο
private WaterMicroservice waterService; //Υπηρεσία Κατανάλωσης Νερού για το κτίριο
private HVACSystem hvacSystem; //Σύστημα HVAC καθαρισμού αέρα για το κτίριο
```

Βασικές Μέθοδοι:

```
public BuildingEnergyMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather) //Κατασκευαστής που αρχικοποιεί τις ιδιότητες της κλάσης
{
    super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather); //καλείται ο δημιουργός
της υπερκλάσης EnergyMicroservice για να κατασκευάσει ένα στιγμιότυπο σε αυτή από το οποίο
κληρονομείται το στιγμιότυπο της BuildingEnergyMicroservice
    this.totalEnergy = 0;
    this.studyRooms = new ArrayList<>(); //δημιουργία κενής λίστας δωματίων διδασκαλίας
    this.publicFacilities = new ArrayList<>(); //δημιουργία κενής λίστας δημόσιες εγκαταστάσεις
}
//Προσθήκη δωματίου διδασκαλίας στο ArrayList
public void addStudyRoom(StudyRoom studyRoom)
{
    this.studyRooms.add(studyRoom);
}
//Προσθήκη δημόσιας εγκατάστασης στο ArrayList
public void addPublicFacility(PublicFacility publicFacility)
{
    this.publicFacilities.add(publicFacility);
}
//Ορισμός υπηρεσίας νερού
public void setWaterService(WaterMicroservice waterService)
{

```

```

        this.waterService = waterService;
    }

    //Ορισμός συστήματος HVAC για καθαρισμό αέρα κτιρίου
    public void setHvacSystem(HVACSystem hvacSystem)
    {
        this.hvacSystem = hvacSystem;
    }

    @Override
    public String toString() //υπερβαση μεθόδου toString() στην παραγόμενη κλάση
    BuildingEnergyMicroservice
    {
        return "Total Energy: " + totalEnergy + "\n Study Rooms: " + studyRooms + "\n Public
        Facilities: " + publicFacilities + "\n Water Service: " + waterService + "\n HVAC System: " +
        hvacSystem;
    }

```

Κλάση SolarMicroservice

Η κλάση αυτή είναι η μικροπηρεσία που ελέγχει τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε κτίριο και είναι κληρονομούμενη της κλάσης EnergyMicroservice.

Μέλη:

```

private double solarPanelEfficiency; //Αποδοτικότητα φωτοβολταϊκού πάνελ
private int solarPanelArea; //Εμβαδόν επιφάνειας φωτοβολταϊκού πάνελ
private double totalSolarEnergy; //Συνολική ενέργεια κατανάλωσης φωτοβολταϊκού πάνελ

```

Βασικές Μέθοδοι

```

public SolarMicroservice (double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather, double solarPanelEfficiency, int solarPanelArea)
//Κατασκευαστής για αρχικοποίηση των μελών της κλάσης SolarMicroservice
{
    super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather); //καλείται ο δημιουργός
    της υπερκλάσης EnergyMicroservice και κατασκευάζει ένα ανώνυμο στιγμιότυπο στην κλάση
    SolarMicroservice από το οποίο κληρονομείται το στιγμιότυπο της κλάσης SolarMicroservice

```

```

if (solarPanelEfficiency <= 0 || solarPanelArea <= 0) //έλεγχος εγκυρότητας δεδομένων με
    διαχείριση εξαιρέσεων
{
    throw new IllegalArgumentException("Η αποτελεσματικότητα και το εμβαδόν του
    φωτοβολταϊκού πάνελ πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
}

//αρχικοποίηση μελών κλάσης
this.solarPanelEfficiency = solarPanelEfficiency;
this.solarPanelArea = solarPanelArea;
this.totalSolarEnergy = solarEnergyData * solarPanelEfficiency * solarPanelArea;
System.out.println("Συνολική Ενέργεια από Φωτοβολταϊκό Πάνελ = " + totalSolarEnergy);
}

```

@Override

```

public String toString() //υπέρβαση μεθόδου toString() στην παραγόμενη κλάση SolarMicroservice
που επιστρέφει όλα τα μέλη της κλάσης συνενωμένα ως ένα string
{
    return "Αποδοτικότητα Πάνελ: " + solarPanelEfficiency + ", Εμβαδόν Επιφάνειας Πάνελ: " +
        solarPanelArea + ", Συνολική Ενέργεια από Πάνελ: " + totalSolarEnergy;
}

```

Κλάση SoundSystem

Η κλάση αυτή διαχειρίζεται τον ήχο ενός κτιρίου, μιας εγκατάστασης κ.λ.π.

Μέλη:

```

private int speakers; //Αριθμός ηχείων
private String soundQuality; //Ποιότητα ήχου
private double powerConsumption; //Κατανάλωση ισχύος

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public SoundSystem(int speakers, String soundQuality, double powerConsumption) //δημιουργός
για την αρχικοποίηση των μελών της κλάσης
{
    if (speakers <= 0 || powerConsumption < 0) //έλεγχος εγκυρότητας δεδομένων μέσω διαχείρισης
    εξαίρεσης

```

```

{
    throw new IllegalArgumentException("Το πλήθος των ηχείων πρέπει να είναι θετικός αριθμός και η κατανάλωση ισχύος δεν μπορεί να είναι αρνητική.");
}
this.speakers = speakers;
this.soundQuality = soundQuality;
this.powerConsumption = powerConsumption;
System.out.println("Κατανάλωση Ισχύος Συστήματος Ήχου = " + powerConsumption);
}
@Override
public String toString() //υπέρβαση μεθόδου toString() στην παραγόμενη κλάση SolarMicroservice που επιστρέφει όλα τα μέλη της κλάσης συνενωμένα ως ένα string
{
    return "Ηχεία: " + speakers + ", Ποιότητα Ήχου: " + soundQuality + ", Κατανάλωση Ισχύος: " + powerConsumption;
}

```

Κλάση SecuritySystem

Η κλάση αυτή διαχειρίζεται την ασφάλεια ενός κτιρίου, μιας εγκατάστασης κ.λ.π.

Μέλη:

```

private String securityLevel; //Επίπεδο ασφαλείας
private double securityPowerConsumption; //Κατανάλωση ισχύος ασφαλείας

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public SecuritySystem(String securityLevel, double securityPowerConsumption) //δημιουργός για την αρχικοποίηση των μελών της κλάσης
{
    if (securityPowerConsumption < 0) //έλεγχος εγκυρότητας τιμών εισόδου για κατανάλωση ισχύος αναφορικά με τον έλεγχο ασφαλείας στο κτίριο
    {
        throw new IllegalArgumentException("Η κατανάλωση ισχύος ασφαλείας δεν μπορεί να είναι αρνητική.");
    }
}

```

```

        this.securityLevel = securityLevel;
        this.securityPowerConsumption = securityPowerConsumption;
        System.out.println("Κατανάλωση Ισχύος Ασφαλείας Συστήματος = " +
            securityPowerConsumption);
    }

```

@Override

```

public String toString() //υπέρβαση μεθόδου toString() στην παραγόμενη κλάση SolarMicroservice
που επιστρέφει όλα τα μέλη της κλάσης συνενωμένα ως ένα string
{
    return "Επίπεδο Ασφαλείας: " + securityLevel + ", Κατανάλωση Ισχύος Ασφαλείας: " +
        securityPowerConsumption;
}

```

Κλάση InternetService

Η κλάση αυτή διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας αναφορικά με την ασφάλεια του internet κ.λ.π.

Μέλη:

```

private String provider; //Πάροχος υπηρεσίας
private double dataConsumption; //Κατανάλωση δεδομένων

```

Βασικές Μέθοδοι:

```

public InternetService(String provider, double dataConsumption) //Κατασκευαστής που δέχεται
παραμέτρους και εκτυπώνει την κατανάλωση δεδομένων
{
    if (dataConsumption < 0)
    {
        throw new IllegalArgumentException("Η κατανάλωση δεδομένων δεν μπορεί να είναι
            αρνητική.");
    }
    this.provider = provider;
    this.dataConsumption = dataConsumption;
    System.out.println("Κατανάλωση Δεδομένων Υπηρεσίας Internet = " + dataConsumption);
}

```

```

//Μέθοδος για ανανέωση της κατανάλωσης δεδομένων
public void updateDataConsumption(double newDataConsumption)
{
    if (newDataConsumption < 0)
    {
        throw new IllegalArgumentException("Η νέα κατανάλωση δεδομένων δεν μπορεί να είναι αρνητική.");
    }
    this.dataConsumption = newDataConsumption;
    System.out.println("Ενημέρωση Κατανάλωσης Δεδομένων. Νέα Κατανάλωση = " +
newDataConsumption);
}

```

@Override

```

public String toString()
{
    return "Πάροχος: " + provider + ", Κατανάλωση Δεδομένων: " + dataConsumption;
}

```

Κλάση Main

Η κλάση αυτή περιλαμβάνει τη συνάρτηση main στην οποία δηλώνονται όλα τα στιγμιότυπα κλάσεων και καλούνται όλες οι μέθοδοι των κλάσεων

```

public class Main
{
    public static void main(String[] args)
    {
        try
        {
            //Δημιουργία λιστών για αποθήκευση δεδομένων
            List<Vehicle> vehicles = new ArrayList<>(); //Δημιουργία ArrayList με οχήματα
            List<StudyRoom> studyRooms = new ArrayList<>(); //Δημιουργία ArrayList με αίθουσες
            διδασκαλίας
            List<PublicFacility> publicFacilities = new ArrayList<>(); //Λίστα δημοσίων εγκαταστάσεων

```


και κτιρίων

//Δημιουργία στιγμιοτύπων κλάσεων

Vehicle car1 = new Vehicle(100, 0.05); *//δημιουργία στιγμιοτύπου κλάσης Car*

StudyRoom studyRoom = new StudyRoom(30, 50, "Library"); *//δημιουργία στιγμιοτύπου αίθουσας διδασκαλίας*

PublicFacility publicFacility = new PublicFacility(500, "Public Hall", 4); *//δημιουργία στιγμιοτύπου εγκατάστασης δημόσιου κτιρίου*

BuildingEnergyMicroservice buildingService = new BuildingEnergyMicroservice(50, 60, 70, "windy"); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για μικρο-υπηρεσία ενέργειας*

WaterMicroservice waterService = new WaterMicroservice(20, 30, 40, "rainy", 500); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για μικρο-υπηρεσία νερού*

buildingService.setWaterService(waterService); *//το στιγμιότυπο waterService που δημιουργήθηκε τίθεται στο στιγμιότυπο buildingService*

HVACSystem hvacSystem = new HVACSystem(200, 25, 0.08); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για το σύστημα HVAC*

buildingService.setHvacSystem(hvacSystem);

buildingService.addStudyRoom(studyRoom); *//το στιγμιότυπο studyRoom που δημιουργήσαμε προστίθεται στο ArrayList buildingService*

buildingService.addPublicFacility(publicFacility); *//το στιγμιότυπο publicFacility που δημιουργήσαμε προστίθεται στο ArrayList buildingService*

SolarMicroservice solarService = new SolarMicroservice(70, 80, 90, "sunny", 0.75, 100); *//δημιουργία στιγμιοτύπου solarService για μικρο-υπηρεσία ηλιακής ενέργειας*

AirConditioner ac = new AirConditioner(3000, 250); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για κλιματιστικό*

HeatingSystem heating = new HeatingSystem(4000, 300); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για σύστημα θέρμανσης*

SoundSystem soundSystem = new SoundSystem(8, "High", 120); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για σύστημα ήχου*

SecuritySystem securitySystem = new SecuritySystem("High", 80); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για σύστημα ασφαλείας*

InternetService internetService = new InternetService("ProviderX", 500); *//δημιουργία στιγμιοτύπου για υπηρεσία Internet*

Vehicle car2 = new Vehicle(200, 0.04); *//δημιουργία δεύτερου στιγμιοτύπου κλάσης Car*

StudyRoom studyRoom2 = new StudyRoom(20, 40, "Reading Room"); *//δημιουργία δεύτερου στιγμιοτύπου αίθουσας διδασκαλίας*

PublicFacility publicFacility2 = new PublicFacility(600, "Conference Hall", 6); *//δημιουργία δεύτερου στιγμιοτύπου για δημόσιο χώρο*

LightMicroservice lightService2 = new LightMicroservice(40, 50, 30, 150, "cloudy", 7); *//δημιουργία δεύτερου στιγμιοτύπου για μικρουπηρεσία φωτισμού*

//με τις 3 επόμενες εντολές προσθέτουμε τα αντικείμενα car1, studyRoom και publicFacility στα αντίστοιχα ArrayList

vehicles.add(car1);

studyRooms.add(studyRoom);

publicFacilities.add(publicFacility);

BufferedWriter vehicleWriter = new BufferedWriter(new FileWriter("vehicle.txt")); *//δημιουργούμε ένα στιγμιότυπο τύπου BufferedWriter για καταχώριση των οχημάτων στο αρχείο vehicle.txt*

BufferedWriter studyRoomWriter = new BufferedWriter(new FileWriter("study_room.txt")); *//δημιουργούμε ένα άλλο στιγμιότυπο τύπου BufferedWriter για καταχώριση των αιθουσών διδασκαλίας στο αρχείο study_room.txt*

BufferedWriter publicFacilityWriter = new BufferedWriter(new FileWriter("public_facility.txt")); *//δημιουργούμε ένα άλλο στιγμιότυπο τύπου BufferedWriter για καταχώριση των δημόσιων εγκαταστάσεων-κτίριο στο αρχείο public_facility*

```

//Εγγραφή στα αντίστοιχα αρχεία

//με την επόμενη επανάληψη αποθηκεύουμε κάθε εγγραφή Car στο αρχείο vehicle.txt
for (Vehicle vehicle: vehicles)
{
    vehicleWriter.write(vehicle.toString());
    vehicleWriter.newLine();
}

//με την επόμενη επανάληψη αποθηκεύουμε κάθε εγγραφή studyRoom στο αρχείο
study_room.txt
for (StudyRoom room : studyRooms)
{
    studyRoomWriter.write(room.toString());
    studyRoomWriter.newLine();
}

//με την επόμενη επανάληψη αποθηκεύουμε κάθε εγγραφή facility στο αρχείο
public_facility.txt

for (PublicFacility facility: publicFacilities)
{
    publicFacilityWriter.write(facility.toString());
    publicFacilityWriter.newLine();
}

//Κλείσιμο των αρχείων
vehicleWriter.close();
studyRoomWriter.close();
publicFacilityWriter.close();
}
catch (IOException e)
{
    System.out.println("Exception occurred while writing to file: " +
e.getMessage());
}

```

```

        e.printStackTrace();
    }
    catch (Exception e)
    {
        System.out.println("Exception occurred: " + e.getMessage());
        e.printStackTrace();
    }
}

//Δημιουργία αντικειμένων για ανάγνωση από αρχεία εισόδου
BufferedReader vehicleReader = new BufferedReader(new FileReader("vehicle.txt")); //Αρ-
χείο για οχήματα

BufferedReader studyRoomReader = new BufferedReader(new FileReader("study_room.txt"));
//Αρχείο για αίθουσες μελέτης

BufferedReader publicFacilityReader = new BufferedReader(new
FileReader("public_facility.txt")); //Αρχείο για δημόσιους χώρους
//ανάγνωση στα αντίστοιχα αρχεία
for (Vehicle vehicle: vehicles)
{
    vehicleReader.readLine();
}

for (StudyRoom room : studyRooms)
{
    studyRoomReader.readLine();
}

for (PublicFacility facility : publicFacilities)
{
    publicFacilityReader.readLine();
}

//με τις 3 επόμενες εντολές κλείνουμε όλα τα αρχεία εισόδου
vehicleReader.close();
studyRoomReader.close();
publicFacilityReader.close();
}

```

B Μέρος: Υπολογισμός Στατιστικών Στοιχείων Εφαρμογής

```
for (PublicFacility publicFacility4 : publicFacilities)
{
    String type = publicFacility4.getClass().getSimpleName();
    double energyConsumption = publicFacility4.getTotalFacilityEnergy();

    energyConsumptionDistribution.merge(type, energyConsumption, Double::sum);
}

//Κατανάλωση Ενέργειας ανά τύπο
Map<String, Double> energyConsumptionByType = new HashMap<>(); //σε μια δομή
Map τοποθετούμε την κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο δηλ. κατανάλωση ενέργειας από οχή-
ματα, από αίθουσες μελέτης κ.λ.π.

double electricityConsumption = 0;
double gasConsumption = 0;

for (String type : energyConsumptionDistribution.keySet()) //εκτελείται επανάληψη για
κάθε τύπο αντικειμένου που καταναλώνει ενέργεια
{

    double totalEnergyConsumption5 = energyConsumptionDistribution.get(type);

    //με τις επόμενες εντολές ελέγχου εξετάζεται ο τύπος του αντικειμένου και αθροίζεται η
κατανάλωση ενέργειας που αυτό προκαλεί
    if (type == "Vehicle")
        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;

    else if (type == "PublicFacility")
        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;

    else if (type == "ElectricVehicle")
        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;
    else
        gasConsumption += totalEnergyConsumption;
```

```

}

double peakEnergyConsumption;

//εδώ ορίζονται δύο διαφορετικά είδη κατανάλωσης ενέργειας: ηλεκτρικό ρεύμα και γκάζι
energyConsumptionByType.put("Electricity", electricityConsumption);
energyConsumptionByType.put("Gas", gasConsumption);

//Υπολογισμός του Peak για Κατανάλωση Ενέργειας
double peakEnergyConsumption3 = calculatePeakEnergyConsumption(vehicles); ///Υπο-
λογισμός του Peak για Κατανάλωση Ενέργειας

//Υπολογισμός του Μέσου Peak για Κατανάλωση Ενέργειας ανά Όχημα
double averagePeakUsagePerVehicle = peakEnergyConsumption3/vehicles.size();

//Υπολογισμός του Μέσου Peak για Κατανάλωση Ενέργειας ανά Αίθουσα Μελέτης
double peakEnergyConsumptionVehicles = calculatePeakEnergyConsumption(vehicles);

//Υπολογισμός Κατανομής του Peak Χρήσης Ενέργειας
Map<String, Double> peakUsageDistribution = new HashMap<>();

peakUsageDistribution.put("Vehicle", averagePeakUsagePerVehicle);

//Υπολογισμός της Τάσης Κατανάλωσης Ενέργειας
Map<String, Double> energyConsumptionTrends = new HashMap<>();

energyConsumptionTrends.put("Vehicle", averageVehicleEnergy);
energyConsumptionTrends.put("StudyRoom", averageStudyRoomEnergy);
energyConsumptionTrends.put("PublicFacility", averagePublicFacilityEnergy);

//Εμφάνιση Στατιστικών Στοιχείων Κατανάλωσης Ενέργειας
System.out.println("\nΣυνολική Κατανάλωση Ενέργειας:" + totalEnergyConsumption + "
kWh");

System.out.println("\nστατιστικά Ανά Τύπο:");

```

```

for (String type : energyConsumptionByType.keySet())
    System.out.printf("* %s: %.2f kWh\n", type, energyConsumptionByType.get(type));

System.out.println("\nΤάσεις Κατανάλωσης Ενέργειας");
for (String type : energyConsumptionTrends.keySet())
    System.out.printf("* %s: %.2f kWh\n", type, energyConsumptionTrends.get(type));
}

public static double calculatePeakEnergyConsumption(List<Vehicle> vehicles) //συνάρ-
τηση υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας
{
    double peakEnergyConsumption = 0;

    for (Vehicle vehicle : vehicles)
        if (vehicle.getVehicleEnergy() > peakEnergyConsumption)
            peakEnergyConsumption = vehicle.getVehicleEnergy();
    return peakEnergyConsumption;
}
}

```

Αποτελέσματα Εκτέλεσης Κώδικα

Ενέργεια Αίθουσας Μελέτης = 161.0

Ενέργεια Δημόσιας Εγκατάστασης = 6400.0

Κατανάλωση Νερού = 500.0

Κατανάλωση ενέργειας HVAC = 400.0

Συνολική Ενέργεια από Φωτοβολταϊκό Πάνελ = 6000.0

Κατανάλωση Ισχύος Συστήματος Ήχου = 120.0

Κατανάλωση Ισχύος Ασφαλείας Συστήματος = 80.0

Κατανάλωση Δεδομένων Υπηρεσίας Internet = 500.0

Ενέργεια Αίθουσας Μελέτης = 124.0

Ενέργεια Δημόσιας Εγκατάστασης = 11520.0

Συνολική Ενέργεια Φώτων = 2100.0

Συνολικά οχήματα = 1

Συνολικά αίθουσες μελέτης = 1

Συνολικά δημόσιοι χώροι = 1

Κατανάλωση ενέργειας του πρώτου αυτοκινήτου = 5.0

Χιλιόμετρα=100, Κατανάλωση/χιλιόμετρο=0.05, Ενέργεια: 5.0

Μέση Κατανάλωση Ενέργειας Οχημάτων: 5.0 kWh

Μέγιστη Κατανάλωση Οχημάτων: 5.0 kWh

Ελάχιστη Κατανάλωση Οχημάτων: 5.0 kWh

Συνολικός Αριθμός Δωματίων Μελέτης: 1

Μέση Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: 30

Μέγιστη Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: 30

Ελάχιστη Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: 30

Συνολικός Αριθμός Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων: 1

Μέσος Αριθμός Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων σε τετραγωνικά μέτρα: 500.0

Μέγιστο Εμβαδόν Επιφάνειας Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων σε τετραγωνικά μέτρα: 500.0

Ελάχιστο Εμβαδόν Επιφάνειας Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων σε τετραγωνικά μέτρα 500.0

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας: 6405.0 kWh

στατιστικά Ανά Τύπο:

* Electricity: 12810,00 kWh

* Gas: 0,00 kWh

Τάσεις Κατανάλωσης Ενέργειας

* Vehicle: 5,00 kWh

* PublicFacility: 6405,00 kWh

* StudyRoom: 6405,00 kWh

Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τον αυξανόμενο αστικό πληθυσμό, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι εμπειρογνώμονες στον τομέα της ενέργειας θα πρέπει να έχουν μια βαθύτερη κατανόηση της παροχής ενέργειας στους πολίτες. Τα ενεργειακά συστήματα εξοπλισμένα με νέα τεχνολογία μπορούν να τα βοηθήσουν να μεγιστοποιήσουν την απόδοση, να μειώσουν το κόστος και να ενισχύσουν την ενεργειακή ασφάλεια. Η χρήση της νέας τεχνολογίας έχει άμεση θετική επίδραση στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, στην ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης, στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στη μείωση των εκπομπών CO₂.

Ζητήματα όπως η ενεργειακή απόδοση, η προσιτή τιμή της ενέργειας και η πρόσβαση στην ενέργεια ήταν πάντα σημαντικά, αλλά οι κύριοι μοχλοί τώρα είναι ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής και οι δεσμεύσεις που αναλήφθηκαν από αυτή την άποψη. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών συστημάτων που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εκτός από τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μπορεί να είναι μια εξαιρετική απάντηση στις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικές καταστάσεις.

Επιπλέον, ένας συνδυασμός αερίου, θέρμανσης, πηγών ΑΠΕ και οι μεταφορές μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για όλους τους τομείς. Από αυτή την άποψη, η σημασία των νέων τεχνολογιών, των μεθόδων, του όγκου των επενδύσεων, των εθνικών και τοπικών συνεργασιών, των στρατηγικών και των πολιτικών που καθορίζονται και εφαρμόζονται από φορείς χάραξης πολιτικής και εμπειρογνώμονες στον τομέα της ενέργειας θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Επομένως, διαδικασίες όπως η ανάπτυξη ΑΠΕ, η έξυπνη διαχείριση ενέργειας, οι αυξημένες επενδύσεις, η ανάπτυξη έξυπνων κατοικιών και η ηλεκτρική μεταφορά επιδιώκονται ενεργά.

Καθώς η ιδέα της βιώσιμης ανάπτυξης κερδίζει δημοτικότητα, το πρόβλημα της έλλειψης ενέργειας δεν μπορεί να αγνοηθεί και η εξοικονόμηση ενέργειας έχει λάβει ευρεία προσοχή. Περίπου το 30% της παγκόσμιας ενέργειας καταναλώνεται σε κτίρια, γεγονός που θα επηρεάσει σοβαρά τη βιώσιμη ανάπτυξη της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Συνεπώς, πρέπει να αναπτυχθεί μια στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση μη ανανεώσιμης ενέργειας. Επί του παρόντος, η εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων θεωρείται ως ο πιο άμεσος και αποτελεσματικός τρόπος για την άμβλυνση της αντίφασης μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της έλλειψης ενέργειας. Ο σχεδιασμός κτιρίων με μηδενική ενέργεια ξεκινά με ηθικούς πελάτες και πωλητές.

Εάν οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας θέλουν να αντιμετωπίσουν με επιτυχία τις προκλήσεις που προκύπτουν από το μεταβαλλόμενο περιβάλλον, πρέπει να τοποθετήσουν την

καινοτομία στον πυρήνα της εταιρικής στρατηγικής και λειτουργίας τους. Το ίδιο ισχύει και για τους διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, διότι η στρατηγική καινοτομία παρεμβαίνει ριζικά στη λειτουργία του δικτύου μεταφοράς λόγω της αυξημένης παραγωγής που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές. Ενισχύει τη σύνδεση των δικτύων διανομής και μεταφοράς πολλών χωρών, τονίζει τον ρόλο των καταναλωτών στη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνει την ανάπτυξη λύσεων ΤΠΕ στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας.

Η καινοτομία απαιτεί επίσης την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και εστιάζει τη λειτουργία της εταιρείας σε τομείς που θα είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία και τη βιωσιμότητα της εταιρείας. Η ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών, οι νομοθετικές αλλαγές και η ανάγκη διαχείρισης μακροπρόθεσμων κινδύνων είναι τρεις βασικοί παράγοντες που οδηγούν σε στρατηγικές καινοτομίες. Η στρατηγική καινοτομία συνδέεται στενά με τις καθημερινές λειτουργίες, τις επενδυτικές αποφάσεις και τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων του δικτύου μεταφοράς. Όμως η καινοτομία δεν αρκεί. Καθώς ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε μεγάλο βαθμό διασυνδεδεμένος και αλληλεξαρτώμενος, οι εταιρείες πρέπει να συνάψουν συμφωνίες και να συνεργαστούν.

Γεγονός είναι ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα διαδραματίσει όλο και σημαντικότερο ρόλο στο μέλλον. Λόγω της αυξανόμενης ηλεκτροδότησης σε όλους τους τομείς και της ταχείας ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης, η εξάρτηση της κοινωνίας από την ηλεκτρική ενέργεια θα βαθύνει. Ως εκ τούτου, οι εταιρείες ενέργειας πρέπει να αρχίσουν να συνεργάζονται εντατικά και με άλλους τομείς — μεταφορές, βιομηχανία, πληροφορική... και να αναζητήσουν και να δοκιμάσουν με τόλμη νέες λύσεις. Η βιώσιμη ανάπτυξη, προς την οποία προσπαθούμε, δεν θα επιτρέψει τα επίπεδα κέρδη που αναμένονταν στην «παραδοσιακή» ανάπτυξη, η οποία δεν έλαβε υπόψη το εξωτερικό κόστος στην τιμή των αγαθών και των υπηρεσιών. Η ηλεκτρική ενέργεια του μέλλοντος δεν θα προσφέρει απλές λύσεις, αλλά θα χρειαστούν εξελιγμένες και καινοτόμες λύσεις.

Μελλοντικές εξελίξεις

Στην εποχή της ψηφιοποίησης οι έξυπνες τεχνολογίες έχουν φέρει μεγάλη επανάσταση στον τρόπο διαχείρισης των κτηρίων εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο τη βέλτιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση κόστους. Η έξυπνη διαχείριση ενεργειακών κτιρίων αποτελεί το μέλλον των αγορών παγκοσμίως καθώς υπάρχει μεγάλη ζήτηση από τους ιδιοκτήτες και τους χειριστές των κτιρίων. Ιδιαίτερώς σημαντική είναι η ανταπόκριση στη ζήτηση αυτή από τους χειριστές των κτιρίων οι οποίοι είναι αρμόδιοι να προσαρμόζουν την κατανάλωση ενέργειας με βάση τη ζήτηση και την προσφορά στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της συμμετοχής σε προγράμματα και σεμινάρια που αφορούν την ανταπόκριση στη ζήτηση αυτή.

Οι ιδιοκτήτες κτηρίων μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή τους ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής, όταν οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι στα υψηλότερα επίπεδα και η αξιοπιστία του δικτύου κινδυνεύει. Η αποθήκευση ενέργειας είναι ένα ζωτικό συστατικό της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας των κτιρίων καθώς επιτρέπει την αποτελεσματική αποθήκευση και διαχείριση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται σε ώρες εκτός αιχμής. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να αποθηκεύσουν ηλεκτρική ενέργεια για μελλοντική χρήση, διασφαλίζοντας μια αξιόπιστη και ανθεκτική παροχή ρεύματος εντός των κτιρίων.

Επιπλέον, αυτά τα συστήματα διευκολύνουν την ενσωμάτωση διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Η βελτιστοποιημένη χρήση ενέργειας, η μειωμένη εξάρτηση στο δίκτυο αλλά και το μειωμένο ενεργειακό κόστος που οδηγεί στην οικονομική βιωσιμότητα είναι πλεονεκτήματα της αποθήκευσης ενέργειας. Όταν η ανταπόκριση της ζήτησης και η αποθήκευση της ενέργειας συνδυαστούν ταυτόχρονα ενισχύεται η έξυπνη διαχείριση της ενέργειας κτιρίων. Η ενοποίηση αυτών των δύο τεχνολογιών επιτρέπει στους χειριστές κτιρίων να αξιοποιούν την υπερβολική ενέργεια που αποθηκεύεται σε ώρες εκτός αιχμής για να συμμετέχουν σε προγράμματα ανταπόκρισης στη ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής μεγιστοποιώντας έτσι τα οικονομικά οφέλη, τη βιωσιμότητα και τη σταθερότητα του δικτύου. Παράλληλα μέσω αυτής της ενοποίησης ελαχιστοποιείται το ενεργειακό κόστος και η εξάρτηση από το δίκτυο.

Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης και του IoT δημιουργεί μεγάλη πρόοδο και εξέλιξη στην ενεργειακή απόδοση των έξυπνων σπιτιών. Τα έξυπνα κτίρια αξιοποιούν τις τεχνολογίες AI και IoT για να δημιουργήσουν έξυπνα και διασυνδεδεμένα οικοσυστήματα που συλλέγουν και αναλύουν συνεχώς δεδομένα από διάφορες πηγές μέσα στο κτίριο. Αυτή

η προσέγγιση βάσει δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τα κτίρια πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον. Ένας τρόπος που η τεχνητή νοημοσύνη και το IoT φέρνουν επανάσταση στον χώρο της ενεργειακής απόδοσης σε έξυπνα σπίτια είναι η προηγμένη διαχείριση ενέργειας. Πιο αναλυτικά, τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιούν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να αναλύουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και να βελτιστοποιούν τη χρήση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Με τη συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή παραγόντων όπως ο φωτισμός, η θέρμανση και ο εξαερισμός, αυτά τα συστήματα μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη και το IoT συνεχίζουν να εξελίσσονται, οι δυνατότητες για ενεργειακή απόδοση σε έξυπνα κτίρια είναι τεράστιες. Αρχικά η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα φωτισμού και HVAC, στον έλεγχο πρόσβασης και στην ασφάλεια. Ακόμα σημαντική θα είναι η επιρροή στο απόρρητο μέσω ισχυρών πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης και αυστηρών ελέγχων πρόσβασης δημιουργώντας αίσθημα εμπιστοσύνης των ενοίκων.

Τέλος η ανάλυση μέσω Πρόγνωσης επιτυγχάνει ενεργειακή βελτιστοποίηση στα έξυπνα σπίτια. Δηλαδή η πρακτική της χρήσης ιστορικών δεδομένων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την ανάλυση και την πρόβλεψη μελλοντικών αποτελεσμάτων. Όταν εφαρμόζεται σε έξυπνα κτίρια, επιτρέπει την προληπτική διαχείριση ενέργειας εντοπίζοντας πρότυπα, ανωμαλίες και ευκαιρίες για βελτιστοποίηση. Παράλληλα επιτρέπει στους χειριστές κτιρίων να λαμβάνουν πιο εμπεριστατωμένες αποφάσεις με σκοπό την εξασφάλιση της βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης. Όσον αφορά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων(IoT) η ενσωμάτωση συσκευών, αισθητήρων και συστημάτων αυτοματισμού IoT σε έξυπνα κτίρια έχει επεκτείνει σημαντικά τη διαθεσιμότητα δεδομένων για προγνωστικές αναλύσεις καθώς Μπορούν να συλλεχθούν και να αναλυθούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από διάφορες πηγές για τον εντοπισμό ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας. Οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης επίσης επιτρέπουν στα μοντέλα προγνωστικής ανάλυσης να μαθαίνουν συνεχώς και να προσαρμόζονται με βάση νέες εισροές δεδομένων.

Αναφορές

- .G. Javadzadeh, e. a. (2020). Fog Computing Applications in Smart Cities: A Systematic Survey. *Wireless Netw*, vol. 26, pp. 1433–1457. 2020.
- A. A. Alves, e. a. (2021). Development of an Internet of Things System for Smart Home HVAC Monitoring and Control. *International Conference on Sustainable Energy for Smart Cities*, pp. 192-208, 2021.
- A. Aftab et. al. (2021). Hand-based multibiometric systems: state-of-the-art and future challenges. *PubMed Central*.
- A. Agnetis, e. a. (2019). Load scheduling for household energy consumption optimization. *IEEE Trans*.
- A. Arbaz, e. a. (2019). Home energy management and knapsack technique in smart grid environment. In: *Proceedings of 2nd International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*. Lahore, Pakistan (2019).
- A. Jain et. al., (2018). Biometric identification. *Commun. ACM*, vol. 43, no. 2, pp. 90–98.
- A. Nacer, e. a. (2020). Smart home, smart hems, smart heating: an overview of the latest products and trends. *2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, pp. 90–95. *IEEE* (2020).
- A. Ramirez et. al. (2020). owards Human Smart Cities: Internet of Things for sensory impaired individuals.
- A. Sadeghi et. al. (2020). An intelligent model to predict energy performances of residential buildings based on deep neural networks.
- Á. Sicilia et. al. (2019). A Semantic Decision Support System to optimize the energy use of public buildings.
- A. Zeng et. al. (2019). Comparative study of data driven methods in building electricity use prediction.
- Ali & Khan et. al. (2017). A broadcast-based key agreement scheme using set reconciliation for wireless body area networks. *Journal of Medical Systems*. 2017.
- Brown, E. e. (2020). Who Needs the Internet of Things? *Linux.com*. Retrieved 23 October 2020. .
- C. Fan et. al. (2018). Development of prediction models for next-day building energy consumption and peak power demand using data mining techniques.
- C. Goumopoulos, e. a. (2018). The umi-sci-ed platform: Integrating umi technologies to promote science education. " 01 2018, pp. 78–90.
- C. Harrison, e. a. (2019). A Theory of Smart Cities. in *Proc. 55th Annu. Meet. ISSS - 2019*, Hull, UK.55.
- C. Peng, e. a. (2019). A home energy monitoring and control system based on ZigBee technology. *Int. J. Green Energy*, vol. 13, pp. 1615–1623, May. 2019.
- C. Talon et. al. (2018). Next-Generation Building Energy Management Systems.
- C. Withanage, e. a. (2019). A comparison of the popular home automation technologies. In *Proceedings of the 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies—Asia (ISGT Asia)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 20–23 May 2019; pp. 600–605.
- D. Maltoni et. al. (2020). Handbook of Fingerprint Recognition. *Springer-Verlag*, 2020.
- E. Sardianou, e. a. (2020). Which Factors Affect the Willingness of Consumers to Adopt Renewable Energies?
- E. Theodoridis, e. a. (2018). Developing an IoT Smart City framework. e 2013 *Fourth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, Piraeus, Greece, 10–12 July 2018; pp. 180–185.
- E. Woods, e. a. (2018). Smart Meters in Europe—Advanced Metering Infrastructure for Electric Utilities in Europe: Business and Technology Issues.

- Elhoseny et al. (2017). Cascade multimodal biometric system using fingerprint and iris patterns. *Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics 2017. AISI 2017*.
- F. Flouquet, e. a. (2017). Local weather correlations and bias in building parameter estimates from energy-signature models. *Energy Build.*, vol. 19, no. 2, pp. 113–123, 2017.
- G. Cuffaro, e. a. (2020). A Resource-based Rule Engine for energy savings recommendations in Educational Buildings. In *Proceedings of the Global Internet of Things Summit 2020, Geneva, Switzerland, 6–9 June 2020*; pp. 385–390.
- G. Zhang et. al. (2019). Asymmetry-based quality assessment of face images. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Advances in Visual Computing (ISVC)*.
- G. Walker, e. a. (2018). Community Renewable Energy: What Should it Mean?
- Hakimi, S., & Hasankhani, A. (2019). *Intelligent energy management in off-grid smart buildings with energy interaction*. Cleaner Production.
- I. Petidis et. al. (2018). Energy saving and thermal comfort interventions based on occupants' needs: A students' residence building case.
- J. Ferreira et. al. (2019). Maritime Data Technology Landscape and Value Chain Exploiting Oceans of Data for Maritime Applications.
- J. P. Gouveia, e. a. (2020). Daily electricity consumption profiles from smart meters - Proxies of behavior for space heating and cooling. *Elsevier Energy*, vol. 141, pp. 108-122, 2020.
- J. Rogers, e. a. (2022). Public Perceptions of Opportunities for Community-Based Renewable Energy Projects.
- J. Torriti, e. a. (2020). Price-based demand side management: assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy.
- J. MacArthur, e. a. (2020). Trade, Tarsands and Treaties: The Political Economy Context of Community Energy in Canada.
- K. Priya Dharshini, e. a. (2022). A Survey on IoT Applications in Smart Cities. *EAI/Springer Innov. Commun. Comput.*, 179–204. .
- K. R. Moses et. al. (2019). Automated Fingerprint Identification Systems (AFIS). in *National Institute of Justice/NCJRS*, 2019, pp. 6:1–33.
- K. Zhou, e. a. (2018). Big data driven smart energy management: From big data to big insights, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Kumar Mandula, e. a. (2018). Mobile-based Home Automation using the Internet of Things (IoT). *2018 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, pp. 340–343, 2018. .
- L. Atzor, e. a. (2020). The internet of things: A survey. *Comput. Netw.*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2020. .
- L. Niamir et. al. (2022). Demand-side Solutions for Climate Mitigation: Bottom-Up Drivers of Household Energy Behavior Change in the Netherlands and Spain.
- L. Niamir, e. a. (2019). Transition to Low Carbon Economy: Assessing Cumulative Impacts of Individual Behavioral Changes.
- L. Zelezny, e. a. (2020). Elaborating on Gender Differences in Environmentalism.
- M. Berković-Šubić, e. a. (2017). Primary energy consumption of the dwelling with solar hot water system and biomass boiler. *Energy Convers.*
- M. Bordeau, e. a. (2019). Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques.
- M. El-Abed and et. al. (2015). Evaluation of Biometric Systems. *HAL Open Science*.

- M. Ge, e. a. (2021). Big Data for Internet of Things: A Survey. *Elsevier Future Generation Computer Systems*, vol. 87, pp. 601-614, 2021.
- M. Jia, e. a. (2021). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Elsevier Automation in Construction*, vol. 101, pp. 111-126, 2021.
- M. M-Solana, e. a. (2021). Data science for building energy management: A review. *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 598-609, 2021.
- M. S. Ahmed, e. a. (2021). Artificial neural network based controller for home energy management considering demand response events. in *Proc. Adv. ICAEES, Putrajaya, Malaysia, Nov. 2021*, pp. 506–509.
- M. Shehadi. (2020). Net-Zero Energy Buildings: Principles and Applications. *New Approaches and Technologies*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.92285>.
- Mehmood, M. U. (2019). A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment. *Elsevier Energy and Buildings*, vol. 202, 2019.
- N. David, e. a. (2020). Design-of-a-Home-Automation-System-Using-Arduino.doc.
- O. Ardakanian, e. a. (2020). Non-Intrusive Techniques for Establishing Occupancy Related Energy Savings in Commercial Buildings. In *Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments; ACM: New York, NY, USA, 2020*; pp. 21–30.
- P. Grother et. al. (2019). Performance of biometric quality measures. . *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29:531–543, 2019.
- Pauzet, O. (2021). Cellular communications and the future of smart metering,. *Sierra Wireless Inc.*, 2021.
- R. Bukhsh, e. a. (2019). An Efficient Fog as-a-Power-EconomySharing Service. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 185012-185027, 2019.
- S. Lee et. al. (2020). Model-based quality estimation of fingerprint images. n *IAPR/IEEE International Conference on Biometrics (ICB'06)*, pages 229–235.
- S. Paul, e. a. (2021). A vision of the next generation internet: A policy oriented perspective. in *Proc. Brit. Comput. Soc. (BCS) Int. Conf. Vis. Comput. Sci.*, Sep. 22–24, 2021, pp. 1–14.
- S. S Reka, e. a. (2021). Future effectual role of energy delivery: A comprehensive review of Internet of Things and smart grid. *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 90-108, 2021.
- S. Squartini, e. a. (2021). Optimization algorithms for home energy resource scheduling in presence of data uncertainty.
- S.Hasan Hussain, e. a. (2021). Design and Implementation of an adaptive model for sustainable home automation using the internet of things (IoT). *2021 International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2021)*.
- Ton, D. T. (2021). The U.S. Department of Energy’s Microgrid Initiative.
- U. A. U. Amirulddin, e. a. (2022). Development of a WiFi Smart Socket and Mobile Application for Energy Consumption Monitoring. *Advances in Electronics Engineering*, vol. 619, pp. 107-114, 2022.
- V. C. Gungor, e. a. (2019). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Trans. Ind. Inf.*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, Nov. 2019.
- V. Marinakis et. al. (2019). Decision Support for Intelligent Energy Management in Buildings Using the Thermal Comfort Model.
- W. Tushar, e. a. (2021). Smart Grid Testbed for Demand Focused Energy Management in End User Environments. *IEEE Wirel. Commun.* 2021, 23, 70–80.

- X. Jiang et. al. (2019). Design and implementation of a high-fidelity AC. in *Proc. ACM IPSN, 2019*.
- X. Jin et. al. (2019). Significance and Challenges of Big Data Research.
- Y. Rezaee, e. a. (2018). Optimal operation strategy of power systems in the presence of smart grids and electric vehicles.
- Y. Wei et. al. (2018). A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption.
- Y. Zhang et. al. (2020). Blockchain based efficient and robust fair payment for outsourcing services in cloud computing.

Παράρτημα Κώδικα

```
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.List;
import java.io.*;
import java.util.Map;

// Ορισμός κλάσης για τον κλιματιστικό
class AirConditioner {
    private double coolingCapacity; // Η ψυκτική ικανότητα του κλιματιστικού σε watts
    private double energyConsumption; // Η κατανάλωση ενέργειας του κλιματιστικού σε watts
    private double operatingHours; // Ο αριθμός των ωρών που θα λειτουργήσει το κλιματιστικό

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση AirConditioner.
     * @param coolingCapacity Η ψυκτική ικανότητα σε watts
     * @param energyConsumption Η κατανάλωση ενέργειας σε watts
     */
    public AirConditioner(double coolingCapacity, double energyConsumption) {
        try {
            if (coolingCapacity <= 0 || energyConsumption <= 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Η ψυκτική ικανότητα και η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
            }
            this.coolingCapacity = coolingCapacity;
            this.energyConsumption = energyConsumption;
        } catch (IllegalArgumentException e) {
            System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
        }
    }

    // Μέθοδοι getter και setter για την ψυκτική ικανότητα
    public double getCoolingCapacity() {
        return coolingCapacity;
    }

    public void setCoolingCapacity(double coolingCapacity) {
        this.coolingCapacity = coolingCapacity;
    }

    // Μέθοδοι getter και setter για την κατανάλωση ενέργειας
    public double getEnergyConsumption() {
        return energyConsumption;
    }
}
```

```

public void setEnergyConsumption(double energyConsumption) {
    this.energyConsumption = energyConsumption;
}

// Μέθοδοι getter και setter για τις ώρες λειτουργίας
public double getOperatingHours() {
    return operatingHours;
}

public void setOperatingHours(double operatingHours) {
    this.operatingHours = operatingHours;
}

/**
 * Υπολογίζει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.
 * @return Η συνολική κατανάλωση ενέργειας
 */
public double calculateEnergyConsumption() {
    if (operatingHours < 0) {
        throw new IllegalArgumentException("Οι ώρες λειτουργίας δεν μπορούν να είναι αρνητικές.");
    }
    return energyConsumption * operatingHours;
}
}

// Κλάση για το σύστημα θέρμανσης
class HeatingSystem {
    private double heatingCapacity; // Η ικανότητα θέρμανσης του συστήματος θέρμανσης σε watt
    private double energyConsumption; // Η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος θέρμανσης σε watt
    private double operatingHours; // Ο αριθμός των ωρών που το σύστημα θέρμανσης θα λειτουργήσει

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση HeatingSystem.
     * @param heatingCapacity Η ικανότητα θέρμανσης σε watt
     * @param energyConsumption Η κατανάλωση ενέργειας σε watt
     */
    public HeatingSystem(double heatingCapacity, double energyConsumption) {
        try {
            if (heatingCapacity <= 0 || energyConsumption <= 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Η ικανότητα θέρμανσης και η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    this.heatingCapacity = heatingCapacity;
    this.energyConsumption = energyConsumption;
} catch (IllegalArgumentException e) {
    System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
}
}

// Μέθοδοι getter και setter για την ικανότητα θέρμανσης
public double getHeatingCapacity() {
    return heatingCapacity;
}

public void setHeatingCapacity(double heatingCapacity) {
    this.heatingCapacity = heatingCapacity;
}

// Μέθοδοι getter και setter για την κατανάλωση ενέργειας
public double getEnergyConsumption() {
    return energyConsumption;
}

public void setEnergyConsumption(double energyConsumption) {
    this.energyConsumption = energyConsumption;
}

// Μέθοδοι getter και setter για τις ώρες λειτουργίας
public double getOperatingHours() {
    return operatingHours;
}

public void setOperatingHours(double operatingHours) {
    this.operatingHours = operatingHours;
}

/**
 * Υπολογίζει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.
 * @return Η συνολική κατανάλωση ενέργειας
 */
public double calculateEnergyConsumption() {
    return energyConsumption * operatingHours;
}
}

class Vehicle {
    private int km; // Τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει το όχημα
    private double kmConsumption; // Η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος ανά χιλιόμετρο

```

```

private double vehicleEnergy; // Η συνολική ενέργεια του οχήματος

/**
 * Κατασκευαστής για την κλάση Vehicle.
 * @param km Τα χιλιόμετρα
 * @param kmConsumption Η κατανάλωση ανά χιλιόμετρο
 */
public Vehicle(int km, double kmConsumption) {
    try {
        if (km < 0 || kmConsumption <= 0) {
            throw new IllegalArgumentException("Τα χιλιόμετρα και η κατανάλωση πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
        }
        this.km = km;
        this.kmConsumption = kmConsumption;
        this.vehicleEnergy = km * kmConsumption;
    } catch (IllegalArgumentException e) {
        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
    }
}

// Μέθοδοι getter και setter για την κατανάλωση ανά χιλιόμετρο
public double getKmConsumption() {
    return kmConsumption;
}

public double getVehicleEnergy() {
    return vehicleEnergy;
}

public void setVehicleEnergy(double vehicleEnergy) {
    this.vehicleEnergy = vehicleEnergy;
}

// Μέθοδοι getter και setter για τα χιλιόμετρα
public int getKm() {
    return km;
}

public void setKm(int km) {
    this.km = km;
}

@Override
public String toString() {
    return "Χιλιόμετρα=" + km + ", Κατανάλωση/χιλιόμετρο=" + kmConsumption + ", Ενέργεια: " + vehicleEnergy;
}

```

```

    }
}

class StudyRoom {
    private int seats; // Ο αριθμός των θέσεων της αίθουσας μελέτης
    private int area; // Η επιφάνεια της αίθουσας μελέτης
    private String description; // Η περιγραφή της αίθουσας μελέτης
    private double studyRoomEnergy; // Η συνολική ενέργεια της αίθουσας μελέτης

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση StudyRoom.
     * @param seats Ο αριθμός των θέσεων
     * @param area Η επιφάνεια
     * @param description Η περιγραφή
     */
    public StudyRoom(int seats, int area, String description) {
        try {
            if (seats <= 0 || area <= 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Ο αριθμός των θέσεων και η επιφάνεια
πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
            }
            this.seats = seats;
            this.area = area;
            this.description = description;
            this.studyRoomEnergy = area * 2.5 + seats * 1.2; // Υπολογισμός συνολικής ενέρ-
γειας

            System.out.println("Ενέργεια Αίθουσας Μελέτης = " + studyRoomEnergy);
        } catch (IllegalArgumentException e) {
            System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
        }
    }

    // Μέθοδοι getter και setter για τον αριθμό θέσεων
    public int getSeats() {
        return seats;
    }

    public void setSeats(int seats) {
        this.seats = seats;
    }

    // Μέθοδοι getter και setter για την επιφάνεια
    public int getArea() {
        return area;
    }

    public void setArea(int area) {

```

```

        this.area = area;
    }

    // Μέθοδοι getter και setter για την περιγραφή
    public String getDescription() {
        return description;
    }

    public void setDescription(String description) {
        this.description = description;
    }

    public void setStudyRoomEnergy(double studyRoomEnergy) {
        this.studyRoomEnergy = studyRoomEnergy;
    }

    public double getStudyRoomEnergy() {
        return studyRoomEnergy;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "Περιγραφή: " + description + ", Θέσεις: " + seats + ", Επιφάνεια: " + area
+ ", Ενέργεια: " + studyRoomEnergy;
    }
}

class PublicFacility {
    private int pubFacilityArea; // Η περιοχή της δημόσιας εγκατάστασης
    private String pubFacilityDescription; // Η περιγραφή της δημόσιας εγκατάστασης
    private int floors; // Οι ορόφοι της δημόσιας εγκατάστασης
    private double totalFacilityEnergy; // Η συνολική ενέργεια της δημόσιας εγκατάστασης

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση PublicFacility.
     * @param facilityArea Η περιοχή
     * @param facilityDescription Η περιγραφή
     * @param floors Ο αριθμός των ορόφων
     */
    public PublicFacility(int facilityArea, String facilityDescription, int floors) {
        try {
            if (facilityArea <= 0 || floors <= 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Η περιοχή και οι ορόφοι πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
            }
        }
    }
}

```

```

        this.pubFacilityArea = facilityArea;
        this.pubFacilityDescription = facilityDescription;
        this.floors = floors;
        this.totalFacilityEnergy = facilityArea * 3.2 * floors; // Υπολογισμός συνολι-
κής ενέργειας
        System.out.println("Ενέργεια Δημόσιας Εγκατάστασης = " + totalFacilityEnergy);
    } catch (IllegalArgumentException e) {
        System.out.println("Συνέβη εξαίρεση: " + e.getMessage());
    }
}

// Μέθοδοι getter και setter για την περιοχή
public int getPubFacilityArea() {
    return pubFacilityArea;
}

public void setPubFacilityArea(int pubFacilityArea) {
    this.pubFacilityArea = pubFacilityArea;
}

// Μέθοδοι getter και setter για την περιγραφή
public String getPubFacilityDescription() {
    return pubFacilityDescription;
}

public void setPubFacilityDescription(String pubFacilityDescription) {
    this.pubFacilityDescription = pubFacilityDescription;
}

// Μέθοδοι getter και setter για τους ορόφους
public int getFloors() {
    return floors;
}

public void setFloors(int floors) {
    this.floors = floors;
}

// Μέθοδος getter για την συνολική ενέργεια
public double getTotalFacilityEnergy() {
    return totalFacilityEnergy;
}

@Override
public String toString() {
    return "Περιγραφή: " + pubFacilityDescription + ", Περιοχή: " + pubFacilityArea +
    ", Ορόφοι: " + floors + ", Ενέργεια: " + totalFacilityEnergy;
}

```



```

    }
}

class EnergyMicroservice {
    private double windEnergyData; // Δεδομένα για την αιολική ενέργεια
    private double solarEnergyData; // Δεδομένα για την ηλιακή ενέργεια
    private double waterEnergyData; // Δεδομένα για την ενέργεια από νερό
    private String weather; // Πληροφορίες για τον καιρό

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση EnergyMicroservice.
     * @param windEnergyData Δεδομένα αιολικής ενέργειας
     * @param solarEnergyData Δεδομένα ηλιακής ενέργειας
     * @param waterEnergyData Δεδομένα ενέργειας από νερό
     * @param weather Πληροφορίες για τον καιρό
     */

    public EnergyMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather) {
        this.windEnergyData = windEnergyData;
        this.solarEnergyData = solarEnergyData;
        this.waterEnergyData = waterEnergyData;
        this.weather = weather;
    }
}

class LightMicroservice extends EnergyMicroservice {
    private double hourlyConsumption; // Η κατανάλωση ανά ώρα
    private int lightsNum; // Ο αριθμός των φώτων
    private int hours; // Ο αριθμός των ωρών
    private double totalLightsEnergy; // Η συνολική ενέργεια των φώτων

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση LightMicroservice.
     * @param windEnergyData Δεδομένα αιολικής ενέργειας
     * @param solarEnergyData Δεδομένα ηλιακής ενέργειας
     * @param waterEnergyData Δεδομένα ενέργειας από νερό
     * @param lightsNum Αριθμός φώτων
     * @param weather Πληροφορίες για τον καιρό
     * @param hours Ωρες λειτουργίας
     */

    public LightMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, int lightsNum, String weather, int hours) {
        super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather);
        this.hourlyConsumption = 2;
        this.lightsNum = lightsNum;
        this.hours = hours;
        this.totalLightsEnergy = lightsNum * hours * hourlyConsumption; // Υπολογισμός συ-
νολικής ενέργειας φώτων

```

```

        System.out.println("Συνολική Ενέργεια Φώτων = " + totalLightsEnergy);
    }
}

class WaterMicroservice extends EnergyMicroservice {
    private double waterConsumption; // Η κατανάλωση νερού

    /**
     * Κατασκευαστής για την κλάση WaterMicroservice.
     * @param windEnergyData Δεδομένα αιολικής ενέργειας
     * @param solarEnergyData Δεδομένα ηλιακής ενέργειας
     * @param waterEnergyData Δεδομένα ενέργειας από νερό
     * @param weather Πληροφορίες για τον καιρό
     * @param waterConsumption Κατανάλωση νερού
     */
    public WaterMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather, double waterConsumption) {
        super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather);
        this.waterConsumption = waterConsumption;
        System.out.println("Κατανάλωση Νερού = " + waterConsumption);
    }
}

class HVACSystem {
    private double area; // Εμβαδόν του χώρου
    private double temperature; // Θερμοκρασία του χώρου
    private double efficiency; // Απόδοση του συστήματος
    private double energyConsumption; // Κατανάλωση ενέργειας

    public HVACSystem(double area, double temperature, double efficiency) {
        if (area <= 0 || temperature <= 0 || efficiency <= 0) {
            throw new IllegalArgumentException("Το εμβαδόν, η θερμοκρασία και η απόδοση
πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
        }
        this.area = area;
        this.temperature = temperature;
        this.efficiency = efficiency;
        this.energyConsumption = area * temperature * efficiency;
        System.out.println("Κατανάλωση ενέργειας HVAC = " + energyConsumption);
    }
}

class BuildingEnergyMicroservice extends EnergyMicroservice {
    private double totalEnergy; // Συνολική ενέργεια του κτιρίου
    private List<StudyRoom> studyRooms; // Δωμάτια μελέτης στο κτίριο
    private List<PublicFacility> publicFacilities; // Δημόσιες εγκαταστάσεις στο κτίριο

```

```

private WaterMicroservice waterService; // Υπηρεσία ύδατος για το κτίριο
private HVACSystem hvacSystem; // Σύστημα HVAC για το κτίριο

// Κατασκευαστής που αρχικοποιεί τις μεταβλητές
public BuildingEnergyMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather) {
    super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather);
    this.totalEnergy = 0;
    this.studyRooms = new ArrayList<>();
    this.publicFacilities = new ArrayList<>();
}

// Προσθήκη δωματίου μελέτης
public void addStudyRoom(StudyRoom studyRoom) {
    this.studyRooms.add(studyRoom);
}

// Προσθήκη δημόσιας εγκατάστασης
public void addPublicFacility(PublicFacility publicFacility) {
    this.publicFacilities.add(publicFacility);
}

// Ορισμός υπηρεσίας ύδατος
public void setWaterService(WaterMicroservice waterService) {
    this.waterService = waterService;
}

// Ορισμός συστήματος HVAC
public void setHvacSystem(HVACSystem hvacSystem) {
    this.hvacSystem = hvacSystem;
}

// Μέθοδος που επιστρέφει πληροφορίες σε μορφή String
@Override
public String toString() {
    return "Total Energy: " + totalEnergy +
        "\nStudy Rooms: " + studyRooms +
        "\nPublic Facilities: " + publicFacilities +
        "\nWater Service: " + waterService +
        "\nHVAC System: " + hvacSystem;
}
}

class SolarMicroservice extends EnergyMicroservice {
    private double solarPanelEfficiency; // Αποτελεσματικότητα φωτοβολταϊκού πάνελ
    private int solarPanelArea; // Εμβαδόν φωτοβολταϊκού πάνελ
    private double totalSolarEnergy; // Συνολική ενέργεια από φωτοβολταϊκό πάνελ

```

```

        // Κατασκευαστής που δέχεται παραμέτρους και ελέγχει την εγκυρότητά τους
        public SolarMicroservice(double windEnergyData, double solarEnergyData, double
waterEnergyData, String weather, double solarPanelEfficiency, int solarPanelArea) {
            super(windEnergyData, solarEnergyData, waterEnergyData, weather);
            if (solarPanelEfficiency <= 0 || solarPanelArea <= 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Η αποτελεσματικότητα και το εμβαδόν του φω-
τοβολταϊκού πάνελ πρέπει να είναι θετικές τιμές.");
            }
            this.solarPanelEfficiency = solarPanelEfficiency;
            this.solarPanelArea = solarPanelArea;
            this.totalSolarEnergy = solarEnergyData * solarPanelEfficiency * solarPanelArea;
            System.out.println("Συνολική Ενέργεια από Φωτοβολταϊκό Πάνελ = " +
totalSolarEnergy);
        }

        // Μέθοδος toString() για επιστροφή στοιχείων ως String
        @Override
        public String toString() {
            return "Αποτελεσματικότητα Πάνελ: " + solarPanelEfficiency + ", Εμβαδόν Πάνελ: " +
solarPanelArea + ", Συνολική Ενέργεια από Πάνελ: " + totalSolarEnergy;
        }
    }

    // Κλάση για τον χειρισμό ήχου
    class SoundSystem {
        private int speakers; // Αριθμός ηχείων
        private String soundQuality; // Ποιότητα ήχου
        private double powerConsumption; // Κατανάλωση ισχύος

        // Κατασκευαστής που δέχεται παραμέτρους και εκτυπώνει την κατανάλωση ισχύος
        public SoundSystem(int speakers, String soundQuality, double powerConsumption) {
            if (speakers <= 0 || powerConsumption < 0) {
                throw new IllegalArgumentException("Το πλήθος των ηχείων πρέπει να είναι θετι-
κός αριθμός και η κατανάλωση ισχύος δεν μπορεί να είναι αρνητική.");
            }
            this.speakers = speakers;
            this.soundQuality = soundQuality;
            this.powerConsumption = powerConsumption;
            System.out.println("Κατανάλωση Ισχύος Συστήματος Ήχου = " + powerConsumption);
        }

        // Μέθοδος toString() για επιστροφή στοιχείων ως String
        @Override
        public String toString() {

```

```

        return "Ηχεία: " + speakers + ", Ποιότητα Ήχου: " + soundQuality + ", Κατανάλωση Ι-
σχύος: " + powerConsumption;
    }
}

// Κλάση για το σύστημα ασφαλείας
class SecuritySystem {
    private String securityLevel; // Επίπεδο ασφαλείας
    private double securityPowerConsumption; // Κατανάλωση ισχύος ασφαλείας

    // Κατασκευαστής που δέχεται παραμέτρους και εκτυπώνει την κατανάλωση ισχύος ασφαλείας
    public SecuritySystem(String securityLevel, double securityPowerConsumption) {
        if (securityPowerConsumption < 0) {
            throw new IllegalArgumentException("Η κατανάλωση ισχύος ασφαλείας δεν μπορεί να
είναι αρνητική.");
        }
        this.securityLevel = securityLevel;
        this.securityPowerConsumption = securityPowerConsumption;
        System.out.println("Κατανάλωση Ισχύος Ασφαλείας Συστήματος = " +
securityPowerConsumption);
    }

    // Μέθοδος toString() για επιστροφή στοιχείων ως String
    @Override
    public String toString() {
        return "Επίπεδο Ασφαλείας: " + securityLevel + ", Κατανάλωση Ισχύος Ασφαλείας: " +
securityPowerConsumption;
    }
}

// Κλάση για την υπηρεσία internet
class InternetService {
    private String provider; // Πάροχος υπηρεσίας
    private double dataConsumption; // Κατανάλωση δεδομένων

    // Κατασκευαστής που δέχεται παραμέτρους και εκτυπώνει την κατανάλωση δεδομένων
    public InternetService(String provider, double dataConsumption) {
        if (dataConsumption < 0) {
            throw new IllegalArgumentException("Η κατανάλωση δεδομένων δεν μπορεί να είναι
αρνητική.");
        }
        this.provider = provider;
        this.dataConsumption = dataConsumption;
        System.out.println("Κατανάλωση Δεδομένων Υπηρεσίας Internet = " + dataConsumption);
    }
}

```

```

// Μέθοδος για ανανέωση της κατανάλωσης δεδομένων
public void updateDataConsumption(double newDataConsumption) {
    if (newDataConsumption < 0) {
        throw new IllegalArgumentException("Η νέα κατανάλωση δεδομένων δεν μπορεί να
είναι αρνητική.");
    }
    this.dataConsumption = newDataConsumption;
    System.out.println("Ενημέρωση Κατανάλωσης Δεδομένων. Νέα Κατανάλωση = " +
newDataConsumption);
}

// Μέθοδος toString() για επιστροφή στοιχείων ως String
@Override
public String toString() {
    return "Πάροχος: " + provider + ", Κατανάλωση Δεδομένων: " + dataConsumption;
}
}

public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        try {
            // Δημιουργία λιστών για αποθήκευση δεδομένων
            List<Vehicle> vehicles = new ArrayList<>(); // Λίστα οχημάτων
            List<StudyRoom> studyRooms = new ArrayList<>(); // Λίστα αιθουσών μελέτης
            List<PublicFacility> publicFacilities = new ArrayList<>(); // Λίστα δημοσίων
χώρων

            // Δημιουργία διάφορων αντικειμένων
            Vehicle car1 = new Vehicle(100, 0.05); // Αυτοκίνητο
            StudyRoom studyRoom = new StudyRoom(30, 50, "Library"); // Αίθουσα μελέτης
            PublicFacility publicFacility = new PublicFacility(500, "Public Hall", 4); //
Δημόσιος χώρος

            BuildingEnergyMicroservice buildingService = new BuildingEnergyMicroservice(50,
60, 70, "windy"); // Μικρο-υπηρεσία ενέργειας κτιρίου
            WaterMicroservice waterService = new WaterMicroservice(20, 30, 40, "rainy",
500); // Μικρο-υπηρεσία νερού
            buildingService.setWaterService(waterService);
            HVACSystem hvacSystem = new HVACSystem(200, 25, 0.08); // Σύστημα HVAC
            buildingService.setHvacSystem(hvacSystem);
            buildingService.addStudyRoom(studyRoom);
            buildingService.addPublicFacility(publicFacility);
            SolarMicroservice solarService = new SolarMicroservice(70, 80, 90, "sunny",
0.75, 100); // Μικρο-υπηρεσία ηλιακής ενέργειας
            AirConditioner ac = new AirConditioner(3000, 250); // Κλιματιστικό
            HeatingSystem heating = new HeatingSystem(4000, 300); // Σύστημα θέρμανσης
            SoundSystem soundSystem = new SoundSystem(8, "High", 120); // Σύστημα ήχου

```

```

        SecuritySystem securitySystem = new SecuritySystem("High", 80); // Σύστημα α-
σφαλείας
        InternetService internetService = new InternetService("ProviderX", 500); // Υ-
πηρεσία Internet
        Vehicle car2 = new Vehicle(200, 0.04); // Δεύτερο αυτοκίνητο
        StudyRoom studyRoom2 = new StudyRoom(20, 40, "Reading Room"); // Δεύτερη αί-
θουσα μελέτης
        PublicFacility publicFacility2 = new PublicFacility(600, "Conference Hall", 6);
// Δεύτερος δημόσιος χώρος
        LightMicroservice lightService2 = new LightMicroservice(40, 50, 30, 150,
"cloudy", 7); // Μικρο-υπηρεσία φωτισμού

        // Προσθήκη αντικειμένων στις λίστες
        vehicles.add(car1);
        studyRooms.add(studyRoom);
        publicFacilities.add(publicFacility);

        // Δημιουργία αντικειμένων για εγγραφή σε αρχεία
        BufferedWriter vehicleWriter = new BufferedWriter(new
FileWriter("vehicle.txt")); // Αρχείο για οχήματα
        BufferedWriter studyRoomWriter = new BufferedWriter(new
FileWriter("study_room.txt")); // Αρχείο για αίθουσες μελέτης
        BufferedWriter publicFacilityWriter = new BufferedWriter(new
FileWriter("public_facility.txt")); // Αρχείο για δημόσιους χώρους

        // Εγγραφή στα αντίστοιχα αρχεία
        for (Vehicle vehicle : vehicles)
        {
            vehicleWriter.write(vehicle.toString());
            vehicleWriter.newLine();
        }
        for (StudyRoom room : studyRooms)
        {
            studyRoomWriter.write(room.toString());
            studyRoomWriter.newLine();
        }
        for (PublicFacility facility : publicFacilities)
        {
            publicFacilityWriter.write(facility.toString());
            publicFacilityWriter.newLine();
        }

        // Κλείσιμο των αρχείων
        vehicleWriter.close();
        studyRoomWriter.close();
        publicFacilityWriter.close();

```

```

        // Δημιουργία αντικειμένων για ανάγνωση από αρχεία
        BufferedReader vehicleReader = new BufferedReader(new
FileReader("vehicle.txt")); // Αρχείο για οχήματα
        BufferedReader studyRoomReader = new BufferedReader(new
FileReader("study_room.txt")); // Αρχείο για αίθουσες μελέτης
        BufferedReader publicFacilityReader = new BufferedReader(new
FileReader("public_facility.txt")); // Αρχείο για δημόσιους χώρους

        // Εγγραφή στα αντίστοιχα αρχεία
        for (Vehicle vehicle : vehicles)
        {
            vehicleReader.readLine();

        }
        for (StudyRoom room : studyRooms)
        {
            studyRoomReader.readLine();

        }
        for (PublicFacility facility : publicFacilities)
        {
            publicFacilityReader.readLine();

        }

        // Κλείσιμο των αρχείων
        vehicleReader.close();
        studyRoomReader.close();
        publicFacilityReader.close();

        System.out.println("Συνολικά οχήματα = " + vehicles.size());
        System.out.println("Συνολικά αίθουσες μελέτης = " + studyRooms.size());
        System.out.println("Συνολικά δημόσιοι χώροι = " + publicFacilities.size());
        System.out.println("Κατανάλωση ενέργειας του πρώτου αυτοκινήτου = " +
vehicles.get(0).getVehicleEnergy());

        for (Vehicle vehicle : vehicles)
            System.out.println(vehicle);

        //Υπολογισμός Στατιστικών για Οχήματα
        int numVehicles = vehicles.size();
        double totalVehicleEnergy = 0;
        double highestVehicleEnergy = 0;
        double lowestVehicleEnergy = Double.MAX_VALUE;

```



```

for (Vehicle vehicle : vehicles)
{
    totalVehicleEnergy += vehicle.getVehicleEnergy();

    if (vehicle.getVehicleEnergy() > highestVehicleEnergy)
        highestVehicleEnergy = vehicle.getVehicleEnergy();

    if (vehicle.getVehicleEnergy() < lowestVehicleEnergy)
        lowestVehicleEnergy = vehicle.getVehicleEnergy();
}

double averageVehicleEnergy = totalVehicleEnergy/numVehicles;

//Υπολογισμός Στατιστικών Στοιχείων για Αίθουσες Μελέτης
int numStudyRooms = studyRooms.size();
int totalStudyRoomCapacity = 0;
int highestStudyRoomCapacity = 0;
int lowestStudyRoomCapacity = Integer.MAX_VALUE;

for (StudyRoom studyRoom3 : studyRooms)
{
    totalStudyRoomCapacity += studyRoom3.getSeats();

    if (studyRoom3.getSeats() > highestStudyRoomCapacity)
        highestStudyRoomCapacity = studyRoom3.getSeats();

    if (studyRoom3.getSeats() < lowestStudyRoomCapacity)
        lowestStudyRoomCapacity = studyRoom3.getSeats();
}

int averageStudyRoomCapacity = totalStudyRoomCapacity / numStudyRooms;

//Υπολογισμός Στατιστικών Στοιχείων για Δημόσις Κτίρια και Εγκαταστάσεις
(public facilities)
int numPublicFacilities = publicFacilities.size();
double totalPublicFacilityArea = 0;
double highestPublicFacilityArea = 0;
double lowestPublicFacilityArea = Double.MAX_VALUE;

for (PublicFacility publicFacility3 : publicFacilities)
{
    totalPublicFacilityArea += publicFacility3.getPubFacilityArea();

    if (publicFacility3.getPubFacilityArea() > highestPublicFacilityArea)

```

```

        highestPublicFacilityArea = publicFacility3.getPubFacilityArea();

        if (publicFacility3.getPubFacilityArea() < lowestPublicFacilityArea)
            lowestPublicFacilityArea = publicFacility3.getPubFacilityArea();
    }

    double averagePublicFacilityArea = totalPublicFacilityArea /
numPublicFacilities;

    //Εκτύπωση Στατιστικών Στοιχείων
    System.out.println("Συνολικά Οχήματα: " + numVehicles);
    System.out.println("Μέση Κατανάλωση Ενέργειας Οχημάτων: " +
averageVehicleEnergy + " kWh");
    System.out.println("Μέγιστη Κατανάλωση Οχημάτων: " + highestVehicleEnergy + "
kWh");
    System.out.println("Ελάχιστη Κατανάλωση Οχημάτων: " + lowestVehicleEnergy + "
kWh");

    System.out.println("\nΣυνολικός Αριθμός Δωματίων Μελέτης: " + numStudyRooms);
    System.out.println("Μέση Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: " +
averageStudyRoomCapacity);
    System.out.println("Μέγιστη Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: " +
highestStudyRoomCapacity);
    System.out.println("Ελάχιστη Χωρητικότητα Δωματίων Μελέτης σε Άτομα: " +
lowestStudyRoomCapacity);

    System.out.println("\nΣυνολικός Αριθμός Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων: " +
numPublicFacilities);
    System.out.println("Μέσος Αριθμός Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων σε τετραγωνικά
μέτρα: " + averagePublicFacilityArea);
    System.out.println("Μέγιστο Εμβαδόν Επιφάνειας Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων
σε τετραγωνικά μέτρα: " + highestPublicFacilityArea);
    System.out.println("Ελάχιστο Εμβαδόν Επιφάνειας Δημόσιων Κτιρίων/Εγκαταστάσεων
σε τετραγωνικά μέτρα " + lowestPublicFacilityArea);

    //Υπολογισμός Συνολικής κατανάλωσης Ενέργειας
    double totalEnergyConsumption = 0;

    for (Vehicle vehicle : vehicles)
        totalEnergyConsumption += vehicle.getVehicleEnergy();

    for (PublicFacility publicFacility3 : publicFacilities)
        totalEnergyConsumption += publicFacility3.getTotalFacilityEnergy();

```

```

//Υπολογισμός Μέσης κατανάλωσης Ενέργειας ανά Όχημα (vehicle)
double averageVehicleEnergy2 = totalEnergyConsumption / vehicles.size();

//Υπολογισμός Μέσης κατανάλωσης Ενέργειας ανά Αίθουσα Μελέτης
double averageStudyRoomEnergy = totalEnergyConsumption / studyRooms.size();

//Υπολογισμός Μέσης κατανάλωσης Ενέργειας ανά Δημόσια Κτιριακή Εγκατάστασης
double averagePublicFacilityEnergy = totalEnergyConsumption /
publicFacilities.size();

//Υπολογισμός Κατανομής Κατανάλωσης (istribution of energy consumption)
Map<String, Double> energyConsumptionDistribution = new HashMap<>();

for (Vehicle vehicle : vehicles)
{
    String type = vehicle.getClass().getSimpleName();
    double energyConsumption = vehicle.getVehicleEnergy();

    energyConsumptionDistribution.merge(type, energyConsumption, Double::sum);
}

for (PublicFacility publicFacility4 : publicFacilities)
{
    String type = publicFacility4.getClass().getSimpleName();
    double energyConsumption = publicFacility4.getTotalFacilityEnergy();

    energyConsumptionDistribution.merge(type, energyConsumption, Double::sum);
}

//Κατανάλωση Ενέργειας ανα τύπο
Map<String, Double> energyConsumptionByType = new HashMap<>();

double electricityConsumption = 0;
double gasConsumption = 0;

for (String type : energyConsumptionDistribution.keySet())
{
    double totalEnergyConsumption5 = energyConsumptionDistribution.get(type);

    if (type == "Vehicle")
        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;

    else if (type == "PublicFacility")
        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;

    else if (type == "ElectricVehicle")

```

```

        electricityConsumption += totalEnergyConsumption;

        else
            gasConsumption += totalEnergyConsumption;
    }

    double peakEnergyConsumption;
    energyConsumptionByType.put("Electricity", electricityConsumption);
    energyConsumptionByType.put("Gas", gasConsumption);

    //Υπολογισμός του Peak για Κατανάλωση Ενέργειας
    double peakEnergyConsumption3 = calculatePeakEnergyConsumption(vehicles);

    //Υπολογισμός του Μέσου Peak για Κατανάλωση Ενέργειας ανά Όχημα
    double averagePeakUsagePerVehicle = peakEnergyConsumption3 / vehicles.size();

    //Υπολογισμός του Μέσου Peak για Κατανάλωση Ενέργειας ανά Αίθουσα Μελέτης
    double peakEnergyConsumptionVehicles =
        calculatePeakEnergyConsumption(vehicles);

    //Υπολογισμός Κατανομής του Peak Χρήσης Ενέργειας
    Map<String, Double> peakUsageDistribution = new HashMap<>();

    peakUsageDistribution.put("Vehicle", averagePeakUsagePerVehicle);

    //Υπολογισμός της Τάσης Κατανάλωσης Ενέργειας
    Map<String, Double> energyConsumptionTrends = new HashMap<>();

    energyConsumptionTrends.put("Vehicle", averageVehicleEnergy);
    energyConsumptionTrends.put("StudyRoom", averageStudyRoomEnergy);
    energyConsumptionTrends.put("PublicFacility", averagePublicFacilityEnergy);

    //Εμφάνιση Στατιστικών Στοιχείων Κατανάλωσης Ενέργειας
    System.out.println("\nΣυνολική Κατανάλωση Ενέργειας:" + totalEnergyConsumption
        + " kWh");

    System.out.println("\nΣτατιστικά Ανά Τύπο:");
    for (String type : energyConsumptionByType.keySet())
        System.out.printf("* %s: %.2f kWh\n", type,
            energyConsumptionByType.get(type));

    System.out.println("\nΤάσεις Κατανάλωσης Ενέργειας");
    for (String type : energyConsumptionTrends.keySet())
        System.out.printf("* %s: %.2f kWh\n", type,
            energyConsumptionTrends.get(type));

```

```

    }
    catch (IOException e)
    {
        System.out.println("Exception occurred while writing to file: " +
e.getMessage());
        e.printStackTrace();
    }
    catch (Exception e)
    {
        System.out.println("Exception occurred: " + e.getMessage());
        e.printStackTrace();
    }
}

public static double calculatePeakEnergyConsumption(List<Vehicle> vehicles)
{
    double peakEnergyConsumption = 0;

    for (Vehicle vehicle : vehicles)
        if (vehicle.getVehicleEnergy() > peakEnergyConsumption)
            peakEnergyConsumption = vehicle.getVehicleEnergy();

    return peakEnergyConsumption;
}
}

```