



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας και παρακολούθηση
χαρακτηριστικών λειτουργίας κτηρίων**

**Βασίλειος Οικονόμου
Α.Μ. 71347451**

Εισηγητής: Χρήστος Τρούσσας, Επίκουρος Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας και παρακολούθηση
χαρακτηριστικών λειτουργίας κτηρίων
Βασίλειος Οικονόμου
Α.Μ. 71347451**

Εισηγητής:

Χρήστος Τρούσσας, Επίκουρος Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΤΣΕΛΕΝΤΗ, ΜΕΛΟΣ ΕΔΙΠ

ΑΚΡΙΒΗ ΚΡΟΥΣΚΑ, ΜΕΛΟΣ ΕΔΙΠ

Ημερομηνία εξέτασης: Μάρτιος, 2024

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Οικονόμου Βασίλειος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 71347451 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα

Οικονόμου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ανάπτυξη αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χρήστο Τρούσσα, για την καθοδήγησή του σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα όπως το Internet of Things. Επίσης, εκφράζω τις ειδικές μου ευχαριστίες προς τον Βασίλη Λαζάρου, τη μητέρα μου, και ιδιαίτερα την θεία μου για τη στήριξη και την ενθάρρυνσή τους κατά τη διάρκεια αυτής της διαδρομής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων μέσω του Internet of Things. Πραγματοποιείται ανάλυση των ενεργειακών απωλειών και των αναγκών των κτηρίων σε ενέργεια, παρουσιάζοντας τις τεχνολογίες του Internet of Things ως μέσο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της αποδοτικότητας. Επίσης, αναφέρονται διάφορες τεχνολογίες και αρχιτεκτονικές σχετικών συσκευών, η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο, καθώς και τα λογισμικά διαχείρισης των συσκευών και των δεδομένων τους. Τέλος, αναπτύσσεται λογισμικό για τη διαχείριση και παρουσίαση των συσκευών, εντάσσοντάς το στο γενικότερο πλαίσιο της εργασίας.

ABSTRACT

The present thesis focuses on monitoring and optimizing the energy performance of buildings through the Internet of Things. It analyzes energy losses, and the energy needs of buildings, presenting Internet of Things technologies as a means to reduce energy consumption and increase efficiency. Various technologies and architectures of related devices are mentioned, along with their integration into the network and management software for devices and their data. Additionally, software is developed for the management and presentation of devices, integrating it into the broader framework of the thesis.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Internet of Things

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: IoT, παρακολούθηση ενέργειας, εξοικονόμηση ενέργειας, διαδικτυακή εφαρμογή.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	14
2.1 ΛΟΓΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	14
2.1.1 <i>Χρήση πηγών ενέργειας</i>	14
2.1.2 <i>Η αύξηση των τιμών στην κατανάλωση ενέργειας</i>	14
2.2 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF THINGS – IOT).....	15
2.2.1 <i>Επικοινωνία μέσω δικτύου</i>	16
2.2.2 <i>Επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT</i>	17
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΙΟΤ	18
2.3.1 <i>Επίπεδα αρχιτεκτονικής</i>	18
2.3.2 <i>Πρωτόκολλα</i>	19
2.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	30
3.1 PERCEPTION - SENSING LAYER.....	30
3.1.1 <i>Τύποι αισθητήρων</i>	30
3.1.2 <i>Μέθοδοι καταγραφής δεδομένων</i>	31
3.1.3 <i>Επεξεργασία δεδομένων</i>	32
3.1.4 <i>Προκλήσεις</i>	32
3.2 NETWORK LAYER.....	33
3.2.1 <i>Πρωτόκολλα επικοινωνίας</i>	33
3.2.2 <i>Μεταφορά δεδομένων</i>	33
3.2.3 <i>Τοπολογία δικτύου</i>	34
3.2.4 <i>Μέτρα ασφαλείας</i>	34
3.3 APPLICATION LAYER	34
3.3.1 <i>Εφαρμογή των Internet of Things</i>	35
3.3.2 <i>Διεργασία και ανάλυση δεδομένων</i>	35
3.3.3 <i>Διεπαφή χρήστη</i>	35
3.3.4 <i>Επεκτασιμότητα</i>	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	42

5.1	SERVER	43
5.2	ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (WEB APPLICATION).....	44
5.3	REDIS	44
5.4	MQTT BROKER.....	44
5.5	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ INTERNET OF THINGS ΣΥΣΚΕΥΩΝ	45
5.6	DOCKER CONTAINERS.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ		48
6.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	48
6.2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΩΡΩΝ.....	51
6.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΝΟΜΑΤΟΣ ΧΩΡΟΥ.....	54
6.4	ΔΙΑΓΡΑΦΗ ΧΩΡΩΝ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		60

Εικόνα 1: Τοπολογία αστέρι	22
Εικόνα 2: Τοπολογία πλέγματος μερικώς και πλήρες συνδεδεμένο	22
Εικόνα 3: Τοπολογία δέντρου	23
Εικόνα 4: Εύρος ασύρματων τεχνολογιών.....	24
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονικό μοντέλο MVC.....	38
Εικόνα 6: Κεντρική σελίδα εφαρμογής	47
Εικόνα 7: Σελίδα διαχείρισης συσκευών	48
Εικόνα 8: Παρουσίαση των δεδομένων	49
Εικόνα 9: Γράφημα κατανάλωσης συσκευής	49
Εικόνα 10: Αλλαγή γραφήματος κατά την επιλογή άλλης συσκευής	50
Εικόνα 11: Ανταπόκριση του γραφήματος στην απενεργοποίηση της συσκευής	51
Εικόνα 12: Ανταπόκριση του γραφήματος στην ενεργοποίηση της συσκευής	51
Εικόνα 13: Σελίδα διαχείρισης συσκευών	52
Εικόνα 14: Επιλογή δημιουργίας χώρου.....	52
Εικόνα 15: Ορισμός ονόματος του καινούργιου χώρου	53
Εικόνα 16: Ορισμός του ονόματος "Room 5".....	53
Εικόνα 17: Επιβεβαίωση δημιουργίας χώρου	54
Εικόνα 18: Εμφάνιση του καινούργιου χώρου	54
Εικόνα 19: Επιλογή επεξεργασίας του ονόματος του χώρου.....	55
Εικόνα 20: Εισαγωγή καινούργιου ονόματος	55
Εικόνα 21: Ενημέρωση για την αλλαγή του ονόματος	56
Εικόνα 22: Επιλογή διαφραφής χώρου	56
Εικόνα 23: Μήνυμα επιβεβαίωσης την διαγραφής.....	57

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί μέγιστης σημασίας λόγω της υιοθέτησης ενός βιώσιμου τρόπου ζωής, η οποία βασίζεται στην καταπολέμηση εξάντλησης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη μη αλόγιστη κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της προσπάθειας ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και λόγω μείωσης της οικονομικής επιβάρυνσης καθώς η κατανάλωση ενέργειας συσχετίζεται με ένα υψηλό κόστος λόγω των τελευταίων γεωπολιτικών και ενεργειακών εξελίξεων αλλά και κρίσεων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και παγκόσμιοι οργανισμοί δίνουν όλο και περισσότερη έμφαση στη διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης οικιακών κτιρίων με σκοπό να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Η οικιακή ενεργειακή κατανάλωση συνεισφέρει σημαντικά στην συνολική κατανάλωση που καταναλώνεται εντός των ορίων της ευρωπαϊκής κοινότητας (σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Ευρωκοινοβουλίου εκτιμάται στο 40%). Οι στόχοι που έχουν ενσωματωθεί στην ατζέντα της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιλαμβάνουν τη μείωση την ενεργειακής κατανάλωσής οικιακών κτιρίων, και ταυτόχρονα την αύξηση της ενεργειακής τους απόδοσης. Συγκεκριμένα, προβλέπεται τα οικιακά κτίρια να έχουν μηδενικές εκπομπές αέριου άνθρακα έως το 2028, να εξοπλιστούν με ηλιακά συστήματα έως το 2028 και η ενεργειακή τους απόδοση να αξιολογείται κατά ελάχιστον κατηγορία D έως το 2033 (European Parliament, 2023).

Επιπλέον, πέρα από τους προαναφερθέντες λόγους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, παρατηρείται αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης η οποία οφείλεται σε πολλούς συνδυαστικά παράγοντες. Η ανάγκη για ενέργεια αρχικά μεγαλώνει σύμφωνα με το μέγεθος του πληθυσμού που έχει αυξητική τάση, ενώ σε πολλές μεγάλες οικονομίες η βελτίωση του βιοτικού τους επιπέδου αυξάνει και τις απαιτήσεις του πληθυσμού. Παράλληλα, οι τεχνολογικές επιτεύξεις προσφέρουν όλο και περισσότερα εργαλεία και αυτοματισμούς εκμεταλλεύσιμα τόσο στην καθημερινότητα του ατόμου όσο και στους παραγωγικούς τομείς, οδηγώντας την παραγωγή και εφαρμογή ηλεκτρικών συσκευών με τον καιρό να πληθαίνει. Επιπρόσθετα, παρουσιάστηκαν διάφορες κρίσεις (υγειονομικές, οικονομικές και γεωπολιτικές) που συνετέλεσαν περαιτέρω στην ανάγκη για διαθέσιμη ενέργεια, επηρεάζοντας το σύνολο της οικονομίας. Η ξαφνική ανάγκη για παραγωγή μεγαλύτερης ενέργειας πρόσθεσε ανασφάλειες για την εξάντληση των ενεργειακών

πόρων, αλλά και περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετιζόμενες με τις επιλεγόμενες, ως βασικές πηγές για την κάλυψη των αναγκών. Τα κτίρια εφόσον συμμετέχουν σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας πυροδότησαν μια σειρά ερευνών για τους τρόπους παρακολούθησης και μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να αναδείξει ως θέμα την ανάγκη περιορισμού της οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης, λόγω της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης, η οποία κατευθύνει τον σημερινό κόσμο σε μια νέα θεώρηση διαχείρισης της ενέργειας που ο άνθρωπος παράγει. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της χρήσης σχετικής εφαρμογής που βασίζεται στις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες και ιδιαίτερα στον τομέα του Internet of Things. Εν συντομία, η εφαρμογή αυτή θα παρακολουθεί και θα καταγράφει την κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών σε μία οικία, ώστε να είναι δυνατή η ενημέρωση του χρήστη και ο περιορισμός τυχόν υπερκατανάλωσης από συγκεκριμένες συσκευές. Οι παραπάνω μέθοδοι που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην επικοινωνία των συσκευών χαμηλής κατανάλωσης, διασφαλίζοντας όμως ταυτόχρονα τα δεδομένα κατά τη μεταφορά τους, να έχουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία που απαιτείται.

Συγκεκριμένα, η διπλωματική αποτελείται από πέντε σημαντικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αρχικά αναλύει τους παράγοντες που συντελούν στην ανάγκη για ενεργειακή βελτιστοποίηση, καθώς και τη σημασία που έχει η αναζήτηση για συστήματα που θα δώσουν πρακτικές λύσεις. Επιπρόσθετα, περιγράφει τις αντίστοιχες αναφορές που έγιναν, παρέχει τις απαραίτητες γνώσεις για την κατανόηση του θέματος και παρουσιάζει τους στόχους και το κίνητρο για την μελέτη του αντικειμένου μέσω της παρούσας διπλωματικής.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση του Internet of Things ως ένα μέσο για την επίτευξη ελάττωσης της ενέργειας και αύξησης της απόδοσης σε οικιακό επίπεδο. Η ανάλυσή του και ο τρόπος λειτουργίας που θα παρουσιαστεί, θα οδηγήσει στην κατανόηση των μεθόδων που χρησιμοποιείται από ένα τέτοιο δίκτυο για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται διάφορες τεχνολογίες, που είναι χρήσιμες για την λειτουργία και επικοινωνία των εφαρμογών και πρωτοκόλλων και υπεύθυνες για την ανάπτυξη του Internet of Things ως ένα μέσο για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Η χρήση

των τεχνολογιών αυτών προσφέρουν την γρήγορη ανάπτυξη μίας αξιόπιστης και ασφαλούς εφαρμογής, ικανή να ενσωματωθεί σε κτήρια και οικίες.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει το έργο που αναπτύχθηκε, με στόχο την ανάπτυξη μιας φιλικής προς τον χρήστη εφαρμογής, που διαχειρίζεται αποτελεσματικά συνδεδεμένες συσκευές που έχουν εγκατασταθεί εντός του κτιρίου. Αποτελεί μία λύση με βάση όλα όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω, καθώς είναι ένα αρχικό βήμα για την ενσωμάτωση των τεχνολογιών για την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας.

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Λόγοι περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας

2.1.1 Χρήση πηγών ενέργειας

Η υπέρμετρη κατανάλωση ενέργειας αποτελεί εμπόδιο στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης η οποία στοχεύει στην ορθολογική χρήση πόρων και κατανάλωσης ενέργειας. Ο περιορισμός χρήσης ενέργειας καθίσταται συνεπώς αναγκαίος ως πρακτική βιώσιμης ανάπτυξης. Οι λόγοι βασίζονται στην εξάντληση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και στις δυσκολίες που έγκειται η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπάρχει μια σαφής τάση μείωσης αυτών λόγω της σταδιακής εξάντλησής τους αλλά και λόγω της παραγωγής σημαντικής ποσότητας εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), οι οποίες παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα και επιταχύνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η μείωση κατανάλωσης ενέργειας και η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για να επιτευχθεί το ουδέτερο ισοζύγιο εκπομπών άνθρακα έως το 2050, στόχος ο οποίος αποτελεί προϋπόθεση για την αποφυγή καταστροφικής αύξησης της θερμοκρασίας.

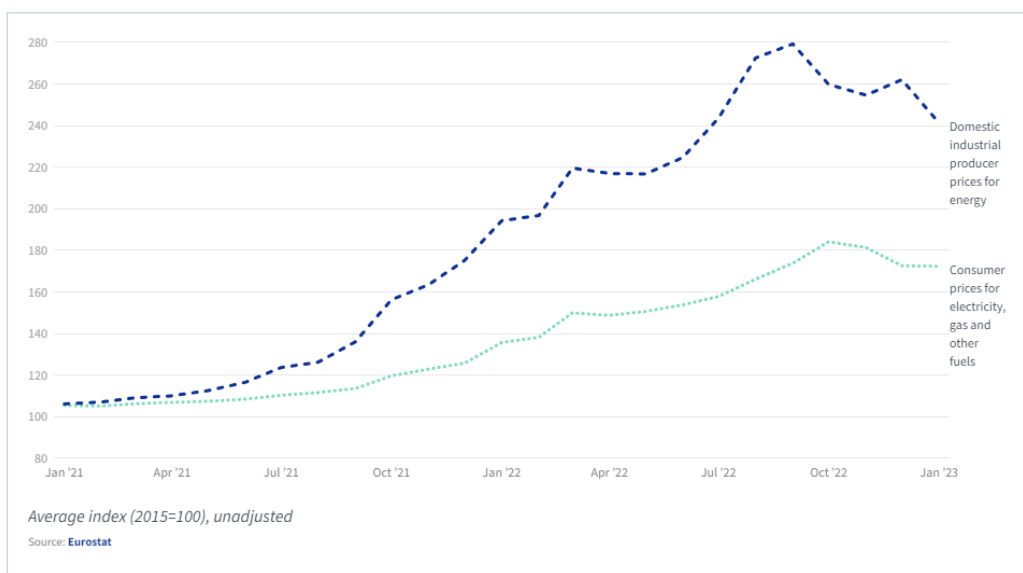
Από την άλλη πλευρά, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδηγούν στην ορθολογική αξιοποίηση των φυσικών πόρων, προστατεύουν το περιβάλλον και ενισχύουν την ενεργειακή ανεξαρτοποίηση περιορίζοντας την εξάρτηση και τη μεταφορά διαταραχών. Η κατανάλωση λιγότερης ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση απορριμμάτων και άρα τη συρρίκνωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Halkos & Gkamroua, 2020).

Ωστόσο δυσκολίες μπορούν να παρουσιαστούν όταν δεν μπορούν να καλύψουν τις πολύ υψηλές ανάγκες ιδιαίτερα σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών και αντίξων συνθηκών. Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει η κατανάλωση ενέργειας να μην είναι αλόγιστη.

2.1.2 Η αύξηση των τιμών στην κατανάλωση ενέργειας

Οι τιμές στην κατανάλωση ενέργειας έχουν δεχτεί σημαντική αύξηση επιβαρύνοντας τον προϋπολογισμό των νοικοκυριών. Το 2021 οι τιμές είχαν παρουσιάσει σημαντική αύξηση έως και 50% περίπου στη Γαλλία λόγω της ανεπάρκειας σε φυσικό

αέριο και της μείωσης της παραγωγής αιολικής ενέργειας λόγω της έλλειψης ανέμων (Economist, 2021). Το 2022 οι τιμές έφτασαν στο υψηλότερο σημείο (Σχήμα 1) αποτελώντας συνέπεια της αύξησης της ζήτησης, της μείωσης της προσφοράς και της ανεπάρκεια σε αποθηκευτικούς χώρους λόγω συνολικά των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών, της πανδημίας covid-19 και της αναδιάρθρωσης της παραγωγής ενέργειας αλλά επιπλέον και λόγω του πολέμου στην Ουκρανία και της μερικής αναστολής πώλησης αερίου από τη Ρωσία.



Σχήμα 1: Παραγωγικές και καταναλωτικές τιμές ενέργειας στην ΕΕ

Πηγή: [Economist \(2021\)](#)

Η αύξηση των τιμών στην ενέργεια μεταφέρεται στο σύνολο των αγαθών και υπηρεσιών αυξάνοντας τον πληθωρισμό και επιβαρύνοντας περαιτέρω τον καταναλωτή ιδιαίτερα στις βασικές του ανάγκες καθώς η ενέργεια συνδέεται με όλες τις παραγωγικές διαδικασίες. Στην Ελλάδα οι τιμές ενέργειας ακολούθησαν τη γενική αυξητική πορεία τους καταγράφοντας μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις και τα υψηλότερα επίπεδα στην ΕΕ (IENE, 2020). Λόγω της σοβαρής αύξησης τιμών καθίσταται σημαντική ανάγκη περιορισμού της ενέργειας.

2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things – IoT)

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) έχει πολυπληθείς ορισμούς από αρκετούς οργανισμούς και ιδρύματα όπως το European Telecommunications Standards Institute (ETSI), ITU, IEEE, Internet Engineering Task Force (IETF), National Institute of Standards and Technology (NIST), Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) και World Wide Web Consortium (W3C). Σύμφωνα με αυτούς τους ορισμούς το IoT χαρακτηρίζεται ως ένα σύνολο από διασυνεργαζόμενα δίκτυα πραγμάτων με τον προαιρετικό χαρακτηρισμό «έξυπνο» να αναφέρεται στην ιδιότητά τους να μπορούν να εντοπιστούν, ονομαστούν και να απευθύνονται σε αντίστοιχα έξυπνα «πράγματα». Τα αναφερόμενα «πράγματα» είναι ένας γενικευμένος όρος, που σκοπό έχει να μην τα συγκεκριμενοποιήσει, αφού αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα. Με τον όρο περιγράφονται φυσικά αντικείμενα ή τα δεδομένα με τα οποία συσχετίζονται ή και την σχέση μεταξύ αντικειμένων. Τα συστήματα IoT είναι ένα δίκτυο, το οποίο κλιμακώνεται ανάλογα με την τοπολογία και την σύνθεση των «πραγμάτων» που λειτουργούν και παίρνουν τον ρόλο των κόμβων.

2.2.1 Επικοινωνία μέσω δικτύου

Το IoT εκμεταλλεύεται τις υποδομές και την τεχνολογία των δικτύων για να υπάρξει επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μέσα στο σύστημα. Επιπλέον, η ανάλυση για τον τρόπο που λειτουργεί μία τυπική σύνδεση τμηματοποιείται σε επτά επίπεδα σύμφωνα με το μοντέλο Open System Interconnection (OSI). Τα επίπεδα δομούν ιεραρχικά τον τρόπο που λειτουργεί μία σύνδεση ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών, με την κάθε μία ξεκινώντας από τα χαμηλό επίπεδο να ενθουλακώνεται στο επόμενο υψηλότερο.

Το φυσικό επίπεδο (Physical Layer), θεωρείται το πιο χαμηλό και ορίζει το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για την μετάδοση πληροφορίας, όπως καλώδια, κεραιές και μέθοδοι συνδέσμων αυτών. Στο επίπεδο αυτό γίνεται η διαχείριση και ο έλεγχος της ηλεκτρικής τάσης για την αποστολή και την παραλαβή του σήματος που πρόκειται ή ταξίδεψε στο μέσο.

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer) είναι υπεύθυνο για την αξιοπιστία και έλεγχο της σύνδεσης που έχει δημιουργηθεί. Δηλαδή εντοπίζονται λάθη που ενδεχομένως δημιουργούνται από παρεμβολές κατά τη μεταφορά στο μέσο και

διορθώσεις λαθών όταν αυτό είναι εφικτό. Ορίζεται ο τρόπος που χωρίζεται το σήμα σε πλαίσια (frames) και ο ρυθμός μετάδοσης τους.

Το επίπεδο δικτύου (network layer) διαχειρίζεται και δρομολογεί τα πακέτα μέσα σε διάφορα δίκτυα. Ορίζεται διεύθυνση IP (internet protocol) δίνοντας τη δυνατότητα να γίνονται διακριτές και να αναγνωριστούν μεταξύ τους οι συνδεδεμένες συσκευές και να γίνεται η διευθυνσιοδότηση τους, για την δρομολόγηση και την προώθηση πακέτων.

Το επίπεδο μεταφοράς (transport layer) αφορά την άκρη σε άκρη (end-to-end) επικοινωνία. Ο ρόλος του είναι να τμηματοποιεί ή να ομαδοποιεί σε πακέτα τα δεδομένα ανάλογα εάν λαμβάνει ή στέλνει, καθώς και να χειρίζεται τα δύο πρωτόκολλα TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) υπεύθυνα για το επίπεδο της αξιοπιστίας και μεταφοράς. Το TCP θεωρείται ως την πιο αξιόπιστη μέθοδο λόγω του ελέγχου που γίνεται στα αποσταλμένα πακέτα για την εξασφάλιση της παραλαβής τους, ενώ το UDP ως το λιγότερο αξιόπιστο, αλλά γρήγορο μοντέλο αποστολής πακέτων.

Το επίπεδο εφαρμογής είναι το στάδιο στο οποίο τα δεδομένα χρησιμοποιούνται και επεξεργάζονται από το πρόγραμμα ή την εφαρμογή. Σε αυτό το στάδιο παρέχεται η διεπαφή στο πρόγραμμα που θα χρησιμοποιήσει για την ανταλλαγή πληροφοριών στο δίκτυο. Συγκεκριμένα προσφέρει πρωτόκολλα όπως μεταφοράς αρχείων (File transfer protocol, FTP), Μεταφοράς Υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol, HTTP) κ.α. (Yadong, Danlan, Wenqiang, & Rui, 2011).

2.2.2 Επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT

Η τεχνολογία του internet of things αναπτύσσεται με σκοπό να διαχειρίζεται τα δεδομένα και την πληροφορία με την καλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα. Η επίτευξη του στόχου ενισχύεται με τη προσπάθεια δημιουργίας αποδοτικών συνδέσεων μεταξύ συσκευών, και με την βελτίωση της σχέσης υλικού και λογισμικού. Η βελτίωση των επιμέρους υλικών που απαρτίζουν μία συσκευή και με συνδυασμό με την εκμετάλλευση του για την ανάπτυξη του λογισμικού εμφανίζονται διάφορες προσεγγίσεις και λύσεις, δημιουργώντας ένα πλήθος από συστήματα επικοινωνίας και πρωτόκολλα για την αξιοποίησή τους. Η καλύτερη εκδοχή για γρήγορη, αξιόπιστη και ασφαλή κάλυψη των αναγκών ενός IoT συστήματος υλοποιείται από έναν σχεδιασμό που είναι ορισμένος σε

επίπεδα αρχιτεκτονικής. Τα επίπεδα που έχουν προτείνει διάφοροι ερευνητές διαφέρουν στον ρόλο και στο πλήθος τους, αλλά παρουσιάζουν κάποιες κοινές τομές στη φιλοσοφία τους (Kumar & Mallickb, 2018).

Στις διάφορες αρχιτεκτονικές υλοποιήσεις έχουν παρουσιαστεί μοντέλα αποτελούμενα από τρία έως και επτά επίπεδα. Η αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων φαίνεται να είναι η πιο διαδεδομένη και πιο κατάλληλη σε συμβατικές εφαρμογές IoT. Παρουσιάζει επαρκώς τη βασική λειτουργία και φιλοσοφία του IoT, αλλά δεν καλύπτει πλήρως τις λεπτομερείς πλευρές του συστήματος. Εναλλακτικά αρχιτεκτονικές πέντε επιπέδων έρχονται να συμπληρώσουν την αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων προσθέτοντας επιπλέον δύο στρώματα, εμβαθύνοντας στον τρόπο διαχείρισης του τομέα μεταφοράς και επεξεργασίας της πληροφορίας. Ακολουθούν οι αρχιτεκτονικές όπως των έξι, επτά επιπέδων ή και FOG που με τη σειρά τους συνεισφέρουν προκειμένου να αντιμετωπίσουν συστήματα με αυξημένη πολυπλοκότητα και ανάγκες χαμηλού χρόνου μετάδοσης, ασφάλειας, αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας του συστήματος.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο και ασφαλές δίκτυο των IoT συσκευών, απαιτείται ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας. Τα πρωτόκολλα διαφέρουν μεταξύ τους και ανάλογα με τη χρήση και την διαχείριση του δικτύου εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα πρωτόκολλα εξαρτώνται από πέντε επίπεδα δικτύου γνωστά και ως OSI model που ορίζουν τον τρόπο διάδοσης των δεδομένων (Jamali, Bahrami, Heidari, Allahverdizadeh, & Norouzi, 2020).

2.3 Αρχιτεκτονική IoT

2.3.1 Επίπεδα αρχιτεκτονικής

Οι αρχιτεκτονικές των IoT που ακολουθούν είναι δομημένες έτσι ώστε να ξεκινάνε από τη μη επεξεργασμένη πληροφορία που πηγάζει από τον φυσικό κόσμο και να καταλήγουν στην υψηλής λογικής λειτουργία, εκμεταλλεύσιμη από τον άνθρωπο ή άλλη συσκευή. Για ένα απλό δίκτυο IoT που προορίζεται για οικιακή χρήση, η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων σε έναν μεγάλο βαθμό καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες και τους στόχους, ενώ επίσης χαρακτηρίζεται εύκολη στη σχεδίαση και στην υλοποίηση. Τα επίπεδα λειτουργούν συμπληρωματικά μεταξύ τους, ώστε συνολικά να δημιουργηθεί ένα

ενοποιημένο σύστημα, που θα οργανώσει το υλικό και το λογισμικό κομμάτι, παράγοντας ένα πλήρες λειτουργικό IoT σύστημα.

Ξεκινώντας από το πρώτο επίπεδο, που ονομάζεται perception ή sensing layer, αυτό αποτελεί θεμελιώδες το οποίο βρίσκεται και στις αρχιτεκτονικές μεγαλύτερων επιπέδων. Στο επίπεδο χειρίζονται λειτουργίες αναφορικά με δεδομένα που εξάγονται από τον φυσικό κόσμο. Οι πληροφορίες μπορούν να προέρχονται από αισθητήρες που καταγράφουν φυσικά χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασία, υγρασία ή την εικόνα μέσω μίας κάμερας, αλλά και αναλογικά σήματα παραγόμενα από άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν ασύρματες διαδικτυακές τεχνολογίες με σκοπό την επικοινωνία και την μετάδοση πληροφορίας μεταξύ τους. Εναλλακτικά, μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πηγή του IoT να αναγνωρίζει πράγματα και να συλλέγει πληροφορίες που εξάγονται από αισθητήρες και δεδομένα με σκοπό τη φυσική αλληλεπίδραση με τον κόσμο.

Το επόμενο επίπεδο που ακολουθεί είναι το επίπεδο δικτύου (network layer), με το κύριο κομμάτι του να είναι η επικοινωνία και η μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ συσκευών μικρών και μεγάλων αποστάσεων. Αν και η αρχική επεξεργασία των δεδομένων ξεκινάει από το perception layer, το network layer ασχολείται με τη μεταφορά και τη δρομολόγησή τους με ασφαλή, αξιόπιστο και αποδοτικό τρόπο. Υποστηρίζει πολλά πρωτόκολλα που το εξυπηρετούν ως προς τον τρόπο αλλά και την τοπολογία του δικτύου, αφού συμπεριλαμβάνει την έξυπνη διαχείριση τις μαζικής πληροφορίας που μεταφέρεται ασύρματα και ενσύρματα στα δίκτυα για την παροχή κοινής και ισότιμης υπηρεσίας όπως ορίζουν οι απαιτήσεις του.

Το τελευταίο επίπεδο είναι το επίπεδο εφαρμογής (application layer), που περιγράφει την διεπαφή μεταξύ του IoT συστήματος με άλλα συστήματα ή ανθρώπους. Υποστηρίζει υψηλής λογικής λειτουργίες και έννοιες του IoT συστήματος, που περιγράφουν το τελικό προϊόν. Είναι ένα επίπεδο στο οποίο αναπτύσσεται το λογισμικό, οι τεχνολογίες έξυπνου ελέγχου, ανάλυση και η διαχείριση της πληροφορίας που ανέρχεται από το perception layer (Yang, et al., 2011).

2.3.2 Πρωτόκολλα

Στην υλοποίηση των επιμέρων επιπέδων χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρωτόκολλα αναλογικά στην εφαρμογή του τελικού συστήματος για την εξασφάλιση της αξιόπιστης και

ασφαλούς λειτουργίας. Αρκετοί οργανισμοί και ομάδες υλοποίησαν πρωτόκολλα και πρότυπα για την επίτευξη του στόχου, με σκοπό να γίνει μία κύρια επιλογή για τα συνδεδεμένα συστήματα. Για κάθε εφαρμογή όμως διαφέρουν και η καταλληλότητα τους εξαρτάται από την εφαρμογή τους σε κάθε περίπτωση. Ανεξάρτητα, τα πρωτόκολλα προσφέρουν ευκολία και ταχύ ρυθμό στην ανάπτυξη των εφαρμογών και υπηρεσιών (Elhadi, Marzak, Sael, & Merzouk, 2018). Συγκεκριμένα, κάθε επίπεδο ή ομάδα επιπέδων αρχιτεκτονικής διαχειρίζεται κάποιο πρωτόκολλο. Το μοντέλο των τριών επιπέδων διαχωρίζει τα πρωτόκολλα στα ανάλογα επίπεδα με ευδιάκριτο και κατανοητό τρόπο.

Στο perception layer δεν ορίζονται τα πρωτόκολλα με τον ίδιο τρόπο όπως τα άλλα δύο επίπεδα, εφόσον αποτελείται από αισθητήρες και μηχανισμούς. Τα δεδομένα που λαμβάνονται ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να επίκειται σε μία επεξεργασία, πριν μεταφερθούν στα υψηλότερα επίπεδα. Εάν τα δεδομένα σχετίζονται με την επικοινωνία του συστήματος στο δίκτυο, το πρωτόκολλο που εφαρμόζεται στο επίπεδο του δικτύου (network layer) θεωρείται ότι υπάρχει και στο perception layer ως διαχειριστής του υλικού που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων (Elhadi, Marzak, Sael, & Merzouk, 2018). Το perception layer μπορεί να θεωρηθεί ότι εντάσσεται τμηματικά στα πρωτόκολλα του επιπέδου του δικτύου (network layer), αλλά μερικοί ερευνητές χωρίζουν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας σε δύο υπο-επίπεδα ως sensor-based network και gateway network (Hichem, Sana, Adeeb, & Abderrazak, 2020).

Το επίπεδο δικτύου (network layer) ως διαχειριστής για τη μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιεί πρωτόκολλα που ενσωματώνουν ενσύρματες αλλά κυρίως ασύρματες τεχνολογίες. Κάθε πρωτόκολλο προσφέρει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς η επιλογή του εξαρτάται από τις ανάγκες και το μέγεθος του δικτύου, αλλά και την απόσταση που θα πρέπει να καλυφθεί μεταξύ των συσκευών. Σε ένα IoT δίκτυο εφαρμόζονται λύσεις αξιόπιστες και με ασφάλεια των δεδομένων, με όσο λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Οι τρόποι μετάδοσης χωρίζονται σε ασύρματες και ενσύρματες επικοινωνίες.

2.3.2.1 Ενσύρματα πρωτόκολλα

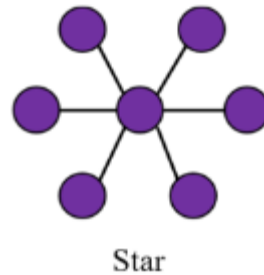
Στην κατηγορία των ενσύρματων πρωτοκόλλων βρίσκεται το Ethernet, ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος σύνδεσης, που ενώνει τις διάφορες συσκευές μέσω ομαδοποιημένων ζευγών καλωδίων ή οπτικών ινών προσφέροντας γρήγορες ταχύτητες

με χαμηλό χρόνο απόκρισης. Είναι μία λύση για σταθερές συσκευές με πολύ αξιόπιστη και γρήγορη μεταφορά δεδομένων, εφόσον είναι μια παλιά και ώριμη τεχνολογία με την χρήση της να προτιμάται μέχρι και σήμερα (Spurgeon, 2000). Στην ίδια κατηγορία βρίσκεται και το Power Line Communication (PLC), που χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα καλώδια ρεύματος ως μέσο σύνδεσης των συσκευών στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί η συσκευή να τροφοδοτείται και να ανταλλάσσει δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο. Η συγκεκριμένη προσέγγιση βελτιώνει την περίπτωση που η επικοινωνία μέσω καλωδίων Ethernet ή άλλων ασυρμάτου μέσων αδυνατεί να καλύψει την επικοινωνία της συσκευής με το δίκτυο, με την προϋπόθεση ότι η υπάρχουσα υποδομή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτεί τις συσκευές που θέλουν να επικοινωνήσουν (Majumder & Caffery, 2004).

2.3.2.2 Ασύρματα πρωτόκολλα

Τα ασύρματα πρωτόκολλα παρουσιάζουν μια ποικιλία ως προς την τοπολογία τους. Για την υποστήριξη μιας IoT υποδομής, εφαρμόζονται τοπολογίες με βάση το μέγεθος κάλυψης της περιοχής, το πλήθος των συσκευών, την κατανάλωση ενέργειας, την αξιοπιστία των ανταλλασσόμενων πληροφοριών και τη δυνατότητα επεκτασιμότητας του δικτύου. Επίσης, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου διάφορες τοπολογίες μπορούν να συνδυαστούν για την κάλυψη των αναγκών και των ειδικών απαιτήσεων.

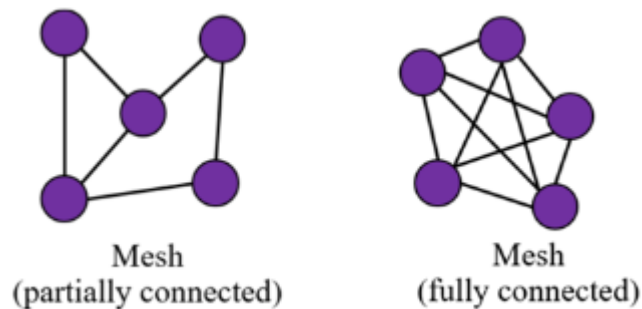
Αρχίζοντας από την τοπολογία αστέρι (star), ο σχεδιασμός του αποτελείται από έναν κεντρικό κόμβο (central hub) ή πύλη (gateway) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1**, στην οποία συνδέονται συσκευές (περιμετρικοί κόμβοι) και εξυπηρετούνται μέσω του κόμβου. Προσφέρει εύκολη διαχείριση του δικτύου και αποδοτικό τρόπο συλλογής και διαμοιρασμού δεδομένων. Αντιθέτως, δεν είναι ιδανικό για την υποστήριξη μεγάλου αριθμών συσκευών, καθώς η δυσλειτουργία του κεντρικού κόμβου συνεπάγεται στην διάσπαση του δικτύου.



Εικόνα 1: Τοπολογία αστέρι

Πηγή: [A metamodel for cyber-physical systems](#)

Στην τοπολογία πλέγματος (mesh) που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 2**, οι συσκευές συνδέονται μερικώς ή ολικώς μεταξύ τους. Η πληροφορία έχει την δυνατότητα να ρέει από διαφορετικά μονοπάτια προσφέροντας ένα αποκεντρωμένο δίκτυο ανθεκτικό σε αποσυνδέσεις κόμβων. Η σύνθετη διάταξη του δικτύου αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση αφού γίνονται αρκετές αναμεταδόσεις κατά την ανταλλαγή δεδομένων.

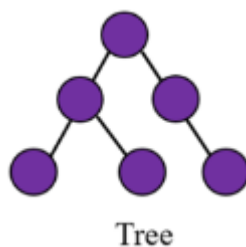


Εικόνα 2: Τοπολογία πλέγματος μερικώς και πλήρες συνδεδεμένο

Πηγή: [A metamodel for cyber-physical systems](#)

Η ιεραρχική τοπολογία ή τοπολογία δέντρου (tree) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3**, δομεί τις συνδέσεις σε επίπεδα. Η συσκευή που ορίζεται ο ανώτερος στην ιεραρχία ονομάζεται γονέας, και ενώνεται και εξυπηρετεί τις συσκευές παιδιά. Με την σειρά τους τα παιδιά παίρνουν τον ρόλο του γονέα, εφόσον αποκτήσουν με τη σειρά τους σύνδεση με συσκευές κατώτερου επιπέδου, δημιουργώντας σχέσεις ιεραρχίας. Με τη διάταξη αυτή, ορίζεται μια αποδοτική οργάνωση και διαχείριση των συσκευών, καθώς και δημιουργεί μοναδικά μονοπάτια σύνδεσης. Αν και μπορεί να εξυπηρετήσει ένα δίκτυο με

περισσότερες συσκευές μεταξύ τους, παρουσιάζεται μία απαίτηση διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων στα υψηλότερα επίπεδα του μοντέλου. Επίσης, αντιμετωπίζει παρόμοιες αδυναμίες με την τοπολογία αστεριού, αφού η αποσύνδεση ενός κόμβου από το δίκτυο θα προκαλέσει τη διακοπή της επικοινωνίας των συνδεδεμένων συσκευών που ενώνει (Ruojing, 2015).



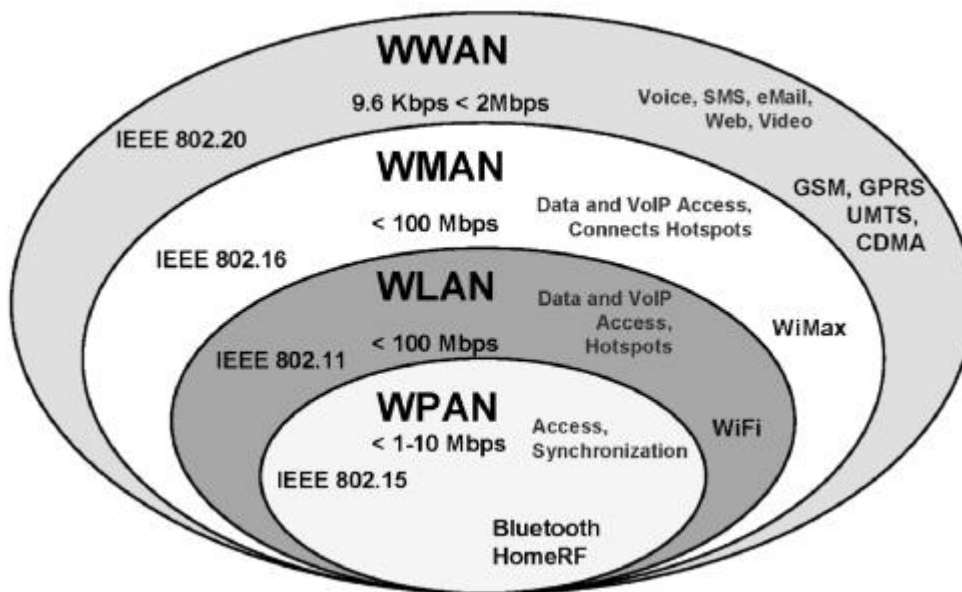
Εικόνα 3: Τοπολογία δέντρου

Πηγή: [A metamodel for cyber-physical systems](#)

Φυσικά ορίζεται και το υβριδικό (hybrid) μοντέλο, που συνδυαστικά ενώνει διάφορες τοπολογίες, με την πιο συνηθέστερη εφαρμογή να γίνεται σε μεγάλα σύνθετα δίκτυα. Παρομοίως, παρουσιάζεται και η τοπολογία συστάδας (cluster), που βασίζεται στην ομαδοποίηση των IoT, με κάθε ομάδα να έχει έναν κόμβο συντονιστή. Οι συντονιστές έχουν την ιδιότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να διαχειρίζονται την ομάδα που τους αναλογεί. Παρουσιάζουν βελτίωση στην απόδοση της ενέργειας του δικτύου, καθώς είναι εύκολη η επέκταση με την προσθήκη κόμβου συντονισμού. Η περιπλοκότητα όμως αρχίζει και γίνεται στο επίπεδο των συντονιστών, και η αποσύνδεση του κάθε ενός θα επιφέρει τη διακοπή σύνδεσης των συσκευών που διαχειρίζεται με το υπόλοιπο δίκτυο (Jekishan & Ankit, 2016; Nair, et al., 2015).

Τα ασύρματα πρωτόκολλα χωρίζονται όπως φαίνεται και στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** με κριτήριο το εύρος κάλυψης σε τέσσερα επίπεδα. Στο επίπεδο WWAN (802.20) που καλύπτουν γεωγραφικά μεγάλη έκταση με τα

πρωτόκολλα που εξυπηρετούν τις IoT εφαρμογές είναι τα δίκτυα κυψέλης (cellular network) και low power wide area network (LPWAN).



Εικόνα 4: Εύρος ασύρματων τεχνολογιών

Πηγή: [Cross-layer Design in wireless local area networks: Issues and Possible Solutions](#)

Αρχικά το LPWAN πρωτόκολλο που είναι σχεδιασμένο για συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, έχει τις ιδιότητες της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και ταχύτητας μετάδοσης, το οποίο το κάνει ιδανικό για τις IoT εφαρμογές. Στις ασύρματες τεχνολογίες κυψέλης βρίσκεται και η Long-Term Evolution (LTE / 4G), που είναι βασισμένη στην τοπολογία star και είναι μία προσέγγιση ικανή για τη σύνδεση και δημιουργία ενός δικτύου συσκευών. Η χρήση του κυρίως προορίζεται για την υπαίθρια ασύρματη σύνδεση κινητών και σταθερών συσκευών προσφέροντας υψηλές ταχύτητες με ενεργειακή απόδοση. Την επικοινωνία με αντίστοιχες αποστάσεις καλείται να εξυπηρετήσει και το 5G, με τα πλεονεκτήματά του να είναι η υψηλή μετάδοση των δεδομένων με χαμηλό χρόνο απόκρισης και μεγάλο πλήθος συσκευών για εξυπηρέτηση.

Οι τεχνολογίες κυψέλης λόγω των μεγάλων ευρέων συχνοτήτων καλύπτει και το WMAN, που αναφέρεται στην εξυπηρέτηση γεωγραφικής απόσταση σε επίπεδο πόλεων.

Στην συνέχεια το πρωτόκολλο WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), είναι ένα πρωτόκολλο μεγάλης εμβέλειας και επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας που εξυπηρετεί το συγκεκριμένο εύρος.

Στο επίπεδο WLAN βρίσκονται πρωτόκολλα με μικρότερο εύρος απόστασης. Αρχικά χρησιμοποιείται το καθιερωμένο πρωτόκολλο Wi-Fi, μία συλλογή από ασύρματα πρότυπα κοινή σε τοπικά ασύρματα δίκτυα (WLAN). Τα διάφορα πρότυπα δουλεύουν σε διαφορετικές συχνότητες, προσφέροντας επιλογές σε ρυθμό διάδοσης και απόσταση εξυπηρέτησης. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί την τοπολογία star ώστε να πάρει τον ρόλο του διακινητή για την εξυπηρέτηση του δικτύου. Η τεχνολογία δεν προτιμάται εύκολα σε ειδικής χρήσης συστήματα και δίκτυα IoT, λόγω της συνεχής κατανάλωσης ενέργειας που καταναλώνει ακόμα και σε στάδιο αναμονής. Το φιλικότερο προς τις εφαρμογές IoT που προσφέρει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης και ενεργειακό κόστος, φαίνεται στο LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Networks).

Με παρόμοιο τρόπο, το Z-Wave έχει σχεδιαστεί με ελάχιστες απαιτήσεις ενέργειας. Η επικοινωνία γίνεται χρησιμοποιώντας χαμηλής ενέργειας ραδιοκύματα, μεταφέροντας και διαδίδοντας από συσκευή σε συσκευή δεδομένα, δημιουργώντας ένα δίκτυο τύπου πλέγματος (mesh network). Τέλος, το πρωτόκολλο Zigbee προσφέρει σύνδεση υψηλού επιπέδου επικοινωνίας με χαμηλή ενέργεια και μεγάλη αποδοτικότητα. Οι συσκευές που κάνουν χρήση αυτού του δικτύου μπορούν να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους αλλά και έμμεσα μέσω ενδιάμεσων συσκευών που λειτουργούν σαν δρομολογητές.

Στον ανάλογο τρόπο που οι συσκευές IoT επικοινωνούν ασύρματα βρίσκεται το Bluetooth Low Energy (BLE). Η τεχνολογία Bluetooth χρησιμοποιώντας υψηλές συχνότητες ραδιοκυμάτων, καταφέρνει να μεταφέρει δεδομένα σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ συσκευών. Το BLE είναι μία εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής, ώστε να ελαττωθεί η κατανάλωση ενέργειας της κατά την ανταλλαγή πληροφοριών, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη διατήρηση του απαιτούμενου εύρους απόστασης για την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών (Springer, 2007).

Επιπλέον, υπάρχει η Near field Communication (NFC) βασισμένη στην επικοινωνία μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, με την προαπαιτούμενη απόσταση να είναι περίπου στα τέσσερα εκατοστά. Η τεχνολογία εξυπηρετεί συσκευές που λειτουργούν ως κλειδιά, ταυτότητες, ή πιστωτικές / χρεωστικές κάρτες να αλληλοεπιδρούν ανέπαφα μεταξύ

ενεργών συσκευών. Παρόμοια φιλοσοφία ακολουθείται από την Radio Frequency Identification (RFID) που, επίσης, εκμεταλλεύεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και μπορεί να λειτουργήσει σε μεγαλύτερο εύρος απόστασης από το NFC. Ενσωματώνεται συχνά σε συστήματα αναγνώρισης, παρακολούθησης και εντοπισμού προϊόντων σε γραμμές παραγωγής ή αντίστοιχα και σε IoT συσκευές (Elhadi, Marzak, Sael, & Merzouk, 2018).

2.4 Πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής

Αρκετά πρωτόκολλα χρησιμοποιούν την RESTfull λογική, όπου ο όρος REST ορίζεται σαν Representational “State” Transfer, εννοώντας ότι ο διακομιστής δεν αποθηκεύει κάποια κατάσταση-δεδομένα σχετικά με τον αποστολέα για μελλοντική αναφορά. Κάθε αίτημα που γίνεται από τον αποστολέα θα πρέπει να περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα. Ο συγκεκριμένος όρος αναφέρεται ως statelessness, εννοώντας ότι κάθε ανταλλαγή μηνυμάτων γίνεται σε απομόνωση.

Οι τρόποι επικοινωνίας μεταξύ συσκευών δικτύου χωρίζονται σε δύο πρότυπα μοντέλα. Το πρώτο παρουσιάζεται ως μοντέλο αιτήματος / απάντησης (request / response). Έχει σχεδιαστεί με την κύρια λογική ότι ο εξυπηρετούμενος (client) κάνει ένα αίτημα (request) στον διακομιστή (server) με σκοπό να εκτελέσει μία εργασία, ο διακομιστής τελειώνει την εκτέλεση της επιστρέφοντας κάποιο μήνυμα απάντησης (response). Το μήνυμα που επιστρέφεται από τον διακομιστή έχει σκοπό να ενημερώσει τον εξυπηρετούμενο ως προς την κατάσταση του αιτήματος. Η άλλη προσέγγιση επικοινωνίας είναι της δημοσίευσης / εγγραφής (publish / subscribe). Το πρωτόκολλο χρειάζεται έναν κεντρικό διαμεσολαβητή (broker) που λαμβάνει δεδομένα που δημοσιεύονται (publish) και τις διαμοιράζει στους ενδιαφερόμενους που έχουν εγγραφεί (subscribe).

Το HTTP (hypertext transfer protocol) λειτουργεί με την χρήση του request / response προσέγγιση. Είναι ένα πρωτόκολλο RESTfull και κάνει χρήση του πρωτοκόλλου TCP στο επίπεδο μεταφοράς προσδίδοντας αξιοπιστία στην ανταλλαγή δεδομένων. Όμως, θεωρείται αρκετά δαπανηρό ως προς την ανάγκη για ενέργεια μεταξύ πολλών συνδέσεων, αφού δεν είναι σχεδιασμένο για συσκευές περιορισμένων πόρων λόγω του σύνθετου σχεδιασμού του.

Το Constraint Application Layer Protocol (CoAP) είναι ένα RESTfull πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων που χρησιμοποιεί χαμηλή επεξεργαστική ισχύ και κατά επέκταση ενεργειακή κατανάλωση. Το CoAP αναπαριστά τα δεδομένα που μεταφέρονται σε δυαδική μορφή, και στη συνέχεια χρησιμοποιεί το μοντέλο publisher/subscriber που επίσης υποστηρίζει την αποστολή πολλαπλών μηνυμάτων στους παραλήπτες. Τέλος το CoAP αποτελείται από δύο επίπεδα, το επίπεδο ανταλλαγής μηνυμάτων μέσω του publisher/subscriber μοντέλου για αξιόπιστη επικοινωνία και το επίπεδο request/response για τη βασική επικοινωνία.

Το πρωτόκολλο Message Queue Telemetry Transport (MQTT) είναι ένα πρωτόκολλο μοντέλου publisher/subscriber με έναν κεντρικό διαμεσολαβητή (broker), ο οποίος πρέπει να είναι γνωστός και στον publisher και στον subscriber για την επικοινωνία. Ο ρόλος του διαμεσολαβητή είναι να φιλτράρει όλα τα εισερχόμενα μηνύματα και να τα διανέμει ανάλογα. Το MQTT είναι εφαρμόσιμο μόνο για περιορισμένες συσκευές με χαμηλή ισχύ, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, περιορισμένη χωρητικότητα μνήμης και χαμηλό εύρος ζώνης. Το MQTT υποστηρίζει πολλαπλή διανομή μηνυμάτων (multicast) και μπορεί να παρέχει επικοινωνία προς οποιαδήποτε απομακρυσμένη συσκευή. Πλεονέκτημα της χρήσης του MQTT είναι ότι μειώνει την κίνηση του δικτύου μειώνοντας τον περιττό φόρτο μεταφοράς και ανταλλαγής πρωτοκόλλου, μειώνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης και εξασφαλίζει την παράδοση του πακέτου, ενώ επίσης, ειδοποιεί τον χρήστη αν παρουσιαστούν ανωμαλίες. Χρησιμοποιεί τρεις μεθόδους για να επιτύχει την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS), με την κάθε μία να παρέχει κανόνες για την προώθηση και ενημέρωση της κατάστασης του μηνύματος.

Το Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) είναι το πιο κοινό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων στο διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Το XMPP χρησιμοποιείται ευρέως σε όλα τα δίκτυα, καθώς υποστηρίζει διπλής κατεύθυνσης απόκρισης αιτήματος και τη διάδοση σε πολλαπλούς παραλήπτες μηνύματα (multicast) με το μοντέλο publisher/subscriber. Χρησιμοποιεί μορφή κειμένου XML για φυσική επικοινωνία μεταξύ ατόμων, όπου ο χρόνος απόκρισης ορίζεται σε δευτερόλεπτα. Το XMPP είναι υψηλής ασφάλειας και ευέλικτο πρωτόκολλο. Το μειονέκτημα του είναι ότι δεν παρέχει ποιότητα υπηρεσίας (Quality of service, QoS) και δεν είναι κατάλληλο για την επικοινωνία από μηχανή σε

μηχανή (M2M). Επειδή επίσης χρησιμοποιεί μορφή κειμένου XML για την επικοινωνία, μπορεί να προκαλέσει υπερβολικό φόρτο κίνησης στο δίκτυο.

Το Data Distribution Service (DDS) είναι μια αρχιτεκτονική χωρίς την ανάγκη διαμεσολαβητή, που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές M2M (μηχανή προς μηχανή) του IoT για επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, καθώς προσφέρει αξιοπιστία και ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Το DDS χρησιμοποιεί δύο υποεπίπεδα για να υποστηρίξει το QoS. Το υποεπίπεδο publisher/subscriber, που αναλαμβάνει την ευθύνη για την παράδοση των δεδομένων στους subscribers και το υποεπίπεδο τοπικής ανακατασκευής δεδομένων, που είναι υπεύθυνο για την ενοποίηση του DDS με το επίπεδο εφαρμογής. Με άλλα λόγια, αυτό το επίπεδο διασφαλίζει ότι το DDS, το οποίο χειρίζεται τη διανομή και τη διαχείριση των δεδομένων, συνδέεται αποτελεσματικά και αλληλοεπιδρά με τις λειτουργίες της εφαρμογής υψηλότερου επιπέδου, επιτρέποντας στα δεδομένα να ρέουν απρόσκοπτα μεταξύ του DDS και του επιπέδου εφαρμογής. Αυτή η ενοποίηση επιτρέπει στα δεδομένα που ανταλλάσσονται μέσω του DDS να χρησιμοποιηθούν και να επεξεργαστούν από τις εφαρμογές που εκτελούνται στην κορυφή του επιπέδου εφαρμογής.

Το Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ανταλλαγής μηνυμάτων και πρότυπα επικοινωνίας. Χρησιμοποιεί το πρότυπο publisher/subscriber, και έχει εφαρμογές κυρίως στο χρηματοοικονομικό τομέα. Το AMQP είναι αξιόπιστο και διαθέτει αποτελεσματική ουρά μηνυμάτων. Υποστηρίζει την αλληλεπίδραση και συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών που υποστηρίζουν διάφορες γλώσσες. Για να εξασφαλίσει την παράδοση των μηνυμάτων, χρησιμοποιεί τους όρους at most once, at least once και exactly once. Χρησιμοποιεί δύο προσεγγίσεις, η πρώτη είναι ουρά ανταλλαγής (exchange queue) για τη δρομολόγηση των μηνυμάτων στην ουρά με κατάλληλη σειρά και η ουρά μηνυμάτων (message queue) για την αποθήκευση των λεπτομερειών των μηνυμάτων που αποστέλλονται στον παραλήπτη.

Το Secure MQTT (SMQTT) είναι μια επέκταση του MQTT. Είναι ένα «ελαφρύ» πρωτόκολλο και χρησιμοποιεί μηχανισμό κρυπτογράφησης στην επικοινωνία. Τα μηνύματα που κρυπτογραφούνται, παραδίδονται σε πολλούς κόμβους για να βελτιωθεί η λειτουργία ασφαλείας και αποτελείται από τέσσερα στάδια. Στο πρώτο στάδιο εγκατάστασης, ο publisher και ο subscriber θα εγγραφούν στον διαμεσολαβητή (broker) για να λάβουν έναν κύριο κλειδί βάσει του ορισμένου αλγορίθμου δημιουργίας κλειδίων.

Το μήνυμα κρυπτογραφείται και στη συνέχεια αποστέλλεται στον subscriber, όπου και αποκρυπτογραφείται (Saritha & Sarasvathi, 2017).

Κεφάλαιο 3 Επισκόπηση Πρωτοκόλλων και Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Παρακολούθησης και Βελτιστοποίησης Ενέργειας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η βιβλιογραφική επισκόπηση των τρόπων υλοποίησης συστημάτων που στοχεύουν στην παρακολούθηση και βελτιστοποίηση ενέργειας βασισμένων στην τεχνολογία Internet of Things. Συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα πρωτόκολλα που επιλέχθηκαν και η τελική αρχιτεκτονική των συστημάτων.

Τα δημοσιεύματα βασίζονται σε αρχιτεκτονικές με στόχο την εξοικονόμηση, διαχείριση, ή και παρακολούθηση ενέργειας κτηρίου με την χρήση IoT συστημάτων. Οι μελέτες μολονότι έχουν παρόμοιους στόχους, οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες ποικίλουν, προσπαθώντας να δημιουργήσουν συστήματα που καλύπτουν τις αντίστοιχες ανάγκες. Στην διαδικασία αυτή, τα συστήματα θα πρέπει να ενσωματωθούν σε διαφορετικές καταστάσεις και περιβάλλοντα. Η επισκόπηση αναλύεται ως προς την συνδεσιμότητα, τους κανόνες επικοινωνίας και την μέθοδο χειρισμού των IoT συσκευών. Ως τελικό συμπέρασμα από την μελέτη της επισόπησης, γίνεται η καταγραφή των τεχνολογιών και προσεγγίσεων που χρησιμοποιήθηκαν, με σκοπό την ανάπτυξη αντίστοιχου λογισμικού.

3.1 Perception - Sensing layer

Στο sensing layer θα αναλυθούν οι συσκευές και θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την συλλογή των δεδομένων, και τον απομακρυσμένο έλεγχο. Επιπλέον, θα αναφερθούν οι τρόποι επεξεργασίας δεδομένων, που γίνονται και τέλος οι διάφορες προκλήσεις που έρχονται αντιμέτωποι οι διάφοροι ερευνητές.

3.1.1 Τύποι αισθητήρων

Οι αισθητήρες και οι έξυπνες συσκευές είναι υπεύθυνες στην εξαγωγή των πληροφοριών του φυσικού κόσμου. Έτσι η επιλογή των τύπων είναι σημαντική, αφού θα καθορίσουν τις δυνατότητες του συστήματος. Μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρατηρείται ότι οι κοινοί αισθητήρες που επιλέχθηκαν ήταν βασισμένοι στην παρακολούθηση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμοκρασίας. Συσκευές όπως έξυπνες πρίζες (smart plugs) και φώτα τα (smart lights) είναι υπεύθυνες για τη μέτρηση ενέργειας και την διαχείριση τους. Αντίστοιχα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν μετρητές θερμοκρασίας, ενώ σε μερικές περιπτώσεις ενσωματώθηκαν και μετρητές

υγρασίας. Επιπλέον συσκευές ειδικότερης χρήσης εμφανίζονται σε συστήματα, όπως διάφοροι αισθητήρες ανίχνευσης.

Αρχικά, η ανίχνευση καπνού σκοπό έχει να προστατέψει το κτήριο από ανεπιθύμητες ποσότητες καπνού, που μπορούν να προκληθούν. Επίσης αναφέρονται αισθητήρες ανίχνευσης ανθρώπων, που ρόλο έχουν να ρυθμίζουν τους χώρους όπου υπάρχει η παρουσία τους με επαρκής φωτισμό και άλλα χαρακτηριστικά, για την καλύτερη διαμονή τους. Εναλλακτικά στην περίπτωση απουσίας ανθρώπων, το σύστημα στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας των συσκευών στους συγκεκριμένους χώρους. Παρόμοια, αλλά πιο συγκεκριμένη χρήση έχει ο αισθητήρας κίνησης, που ενεργοποιεί ανάλογα τον προγραμματισμό του διάφορες συσκευές ή μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος ασφάλειας του κτηρίου, ενημερώνοντας τους χρήστες για τυχόν παραβιάσεις παραθύρων και εισόδων. Επίσης, γίνεται αναφορά του αισθητήρα φωτός (lighting sensor), ο οποίος αισθάνεται την ποσότητα φωτός στο δωμάτιο και την προσαρμόζει ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Για παράδειγμα, στη διάρκεια της ημέρας αναγνωρίζει το φυσικό φως και ελαττώνει και προσαρμόζει την ένταση του τεχνητού φωτός αυτόματα.

Οι συσκευές δεν περιορίζονται αποκλειστικά σε ειδικά χαρακτηριστικά, καθώς επεκτείνεται η λειτουργικότητα τους με τη σύνθεση διάφορων αισθητήρων πάνω σε Arduino. Το Arduino μπορεί να διαχειριστεί τα ακατέργαστα δεδομένα που καταγράφονται, όπως και να εκτελεί ενέργειες από εντολές που λαμβάνει. Ο τρόπος που υλοποιείται δίνει την ευελιξία στον κατασκευαστή να ενσωματώνει διάφορα ηλεκτρικά στοιχεία (modules). Με αυτή την προσέγγιση μπορούν να ενσωματωθούν πιο σύνθετες συσκευές και πιο ποικίλες λειτουργίες.

3.1.2 Μέθοδοι καταγραφής δεδομένων

Η καταγραφής των δεδομένων που πραγματοποιείται από τις συσκευές γίνεται πρώτον περιοδικά, και δεύτερον με βάση κάποια γεγονότα που είτε καθορίζονται στην ίδια συσκευή, είτε προέρχονται από διάφορες άλλες πηγές. Οι πηγές μπορεί να είναι είτε οι χρήστες, όπου άμεσα δίνουν εντολές καταγραφής, είτε άλλα συστήματα που επικοινωνούν, παίρνοντας τον ρόλο του χρήστη. Επίσης, υπάρχουν εντολές που καταγράφουν δεδομένα ανά σύντομα χρονικά διαστήματα, με σκοπό την παρακολούθηση

των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα περισσότερα δημοσιεύματα ακολουθούν τη χρονικά συνεχόμενη καταγραφή δεδομένων, με σκοπό την άμεση ανταπόκριση του συστήματος.

3.1.3 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία δεδομένων είναι η διαδικασία εξαγωγής της αναλογικής πληροφορίας και μετατροπής της σε ψηφιακή, ενώ ενδέχεται να χρειαστεί περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Τον ρόλο της ενισχυμένης επεξεργασίας μπορεί να την αναλάβει η ίδια η συσκευή, ή το κεντρικό σύστημα που λαμβάνει τα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αφαιρέσει τυχόν θόρυβο και παρεμβολές, ή να εξάγει άλλες πληροφορίες, όπως με την επεξεργασία εικόνας να εντοπίσει κίνηση, ή άλλα αντικείμενα από δεδομένα κάμερας. Για πιο σύνθετα συστήματα διαχείρισης δεδομένων οι δημοσιοποιήσεις προτιμούν τα δεδομένα να γίνονται σε κεντρικά συστήματα, έχοντας την ευχέρεια της επεξεργασίας και τη σύνθεση των πληροφοριών σε ένα σύστημα.

3.1.4 Προκλήσεις

Στην υλοποίηση και εγκατάσταση των συσκευών, εμφανίζονται διάφορες δυσκολίες που επηρεάζουν τα δεδομένα και τον τρόπο επικοινωνίας. Μερικές συσκευές είναι επιρρεπείς σε διάφορες εξωγενείς παράγοντες, που δεν είναι αντιπροσωπευτικοί του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα μικρές συσκευές που παράγουν θερμότητα κοντά στον αισθητήρα θερμοκρασίας, μπορούν να προκαλέσουν λανθασμένες μετρήσεις θερμοκρασίας. Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα είναι η πρόχειρη αρχικοποίηση των αισθητήρων των συσκευών, που φέρνει σαν αποτέλεσμα την λανθασμένη μετατόπιση των καταγραφών. Οι προκλήσεις δεν οφείλονται όμως μόνο στη ρύθμιση και την αλληλεπίδραση τους με τον χώρο, αλλά και στην τοποθέτησή τους ειδικότερα στο κτήριο. Δηλαδή, μπορεί να επιφέρουν δυσκολία στην εγκατάστασή τους λόγω αρχιτεκτονικών προδιαγραφών, υλικών που εμποδίζουν την ενσύρματη/ασύρματη επικοινωνία τους και άλλοι παράμετροι που ήρθαν αντιμέτωποι οι ερευνητές.

3.2 Network Layer

Στο network layer επισημαίνονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και ο τρόπος μεταφοράς δεδομένων, που επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Επιπλέον, αναλύονται τα χαρακτηριστικά του δικτύου και οι μέθοδοι ασφάλειας της επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων. Οι επιλογές των τεχνολογιών που υιοθετούνται θα παρουσιαστούν στις παρακάτω ενότητες, με σκοπό την αξιολόγηση τους.

3.2.1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα που ενσωματώνονται βασίζονται στις ασύρματες επικοινωνίες, έναντι των ενσύρματων. Η επιλογή αυτή, έχει σκοπό την ευκολότερη σύνδεση ως προς τις υποδομές που χρειάζεται το κτήριο, καθώς προσφέρει την δυνατότητα μεταφοράς των IoT συσκευών εφόσον υπάρχει η απαιτούμενη τροφοδοσία τους. Συγκεκριμένα, τα πρωτόκολλα που αναφέρονται είναι τα ευρέως χρησιμοποιούμενα, όπως:

- Το IEEE 802.11 ή αλλιώς Wi-Fi, κοινό σε οικιακά δίκτυα.
- Το IEEE 802.15.4 που στοχεύει σε χαμηλό ενεργειακό κόστος και χαμηλό ρυθμό μεταφορά δεδομένων.
- Το WiMax για εφαρμογές ευρείας εμβέλειας και σταθερών συνδέσεων
- Το LoRa, επίσης για εφαρμογές ευρείας εμβέλειας και χαμηλού κόστους.
- Το Bluetooth και το Bluetooth Low Energy (BLE).
- Κυψελωτά δίκτυα, όπως τεχνολογίες 3G, 4G και LTE.
- Το ZigBee και Z-wave δίκτυα πλέγματος (mesh networks)
- Ομοίως το δίκτυο πλέγματος 6LoWPAN πρωτόκολλο, που ενσωματώνει το IPv6.
- Το RPL που επίσης ενσωματώνει το IPv6, που έχει σχεδιαστεί για χαμηλής ισχύος συστήματα και χαμηλής αξιοπιστίας δίκτυα.
- Το X10 το οποίο κάνει χρήση των καλωδίων τροφοδοσίας για την σύνδεση του με τις άλλες συσκευές.

3.2.2 Μεταφορά δεδομένων

3.2.3 Τοπολογία δικτύου

Οι επιλεγόμενες τοπολογίες των περισσότερων δημοσιευμάτων που υλοποιούνται, βασίζονται σε δίκτυα πλέγματος (mesh) και αστεριού (star). Η τοπολογία πλέγματος χρησιμοποιείται σε τοπικά δίκτυα και αναφέρονται σε μικρότερης πολυπλοκότητας δίκτυα. Τα μικρότερα δίκτυα φέρουν μικρότερη κίνηση δεδομένων που τα κάνει ευκολότερα και διαχειρίσιμα, καθώς η αποθήκευση και η επεξεργασία δεν απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Αντίθετα, η τοπολογία αστεριού εξαρτάται από την υπολογιστική ισχύ του κεντρικού κόμβου να αντέχει την υψηλή κίνηση των δεδομένων που παραλαμβάνει και για αυτό, μπορεί εύκολα να πάρει τον ρόλο του μία υπηρεσία cloud. Η υπηρεσία πρέπει να είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο, δίνοντας την δυνατότητα να υπάρχει πρόσβαση από κάθε συνδεδεμένη συσκευή σε αυτό.

3.2.4 Μέτρα ασφαλείας

Στο κομμάτι αυτό οι διάφορες έρευνες επισημάνουν τεχνικές για τη διασφάλιση της επικοινωνίας, των δεδομένων και την αξιοπιστία τους. Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την περιορισμένη πρόσβαση στις δυνατότητες του συστήματος, πιστοποιώντας τα άτομα που κάνουν χρήση της υπηρεσίας. Επιπλέον, για την ενδιάμεση επικοινωνία προτείνεται η κρυπτογράφηση των δεδομένων που μεταφέρονται μεταξύ των συσκευών, αλλά και των δεδομένων που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τον χρήστη. Περαιτέρω, προβλέπεται η ενίσχυση του τοίχου προστασίας του δικτύου που εντάσσονται οι συσκευές για την προστασία του από κακόβουλες ενέργειες. Τέλος, υπάρχουν διαδικασίες πιστοποίησης των συσκευών που στέλνουν δεδομένα στο δίκτυο, μέσω μίας διαδικασίας ένταξης και αποδοχής.

3.3 Application Layer

Το application layer, ως και το τελευταίο επίπεδο (layer), ενσαρκώνει το τελικό σύστημα, που τα προηγούμενα επίπεδα (layers) θα υποστηρίξουν. Το λογικό κομμάτι που υλοποιείται στο application layer, ενοποιεί τα έργα και παρουσιάζει την τελική μορφή του συστήματος. Η ενότητα έχει δομηθεί έτσι, ώστε να παρουσιάσει τις διαφορές και τις ομοιότητες ως προς τις εφαρμογές των έργων, την διαχείριση των δεδομένων τους, την

αλληλεπίδραση των συστημάτων με τον χρήστη και τέλος, την δυνατότητα να αναπτυχθούν περαιτέρω.

3.3.1 Εφαρμογή των Internet of Things

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών βασίζεται στην ενσωμάτωση των IoT συσκευών σε υπαρκτά κτήρια ή μη, δημιουργώντας εφαρμογές βασισμένες σε smartphone, ή διαδικτυακές εφαρμογές (web App), οι οποίες θα ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο και θα παρακολουθούν τις IoT συσκευές. Σε ένα μέρος της επισκόπησης φαίνεται να ενσωματώνονται περεταίρω λειτουργίες στα έργα που περιγράφουν. Συγκεκριμένα, υποστηρίζουν λειτουργίες αποθήκευσης και παρουσίασης των δεδομένων, ώστε να προβάλλουν τη συνολική εικόνα των χαρακτηριστικών του κτηρίου. Συμπληρωματικά, προσφέρονται και λειτουργίες αυτοματισμού, που ορίζονται από τον χρήστη, για την καλύτερη διαχείριση των συσκευών και κατά επέκταση του κτηρίου.

3.3.2 Διεργασία και ανάλυση δεδομένων

Ένας βασικός λόγος επεξεργασίας δεδομένων είναι η καταμέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου. Ο τρόπος που αυτά θα συγκεντρωθούν, εξαρτάται από το πώς θα πρέπει να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη ελάττωση του όγκου δεδομένων τους στο δίκτυο, αλλά και στο cloud. Από την άλλη, η επεξεργασία των δεδομένων έχει σαν σκοπό να αναγνωριστούν οι καταστάσεις που απαιτούν την προσοχή των χρηστών, όπως είναι κάποιες ασυνήθιστες μετρήσεις, ή καταστάσεις σε επίπεδο ασφάλειας αντικειμένων και ανθρώπων, ή και των εισόδων του εκάστοτε κτηρίου. Ακόμη, η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με σκοπό τη στατιστική ανάλυσή τους για μελλοντική χρήση.

3.3.3 Διεπαφή χρήστη

Το περιβάλλον αλληλεπίδρασης όπως αναλύεται στην επισκόπηση, βασίζεται σε εφαρμογές smartphone και διαδικτυακές εφαρμογές (web App). Αρχικά, οι εφαρμογές βασίζονταν σε ένα απλό περιβάλλον διαχείρισης συσκευών, προσφέροντας την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και καταστάσεων. Οι δυνατότητές τους βασίζονται σε πιο απλές συσκευές με δύο, ή και περισσότερες καταστάσεις, όπως φώτα και πρίζες. Για πιο σύνθετες συσκευές τα περιβάλλοντα που παρέχονται, ενσωμάτωναν στοιχεία με

περισσότερο έλεγχο, όπως ρύθμιση συσκευών με αρκετές παράμετρους, όπως κάμερες, ή συστήματα κλίματος του κτηρίου. Επιπλέον υπάρχουν λειτουργίες ενημέρωσης των χρηστών, όπως η αποστολή ειδοποιήσεων και μηνυμάτων. Στα συστήματα που ενσωματώθηκαν τεχνολογίες cloud, υπάρχουν διαθέσιμες λειτουργίες και υπηρεσίες, εξαρτώμενες από την πλατφόρμα που επιλέχθηκε από τον κατασκευαστή του συστήματος.

3.3.4 Επεκτασιμότητα

Στο κομμάτι της επεκτασιμότητας, συναντώνται δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη αναφέρεται στην κατακόρυφη κλιμάκωση (vertical scalability), όπου ορίζεται ως η βελτίωση ενός μεμονωμένου διακομιστή, ή κόμβου για τη διαχείριση μεγαλύτερου φορτίου. Στη δεύτερη περίπτωση, είναι η οριζόντια κλιμάκωση (horizontal scalability) και αναφέρεται στην προσθήκη συσκευών σε ένα σύστημα, ή κόμβων για τη διαχείριση του αυξημένου φορτίου. Στις προσεγγίσεις των δημοσιοποιήσεων εμφανίζονται και τα δύο, προσφέροντας το κάθε ένα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του. Η επιλογή μεταξύ κάθετης και οριζόντιας επεκτασιμότητας εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και χαρακτηριστικά του συστήματος IoT. Οι εφαρμογές μικρότερης κλίμακας μπορεί να βρουν επαρκή κατακόρυφη επεκτασιμότητα, ενώ μεγαλύτερα και πιο σύνθετα συστήματα συχνά επωφελούνται από την οριζόντια επεκτασιμότητα για τη διαχείριση της αυξημένης κίνησης, του όγκου δεδομένων και των συνδέσεων συσκευών.

Επίσης, εμφανίζονται και υβριδικά μοντέλα που συνδυάζουν την κάθετη και την οριζόντια επεκτασιμότητα. Συγκεκριμένα, στα συστήματα που παρουσιάζονται στην επισκόπηση εμφανίζονται μη κεντροποιημένα συστήματα, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και αναλύονται τοπικά στην εκάστοτε συσκευή. Κάνοντας χρήση της οριζόντιας κλιμάκωσης (horizontal scalability), δίνεται η δυνατότητα να αυξάνονται οι συσκευές χωρίς να απαιτούνται αλλαγές, ή βελτιώσεις στις συσκευές του δικτύου. Αντίθετα, στα κεντροποιημένα συστήματα όταν ο κεντρικός κόμβος, ή διακομιστής που είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων δεν επαρκεί, τότε θα δημιουργηθεί η συσσώρευση τους. Σε αυτή την περίπτωση, προβλέπεται, είτε να αναβαθμιστεί η υπολογιστική δυνατότητα του κόμβου, είτε να αντικατασταθεί από μία cloud υπηρεσία, όπως προβλέπεται στις κατακόρυφες κλιμακώσεις (vertical scalability).

Κεφάλαιο 4 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό, αναγράφονται τα βήματα για την ανάπτυξη του λογισμικού τα έχοντας λάβει υπόψιν την προηγηθείσα βιβλιογραφική επισκόπηση. Ο στόχος του τελικού έργου είναι η υλοποίηση της διαχείρισης και της παρακολούθησης των χαρακτηριστικών του κτηρίου, ενσωματώνοντας IoT συσκευές, μέσω του αναπτυσσόμενου λογισμικού. Στο έργο υλοποιείται το application layer και τμηματικά το network layer της αρχιτεκτονικής των IoT, εφόσον βασίζεται σε software εφαρμογές. Οι εφαρμογές και γενικότερα το σύστημα βασίζεται στην λογική του κεντροποιημένου συστήματος.

Αρχικά, το λειτουργικό σύστημα που αναπτύχθηκε η εφαρμογή είναι τα Windows 11. Βασισμένο σε αυτό το λειτουργικό σύστημα, εγκαταστάθηκε το Docker με τη βοήθεια του WSL (Windows Subsystem For Linux). Για τον ορισμό του περιβάλλοντος (containers) των κάθε τμημάτων του συστήματος, χρειάστηκε να ληφθούν κάποια images από το Docker Hub που προσφέρεται ως υπηρεσία από την ομάδα του Docker. Τα τμήματα που θα υλοποιηθούν είναι:

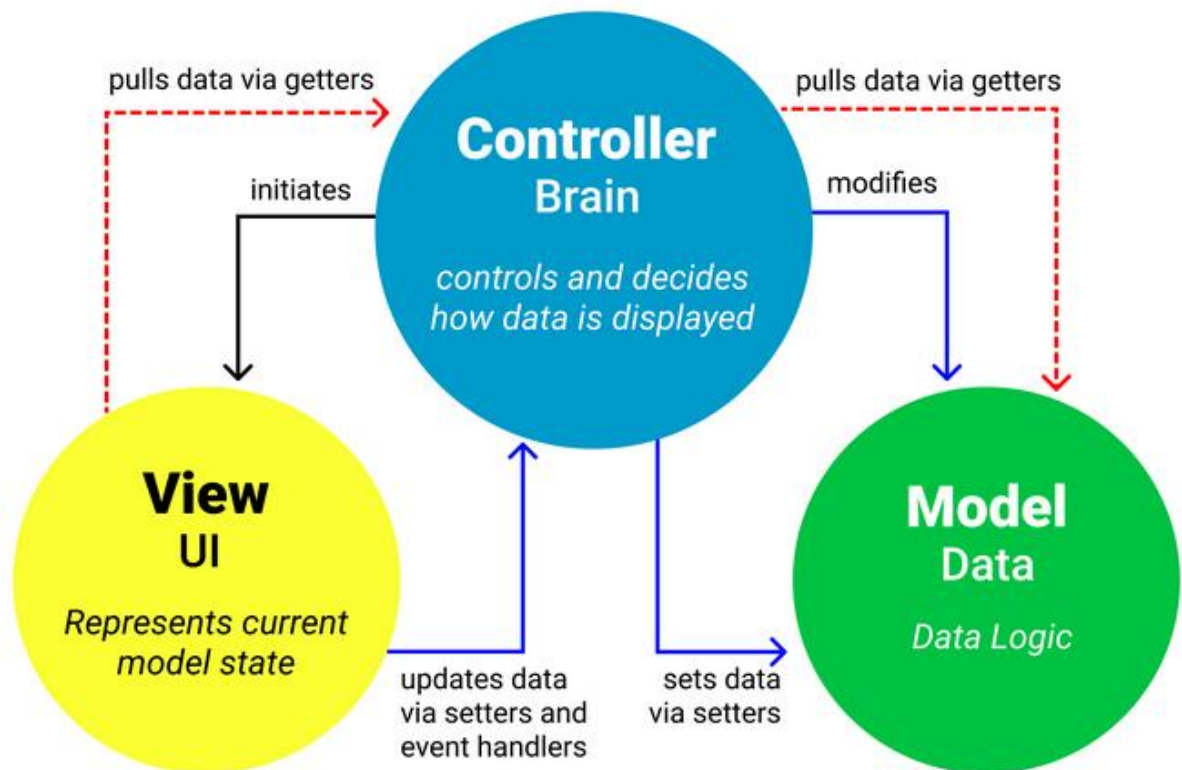
- Ο server, που θα λειτουργεί ως ο κεντρικός κόμβος του συστήματος.
- Το Web app που θα αλληλοεπιδρά ο χρήστης.
- Οι message Brokers MQTT και Redis, που θα εξυπηρετούν το σύστημα ως προς τις ανταλλαγές πληροφοριών.
- Το περιβάλλον που θα τρέχει Python scripts, έχοντας τον ρόλο ενεργών συσκευών για την προσομοίωση του συστήματος.

Για να γίνει αυτό εφικτό, συντάχθηκαν τα αντίστοιχα Dockerfiles για τη δημιουργία του image του Server, του Web app και των Python Scripts, προκειμένου να συμπληρωθούν κάποια περαιτέρω χαρακτηριστικά. Για τα υπόλοιπα containers, τα images λήφθηκαν χωρίς παραμετροποιήσεις. Στην συνέχεια, έγινε η σύνταξη του yaml αρχείου με όνομα docker-compose, ώστε να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα containers ομαδοποιημένα. Το docker-compose λειτουργεί ως ένα αρχείο, που περιέχει τις οδηγίες και τα χαρακτηριστικά των containers, όπου χρειάζεται το Docker.

Ο προγραμματισμός του server πραγματοποιήθηκε με το Django βασισμένο στην γλώσσα python. Το Django είναι ένα framework ανοιχτού κώδικα που ακολουθεί το MVC (Model View Controller) μοτίβο αρχιτεκτονικής που φαίνεται στην **Εικόνα 5**, συχνά εφαρμόσιμο σε γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής χρήστη (graphical user interface, GUI)

και σε δικτυακές εφαρμογές (web application). Η εφαρμογή του προσφέρει τον διαχωρισμό των αποτελούμενων στοιχείων, καθιστώντας την αρχιτεκτονική της εφαρμογής πιο συντηρήσιμη και επεκτάσιμη. Αυτή η διάσπαση των στοιχείων επιτρέπει στους προγραμματιστές να αναπτύσσουν διαφορετικά τμήματα της εφαρμογής ανεξάρτητα και να πραγματοποιούν αλλαγές σε ένα στοιχείο χωρίς να επηρεάζουν τα άλλα. Συνολικά το Django προσφέρει γρήγορη, ασφαλή και επεκτάσιμη ανάπτυξη δικτυακών εφαρμογών εφοδιάζοντας τους προγραμματιστές με εργαλεία και βιβλιοθήκες ελαττώνοντας τις επαναληπτικές εργασίες, εστιάζοντας στην ανάπτυξη της κύριας λογικής.

MVC Architecture Pattern



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονικό μοντέλο MVC

Πηγή: [freecodecamp \(2023\)](https://www.freecodecamp.org/2023/03/14/mvc-architecture/)

Συγκεκριμένα ένα από τα ενσωματωμένα εργαλεία που προσφέρονται για την ανάπτυξη του server είναι το ORM (Object-Relational Mapping). Το ORM έχει σχεδιαστεί να απλοποιεί και να επιταχύνει τη διαδικασία δημιουργίας και διαχείρισης της βάσης δεδομένων. Ορίζοντας μοντέλα ως κλάσεις της Python, κάνει αυτόματα τη σχεδίαση και τη δημιουργία των πινάκων, καθώς και τις σχετικές ενημερώσεις, δημιουργίες, διαγραφές και αναζητήσεις οι οποίες γίνονται μέσω μεθόδων χωρίς να απαιτούνται SQL εντολές. Το Django framework, αν και δεν περιέχει ενσωματωμένα την βιβλιοθήκη REST framework, είναι προσβάσιμο ως εξωτερική βιβλιοθήκη. Είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία δικτυακών RESTful API (Application Programming Interface) και την εκτέλεση σχετικών εργασιών.

Για την ανάπτυξη της διαδικτυακής σελίδας χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη React με συνδυασμό το Node.js για την προώθηση της σελίδας στο δίκτυο και την εξυπηρέτηση τις κίνησης των χρηστών. Το Node.js είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, που υποστηρίζει πολλές πλατφόρμες περιβάλλοντος εκτέλεσης (runtime environment), καθώς επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές στην πλευρά του διακομιστή (server) χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript. Χρησιμοποιεί μοντέλο εκδηλώσεων και ασύγχρονης επεξεργασίας εισόδου/εξόδου, κάνοντάς το αποτελεσματικό και κατάλληλο για τον χειρισμό μεγάλου αριθμού ταυτόχρονων συνδέσεων. Παρέχει ένα πλούσιο οικοσύστημα πακέτων και βιβλιοθηκών μέσω του διαχειριστή πακέτων του, του npm (Node Package Manager), το οποίο επιτρέπει στους προγραμματιστές να ενσωματώνουν εύκολα εξωτερικές βιβλιοθήκες και εργαλεία στα έργα τους.

Η React είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη σε JavaScript που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαδικτυακών εφαρμογών. Αναπτύχθηκε και συντηρείται από την ομάδα του Facebook, ενώ ασχολείται με τ δυναμική εμφάνιση περιεχομένου στην σελίδα, με βάση τα δεδομένα. Η React ακολουθεί μια αρχιτεκτονική δομημένη σε στοιχεία (components), όπου η σύνθεση της σελίδας βασίζεται στα επαναχρησιμοποιήσιμα και ανεξάρτητα στοιχεία (components). Τα στοιχεία ενσωματώνουν τη δική τους λογική και απεικόνιση, καθιστώντας πιο εύκολη τη διαχείριση και τη συντήρηση πολύπλοκων διεπαφών χρήστη (user interfaces).

Η React συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα εργαλεία και βιβλιοθήκες. Στη συγκεκριμένη υλοποίηση εφαρμόζεται η React Router για τη διαχείριση της πλοήγησης μεταξύ των σελίδων. Η React Bootstrap, που είναι μία δημοφιλής βιβλιοθήκη εμφάνισης για τη δημιουργία διεπαφών χρήστη (user interface). Παρέχει προσχεδιασμένα και αλληλοεπιδρόμενα στοιχεία διεπαφής χρήστη (user interface) που μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν. Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν πράγματα όπως μπάρες πλοήγησης, κουμπιά, φόρμες, παράθυρα αναδυόμενων παραθύρων και πολλά άλλα, όλα σχεδιασμένα σύμφωνα με τις αρχές σχεδίασης του Bootstrap. Επίσης, η βιβλιοθήκη Material-UI είναι μία ακόμα δημοφιλής ανοικτού κώδικα βιβλιοθήκη. Βασίζεται στις αρχές του Material Design της Google, που παρέχουν μια συνεπή και οπτικά ελκυστική γλώσσα σχεδίασης.

Το Axios είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη που συνήθως χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση αιτημάτων HTTP από μια ιστοσελίδα προς έναν διακομιστή (server). Η βιβλιοθήκη παρέχει μια απλή σύνταξη για τον προγραμματισμό και αποστολή αιτημάτων HTTP, τον χειρισμό απαντήσεων και την αντιμετώπιση σφαλμάτων. Υποστηρίζει διάφορες μεθόδους του HTTP, όπως GET, POST, PUT και DELETE, και επιτρέπει να οριστούν εύκολα επικεφαλίδες (headers).

Η βιβλιοθήκη Recharts χρησιμεύει στη δημιουργία διαδραστικών και προσαρμόσιμων γραφημάτων για την προβολή δεδομένων στην ιστοσελίδα. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να ενσωματώνουν και να διαχειρίζονται εύκολα πολύπλοκα διαγράμματα. Η βιβλιοθήκη προσφέρει μια ποικιλία τύπων διαγραμμάτων και διάφορες επιλογές προσαρμογής για χρώματα, στυλ και animation. Το Recharts απλοποιεί τη διαδικασία απεικόνισης των δεδομένων ως οπτικά στοιχεία, βελτιώνοντας την εμπειρία του χρήστη και διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα.

Το Eclipse Mosquitto είναι ένας διαμεσολαβητής μηνυμάτων ανοιχτού που υλοποιεί τις εκδόσεις 5.0, 3.1.1 και 3.1 του πρωτοκόλλου MQTT. Το Mosquitto είναι μία ελαφριά υλοποίηση για χρήση σε συσκευές από χαμηλής ισχύος έως πλήρεις διακομιστές (server). Ο μεσολαβητής (broker) υποστηρίζει το πρωτόκολλο MQTT παρέχοντας λειτουργία για την μέθοδο εκτέλεσης μηνυμάτων του μοντέλου publish/subscribe. Καθίσταται κατάλληλο για ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα σε συστήματα Internet of Things, όπως αισθητήρες χαμηλής ισχύος ή κινητές συσκευές, όπως τηλέφωνα, ενσωματωμένους υπολογιστές ή

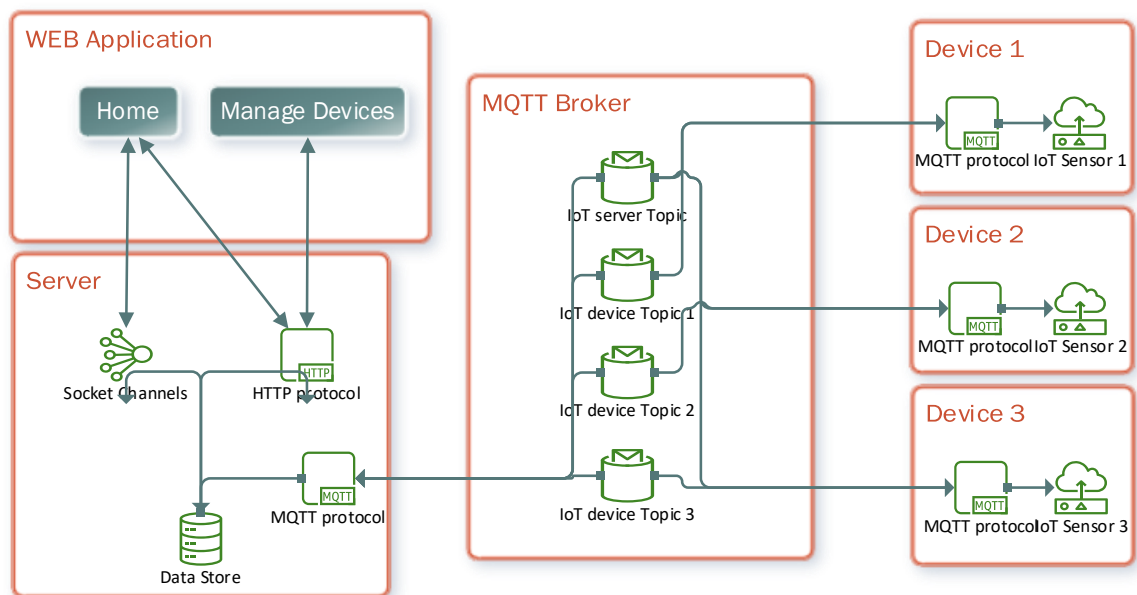
μικροελεγκτές. Ενσωματώνοντας την βιβλιοθήκη Paho-mqtt της Eclipse που παρέχει μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού και πλατφορμών με λειτουργικότητα πελάτη (client) MQTT, επιτρέπει στους προγραμματιστές να συνδέουν εύκολα τις εφαρμογές τους με μεσολαβητές του MQTT πρωτοκόλλου και να στέλνουν/λαμβάνουν μηνύματα. Η βιβλιοθήκη υποστηρίζει τα επίπεδα QoS (Quality of Service) 0, 1 και 2, επιτρέποντας διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας παράδοσης μηνυμάτων. Παρέχει επίσης χαρακτηριστικά όπως αυτόματη επανασύνδεση, (last will and testament) και υποστήριξη (clean session). Η βιβλιοθήκη Paho MQTT απλοποιεί τη διαδικασία δημιουργίας εφαρμογών που αξιοποιούν το πρωτόκολλο MQTT για αποτελεσματική και αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων σε διάφορα σενάρια IoT και επικοινωνίας.

Το Redis (Remote Dictionary Server) είναι ένα ανοικτού κώδικα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων και προσωρινής μνήμης. Συχνά μπορεί να χρησιμοποιείται ως βάση δεδομένων, διαμεσολαβητής μηνυμάτων (message broker) και σύστημα προσωρινής μνήμης. Συχνά αναφέρεται ως server για δομές δεδομένων, διότι επικεντρώνεται κυρίως στην αποτελεσματική διαχείριση διαφόρων δομών δεδομένων στη μνήμη. Το Redis είναι σχεδιασμένο για υψηλή απόδοση, χαμηλού χρόνου απόκρισης αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων. Χρησιμοποιείται συνήθως σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών (Web Applications), εφαρμογών που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, όπως τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης ή σε online παιχνίδια, αλλά λειτουργεί και σαν προσωρινή μνήμη (cache memory).

Κεφάλαιο 5 Αρχιτεκτονική και Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται ο σχεδιασμός μιας εφαρμογής που θα ασχολείται με τη μέτρηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας ενός IoT δικτύου, με σκοπό την εξοικονόμηση αυτής. Η εφαρμογή που έχει υλοποιηθεί, έχει δομηθεί σε software containers με την βοήθεια του Docker. Για τη δημιουργία και την παραμετροποίηση των containers έχουν γραφεί τα σχετικά Dockerfiles αρχεία, ώστε να γίνει ο ορισμός των images, που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του λογισμικού και που θα υποστηρίζουν τις αναπτυσσόμενες εφαρμογές. Στην συνέχεια καλούνται στο αρχείο docker-compose, που περιέχει τις παραμέτρους των containers σχετικά με τις εσωτερικές ρυθμίσεις του περιβάλλοντος, τους συνδεδεμένους καταλόγους και του εσωτερικού δικτύου, για την επικοινωνία μεταξύ τους.

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2**. Η εφαρμογή έχει υλοποιηθεί σε πέντε containers, που παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στην συνέχεια.



Σχήμα 2: Δομή της εφαρμογής

5.1 Server

Ένα από τα containers αφορά την υλοποίηση του server. Ο server αναπτύχθηκε με το Django framework με σκοπό τη διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται από τις διάφορες συσκευές. Χρησιμοποιώντας το MQTT πρωτόκολλο επικοινωνεί με τον MQTT Broker, και ως εγγραφόμενος στα θέματα (topics) διαβάζει τα δεδομένα που δημοσιοποιούν οι συσκευές. Συγκεκριμένα, ο server εγγράφεται σε δύο θέματα (topics) όπου στο πρώτο θέμα (sensor/energy/consumption) εγγράφονται τα μηνύματα που αναφέρονται στις μετρήσεις των συσκευών και στο δεύτερο θέμα (sensor/energy/status) αναφέρονται τα μηνύματα σχετικά με την κατάσταση της συσκευής. Οι ορισμοί των ονομάτων των θεμάτων (topics) σχεδιάστηκαν με την αντίστοιχη λογική των URL (Uniform Resource Locator), δηλαδή ως ένα περιγραφικό μονοπάτι.

Στο πλαίσιο διαχείρισης των δεδομένων χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων SQLite που παρέχεται ως προεπιλεγμένη στο Django για την αποθήκευση των δεδομένων. Η αποθήκευση στη βάση δεδομένων γίνεται αυτοματοποιημένα ως υπηρεσία του Django. Για τη διαχείριση της βάσης ορίζονται τα σχετικά μοντέλα που περιγράφουν τα πεδία των κλάσεων. Οι κλάσεις είναι:

1. Η Space, που περιγράφει τον χώρο που βρίσκονται οι συσκευές, ώστε να ομαδοποιούνται χωρικά,
2. η Device που ορίζει πληροφορίες για τις συσκευές, όπως την κατάστασή τους (συνδεδεμένη, ενεργοποιημένη), και περιέχεται σαν πεδίο στην Space, και
3. η Measurement που αφορά την περιγραφή της μέτρησης που γίνεται από τη συσκευή.

Τα πεδία περιγράφουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση, την ημέρα, την ώρα που έγινε η μέτρηση και η σε ποια συσκευή ανήκει η μέτρηση.

Ο τρόπος για τη παρουσίαση των δεδομένων από τον server, γίνεται μέσω του Web API (Application Programming Interface) που δημιουργήθηκε με τη βιβλιοθήκη Django REST framework. Με τα API calls που έχουν υλοποιηθεί ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, διαβάσει, ενημερώσει και να διαγράψει (Create, Read, Delete, Update, CRUD) χώρους (Spaces), συσκευές (Devices) και μετρήσεις (measurements) με τις μεθόδους που επιτρέπει το HTTP πρωτόκολλο. Επίσης δημιουργείται και η σύνδεση με

το redis ως διαμεσολαβητής μηνυμάτων (message broker) για την αποστολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω web sockets (Django channels).

5.2 Διαδικτυακή Εφαρμογή (Web Application)

Το επόμενο container περιλαμβάνει τη διαδικτυακή εφαρμογή, που αναλαμβάνει το περιβάλλον αλληλοεπίδρασης του χρήστη, προσφέροντας λειτουργίες και δεδομένα. Η ανάπτυξη της σελίδας έγινε με την React και node.js. Η εφαρμογή έχει τον ρόλο της παρουσίασης των δεδομένων και των λειτουργιών που προσφέρει ο server. Οι κλήσεις της σελίδας προς τον server έγιναν με τη βιβλιοθήκη axios, ενώ για τα διάφορα στιλιστικά στοιχεία (components) της σελίδας χρησιμοποιήθηκαν πακέτα από τις βιβλιοθήκες Bootstrap και Material UI για τα κουμπιά, κάρτες, διακόπτες (switches) κ.α. που απαρτίζουν την εφαρμογή. Στην περίπτωση των γραφημάτων χρησιμοποιήθηκαν τα πακέτα από την βιβλιοθήκη recharts που αναπαριστούν τα δεδομένα μέσω των web socket, τα οποία παρέχονται από τον server. Με τη βοήθεια της σελίδας ο χρήστης μπορεί να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τις καταναλώσεις, καθώς και να δημιουργεί χώρους και να ομαδοποιεί τις εγκατεστημένες συσκευές.

5.3 Redis

Σε ένα ξεχωριστό container βρίσκεται το Redis (Remote Dictionary Server). Το Redis απαιτείται για την υλοποίηση χαρακτηριστικών πραγματικού χρόνου από το Django Channels προκειμένου να προσφερθεί η υπηρεσία ασύγχρονης επικοινωνίας μέσω WebSocket. Το Django Channels είναι μια επέκταση του Django που επιτρέπει τη διαχείριση ασύγχρονων πρωτοκόλλων όπως τα WebSockets. Το Redis παίρνει τον ρόλο του διαμεσολαβητή μηνυμάτων (Message Broker) για το Django και συγκεκριμένα δρα ως η κεντρική ουρά μηνυμάτων, επιτρέποντας σε διάφορα μέρη της εφαρμογής να επικοινωνούν ασύγχρονα. Βοηθά στη διατήρηση πολλαπλών ενεργών συνδέσεων WebSocket, που επιτρέπει στον server να μεταδίδει παράλληλα μηνύματα για κάθε συσκευή σε όλους τους συνδεδεμένους χρήστες.

5.4 MQTT Broker

Ο διαμεσολαβητής μηνυμάτων (message broker) του πρωτόκολλου MQTT που έχει επιλεγεί είναι το Mosquitto, υλοποιημένο από την eclipse. Η Eclipse Foundation είναι μία παγκόσμια κοινότητα ατόμων και οργανισμών και παρέχει διάφορα λογισμικά ανοιχτού κώδικα. Ο επιλεγόμενος διαμεσολαβητής (Broker) είναι ένας μεσίτης μηνυμάτων ανοιχτού κώδικα που υλοποιεί τις εκδόσεις 5.0, 3.1.1 και 3.1 του πρωτοκόλλου MQTT. Το Mosquitto είναι ελαφρύ και κατάλληλο για χρήση σε όλες τις συσκευές, από υπολογιστές χαμηλής ισχύος έως αναπτυγμένους υπολογιστικά servers. Η λειτουργία και η ρύθμιση των παραμέτρων του Broker απαιτεί ένα αρχείο (mosquitto.conf) για τον τρόπο λειτουργίας του, και παράλληλα παράγει μόνος του το αρχείο για την καταχώριση συμβάτων (logs) και ένα αρχείο (mosquitto.db) για την αποθήκευση των μηνυμάτων που δημοσιοποιούνται ως βάση δεδομένων (database). Για την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων έχει δημιουργηθεί χρήστης αποτελούμενος από όνομα (username) και κωδικό (password), ώστε οι συσκευές του κτηρίου που θα κάνουν χρήση του διαμεσολαβητή (Broker) να χρειαστεί να ταυτοποιηθούν προτού αρχίζουν να ανταλλάσσουν μηνύματα, ενώ με την αποτυχία ταυτοποίησης θα τους αποτραπεί η δυνατότητα χρήσης του Broker. Εφόσον γίνει επιτυχημένη η σύνδεση και η ταυτοποίηση των συσκευών και του server στον Broker, θα είναι σε θέση αυτές να δημοσιοποιούν (publish) μηνύματα και να εγγραφούν (subscribe) σε διάφορα θέματα (topics).

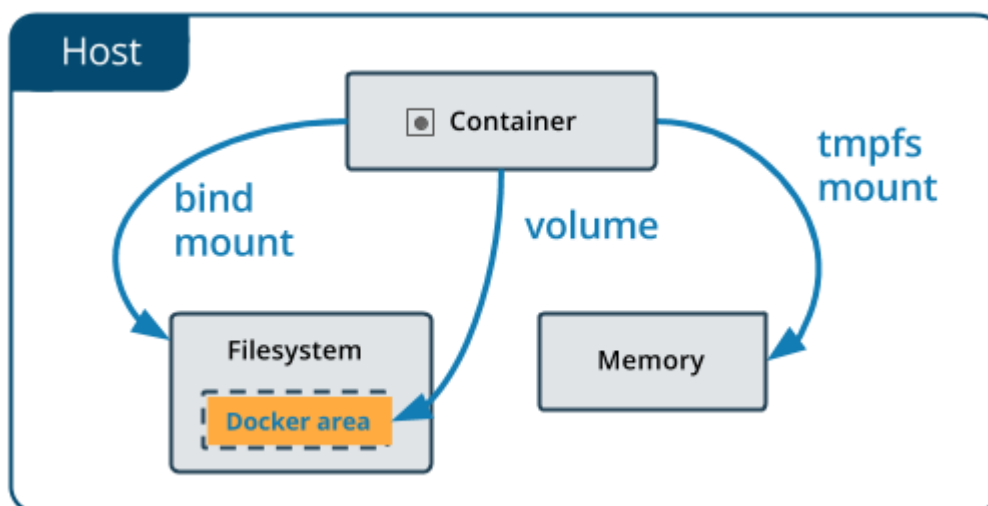
5.5 Προσομοίωση των Internet of Things συσκευών

Απομονωμένα σε container τα scripts που είναι γραμμένα σε Python, προσομοιώνουν την συμπεριφορά των συσκευών. Χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MQTT για την επικοινωνία τους με τον server μέσω βιβλιοθήκης paho-mqtt έκδοσης 1.6.1. Η βιβλιοθήκη έχει σχεδιαστεί να εξυπηρετεί τον πρωτόκολλο MQTT στις εκδόσεις 5.0, 3.1.1 και 3.1, που είναι όμοιες με του MQTT διαμεσολαβητή (Broker) για την επιτυχή επικοινωνία. Οι συσκευές έχουν προβλέψιμη συμπεριφορά όσο αναφορά την μέτρηση της κατανάλωσης. Ανάλογα με το είδος της συσκευής παράγουν σχετικές καταναλώσεις, όπου χωρίζονται σε τρία εύρη τιμών (economy operation, normal operation, performance operation), από τα οποία το κάθε ένα εύρος δίνει μία τυχαία κατανάλωση της κατηγορίας του. Οι συσκευές δεν έχουν σκοπό μία ρεαλιστική μέτρηση, αλλά την εξασφάλιση της

σωστής λειτουργίας από το επίπεδο της συσκευής έως την εμφάνιση των πληροφοριών στον χρήστη.

5.6 Docker containers

Κάθε στοιχείο της εφαρμογής όπως αναφέρεται, βρίσκεται σε software containers. Το κάθε container που υλοποιεί μια εικονικοποίηση του λειτουργικού συστήματος περιέχει εσωτερικά έναν κατάλογο, ο οποίος αντιστοιχεί σε αντίστοιχο κατάλογο του συστήματος που το φιλοξενεί (host operational system), όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3**. Με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα παραμένουν ανεξάρτητα από την κατάσταση του container, καθώς και οι όποιες αλλαγές μπορούν να γίνουν εντός και εκτός του περιβάλλοντος. Ως μία διαδικτυακή εφαρμογή, χρειάζεται να οριστούν οι στατικές διευθύνσεις IP και οι σχετικές προωθήσεις των πορτών (port forwarding) για την μεταξύ τους επικοινωνία, όπως και για την διαθεσιμότητα τους από άλλα δίκτυα. Αρχικά, δημιουργήθηκε το εικονικό υποδίκτυο 172.18.0.0 και η μάσκα 255.255.0.0 (172.18.0.0/16) που χρησιμοποιήσαν τα containers.



Σχήμα 3: Διαχείριση δεδομένων του container

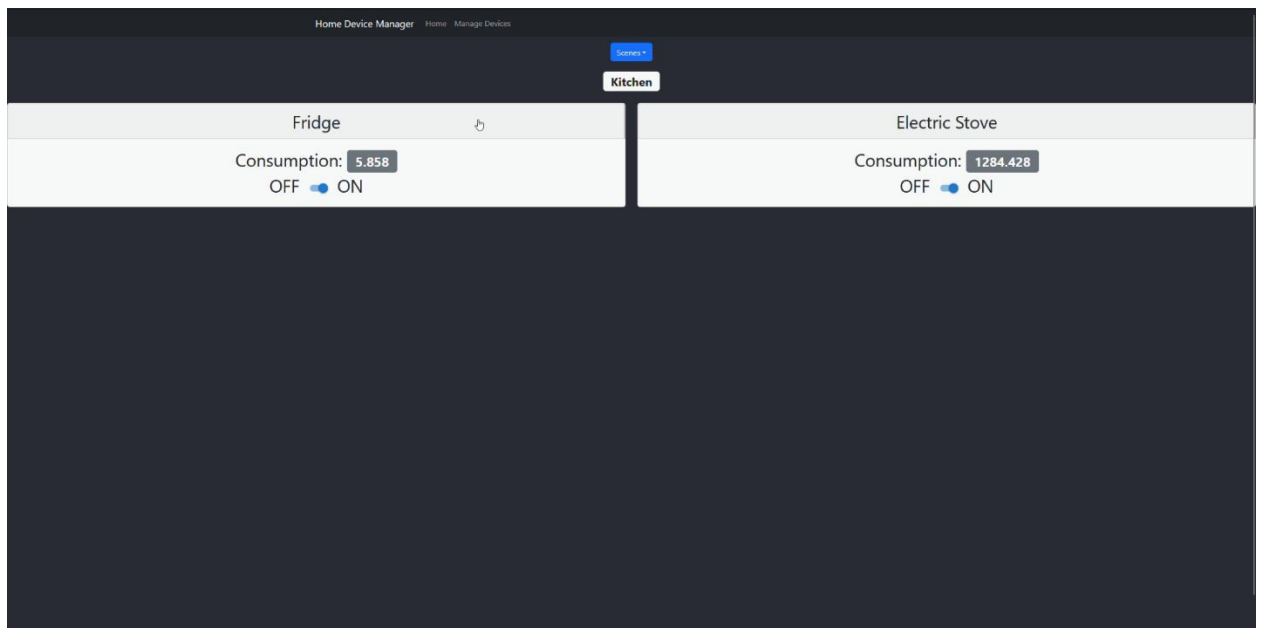
Πηγή: [docker.docs](https://docs.docker.com)

Στον **Πίνακα 1** φαίνονται οι διευθύνσεις των containers στο συγκεκριμένο υποδίκτυο, καθώς και η αντιστοιχία των πορτών (port mapping) μεταξύ του container και του host.

Πίνακας 1: περιγραφή του υποδικτύου

Container	IP Address	Container Port	Host Port
Frontend (React App)	172.8.0.5	3000	3000
Backend (Django Server)	172.8.0.2	8000	8000
Redis	172.8.0.6	6379	6379
MQTT	172.8.0.3	1883	1883
		9001	9001

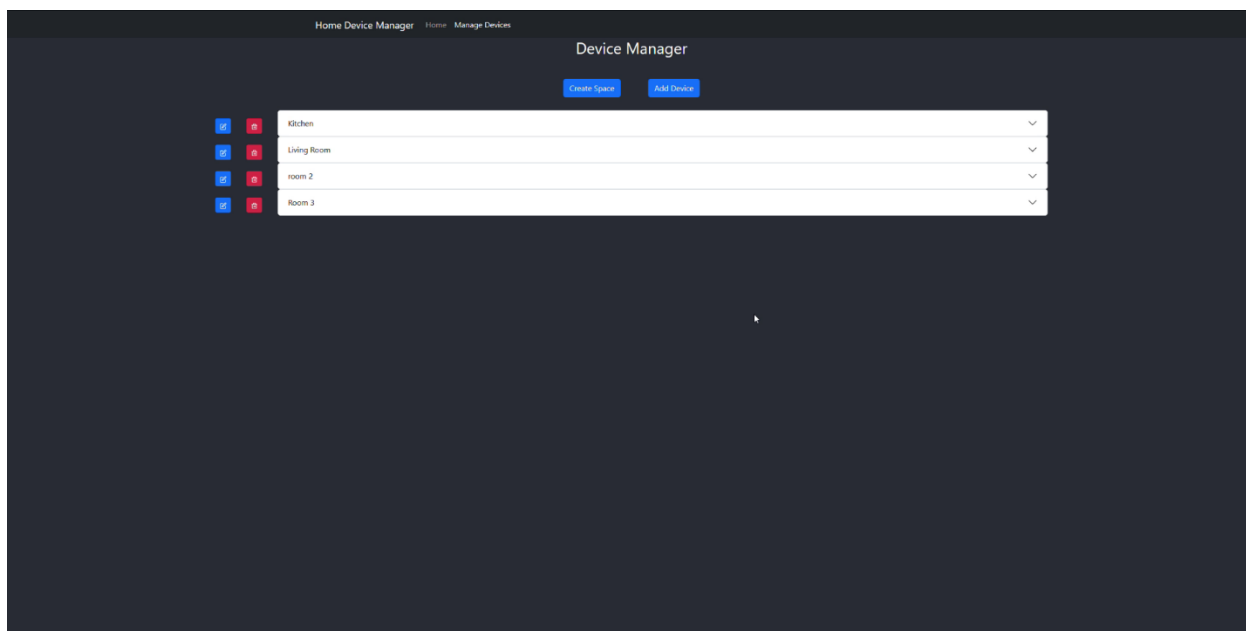
Η εφαρμογή αυτή αποτελείται από δύο σελίδες: τη σελίδα Home, η οποία είναι η κεντρική σελίδα εφαρμογής όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6**, και εμφανίζει τις συσκευές ανά χώρο (Space), προβάλλοντας τις τρέχουσες καταναλώσεις και έναν διακόπτη (switch). Λόγω της απλότητας των συσκευών, δεν περιέχονται πιο σύνθετες λειτουργίες, οπότε υπάρχει περιορισμός ως προς τον έλεγχο τους. Επίσης, κατά την επιλογή της συσκευής, εμφανίζεται το αντίστοιχο γράφημα κατανάλωσης – χρόνου.



Εικόνα 6: Κεντρική σελίδα εφαρμογής

Η δεύτερη σελίδα είναι η Manage Device όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7**, στην οποία γίνεται η διαχείριση των συσκευών. Στην σελίδα παρουσιάζονται οι συσκευές ανά χώρο, καθώς και κάποιες επιλογές διαχείρισής τους. Οι επιλογές που διατίθενται είναι οι εξής: η

δημιουργία χώρου, η αλλαγή του ονόματός του, η διαγραφή του χώρου και κατά επέκταση των συσκευών που βρίσκονται σε αυτόν, και τέλος η εισαγωγή των συσκευών.



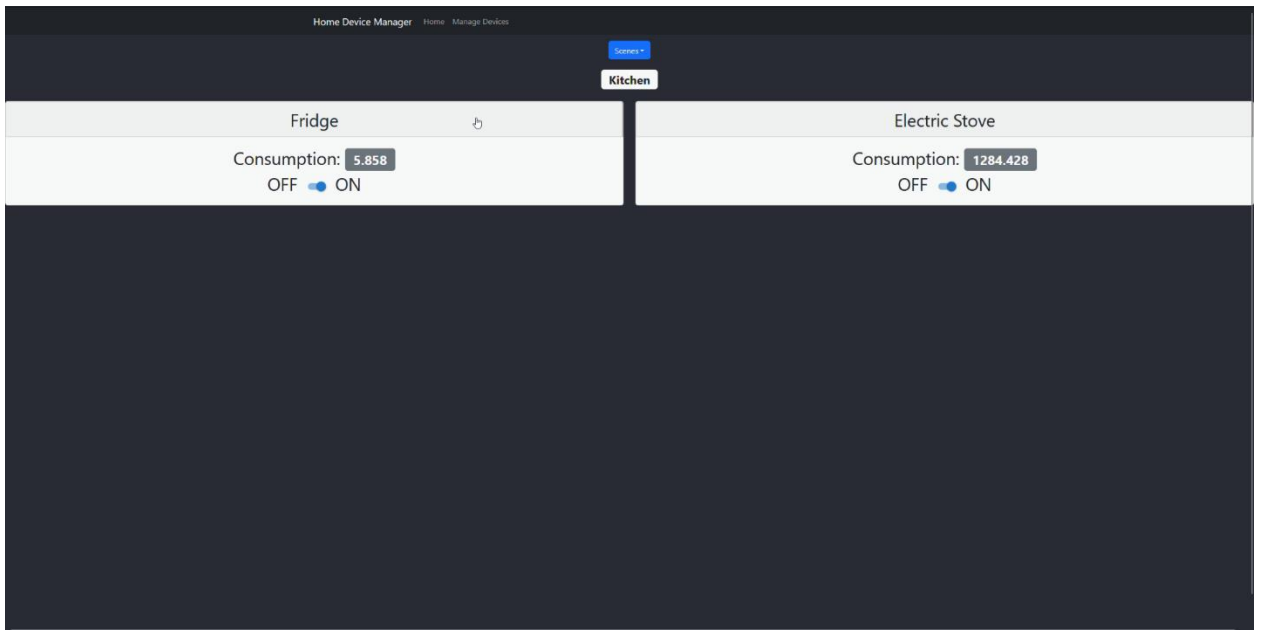
Εικόνα 7: Σελίδα διαχείρισης συσκευών

Κεφάλαιο 6 Παραδείγματα Χρήσης

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελεστούν μέσω της δικτυακής εφαρμογής. Περαιτέρω λειτουργίες μπορούν να εφαρμοστούν μέσω των μεθόδων του Server, δίνοντας την δυνατότητα να επεκταθεί η εφαρμογή ως προς τις λειτουργίες της και η εφαρμογή αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Στην τωρινή έκδοση, θα παρουσιαστούν οι λειτουργίες δημιουργίας των συσκευών, των χώρων και αντίστοιχα η επεξεργασία των χαρακτηριστικών τους και τέλος, η διαγραφή τους.

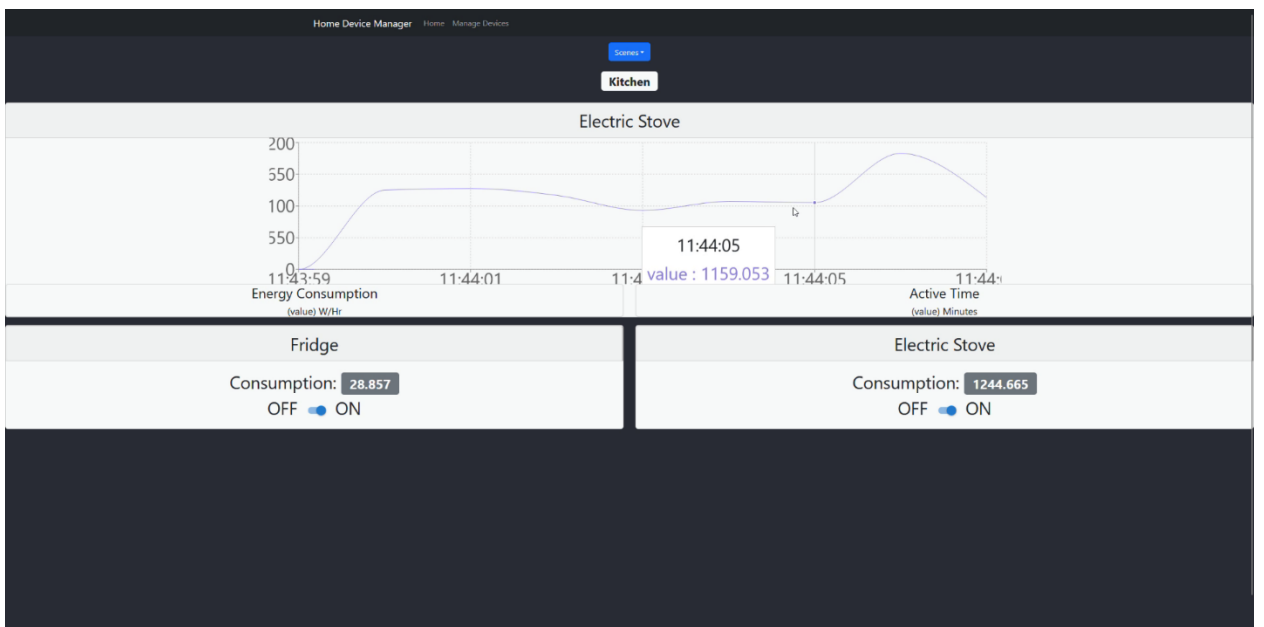
6.1 Παρουσίαση δεδομένων των συσκευών

Με το στοιχείο dropdown μπορεί να επιλεγεί ο χώρος και κατά επέκταση οι συσκευές. Η παρουσίαση των συσκευών γίνεται με τη μορφή των καρτών όπως φαίνεται στην **Εικόνα 10**.



Εικόνα 8: Παρουσίαση των δεδομένων

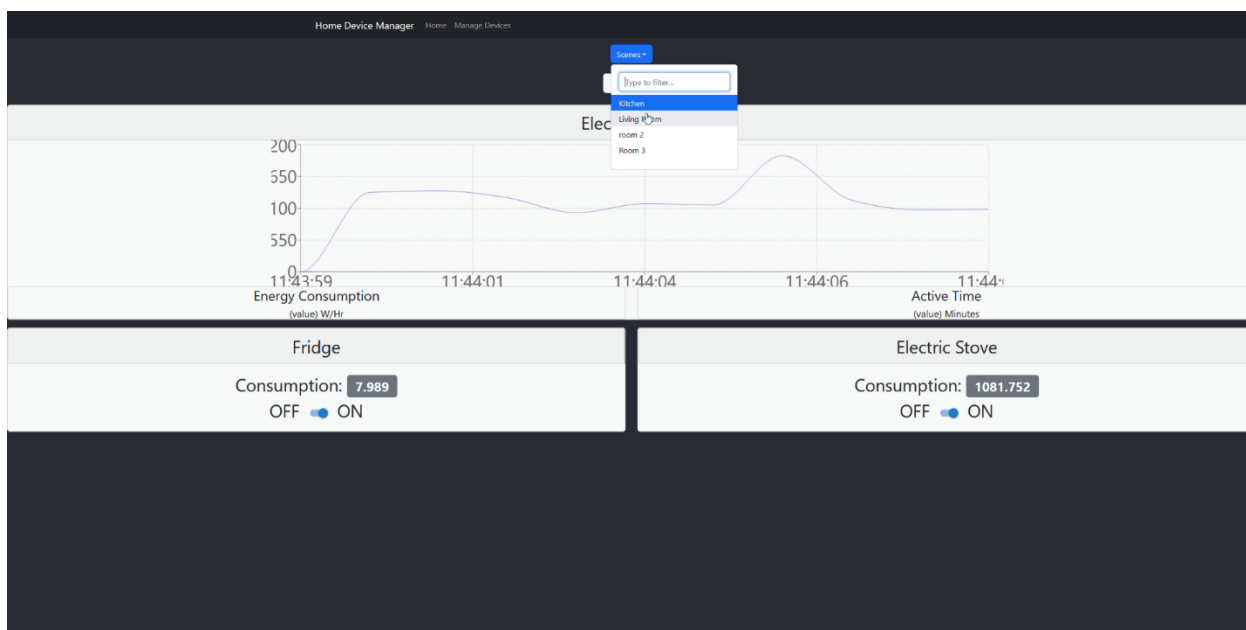
Ο τίτλος της συσκευής λειτουργεί ως κουμπί, εμφανίζοντας την κατανάλωση σε συνάρτηση με τον χρόνο. Επίσης, παρέχεται το στοιχείο διακόπτης (switch), όπου μπορεί να ελέγχει την κατάσταση της συσκευής σε ON και OFF (ενεργοποίηση – απενεργοποίηση).



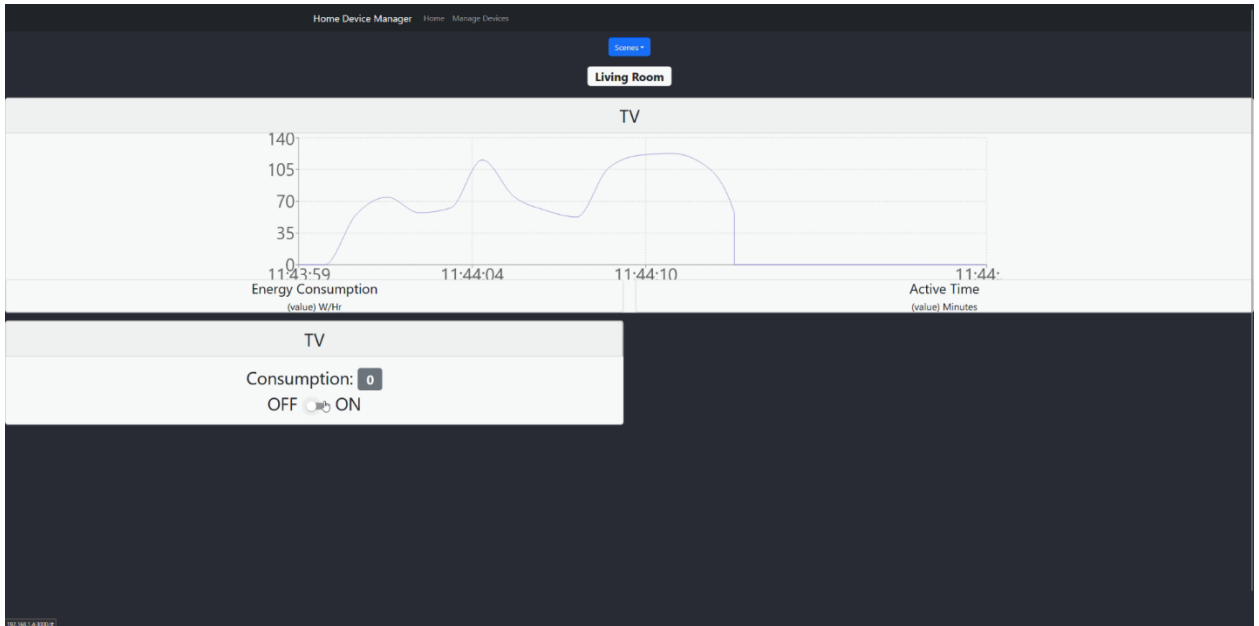
Εικόνα 9: Γράφημα κατανάλωσης συσκευής

Ο τίτλος της συσκευής λειτουργεί ως κουμπί, εμφανίζοντας την κατανάλωση σε συνάρτηση με τον χρόνο. Επίσης, παρέχεται το στοιχείο διακόπτης (switch), όπου μπορεί να ελέγχει την κατάσταση της συσκευής σε ON και OFF (ενεργοποίηση – απενεργοποίηση).

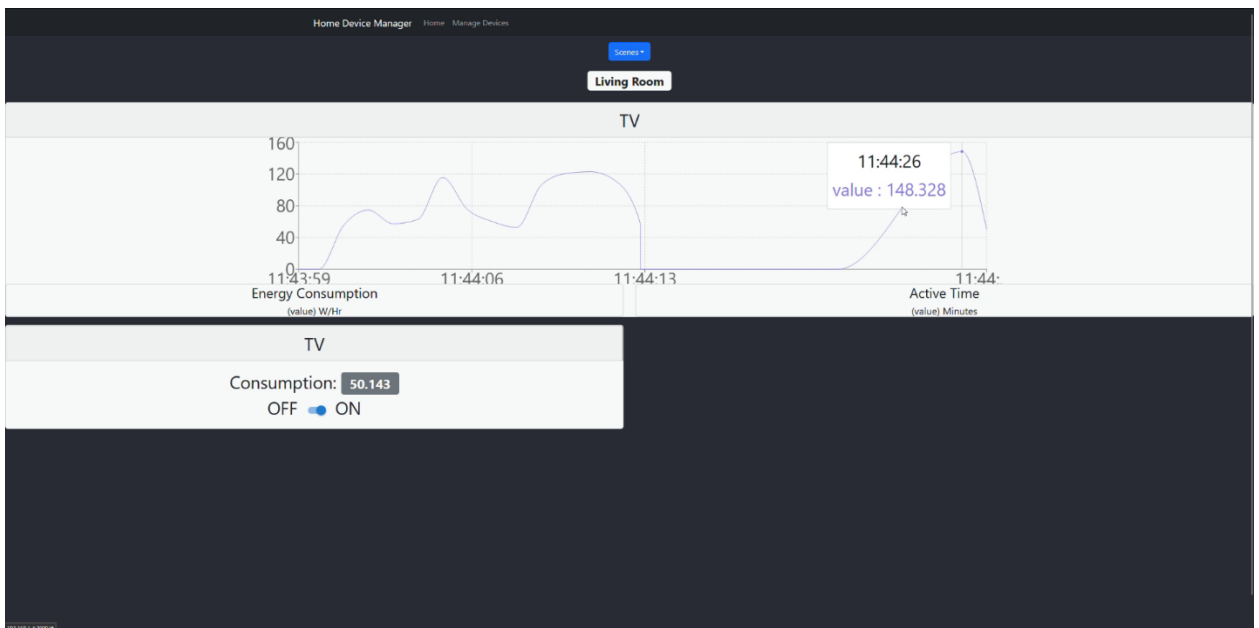
Στις **Εικόνα 10**, **Εικόνα 11** και **Εικόνα 12** φαίνεται πως οι αντίστοιχες λειτουργίες, η αλλαγή χώρου και οι ενέργειες στην κατάσταση της συσκευής μέσω του διακόπτη, ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο, τόσο στην ένδειξη της κατανάλωσης, όσο και στο διάγραμμα.



Εικόνα 10: Αλλαγή γραφήματος κατά την επιλογή άλλης συσκευής



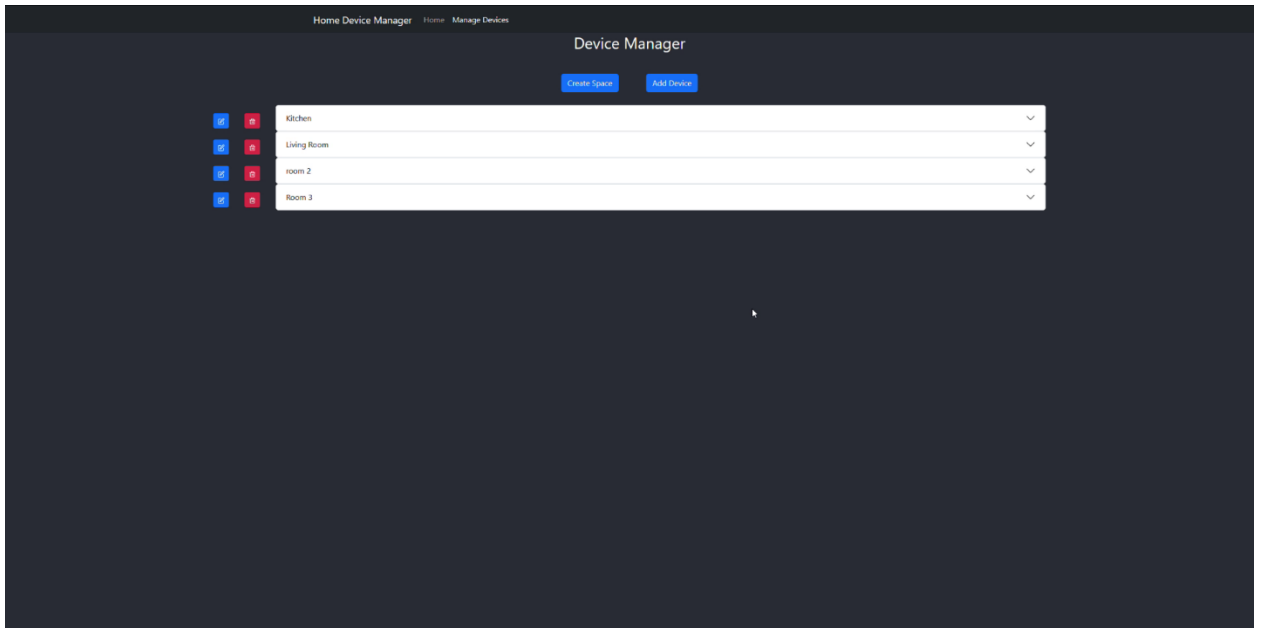
Εικόνα 11: Ανταπόκριση του γραφήματος στην απενεργοποίηση της συσκευής



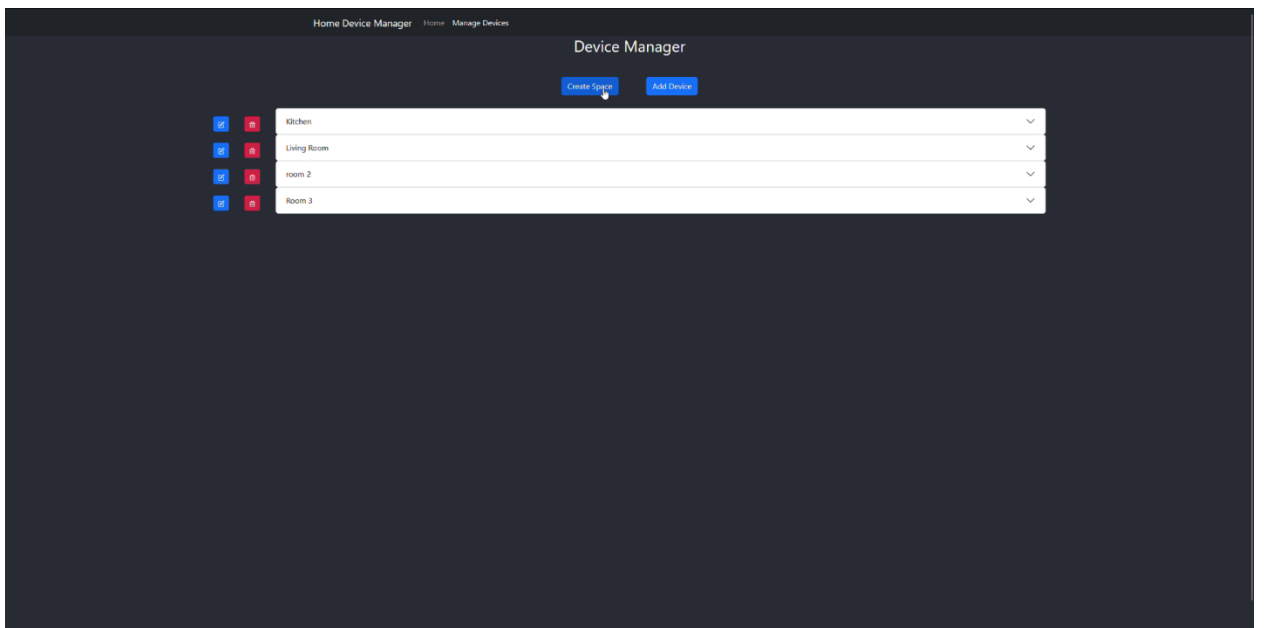
Εικόνα 12: Ανταπόκριση του γραφήματος στην ενεργοποίηση της συσκευής

6.2 Εισαγωγή χώρων

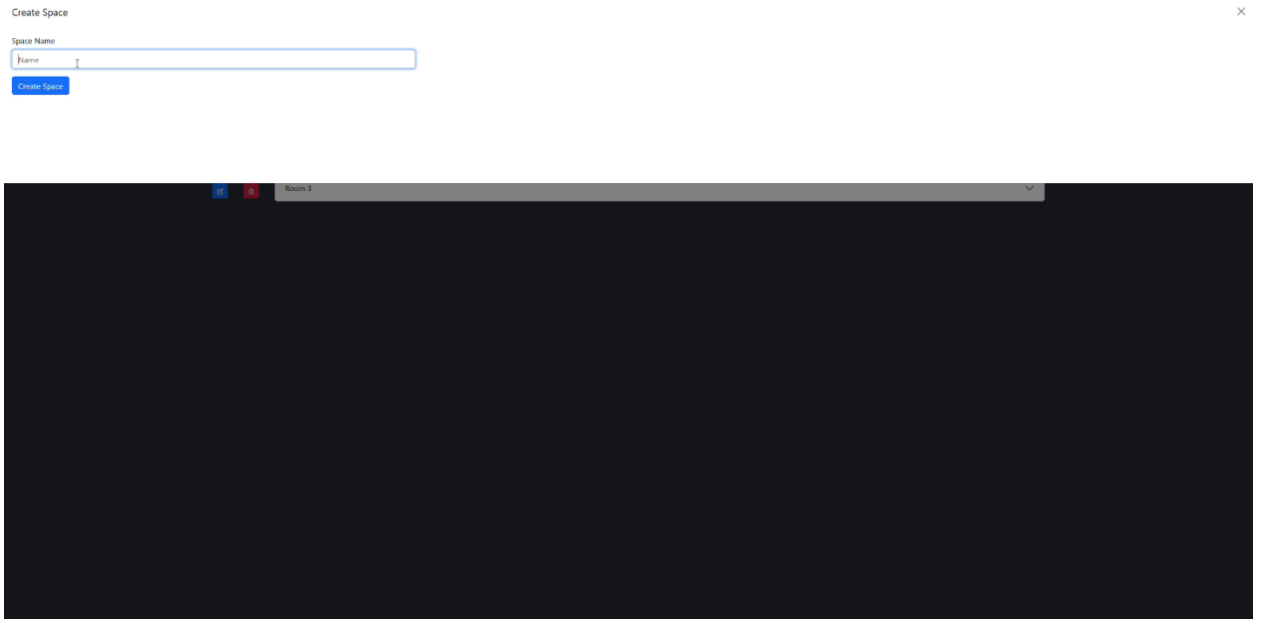
Η διαδικασία εισαγωγής του ονόματος ξεκινάει επιλέγοντας το κουμπί Create Space όπως φαίνεται στην **Εικόνα 14**. Στην συνέχεια γίνεται η εισαγωγή του ονόματος όπως στην **Εικόνα 15**, και η διαδικασία ολοκληρώνεται πατώντας το κουμπί Create Space στην **Εικόνα 16**.



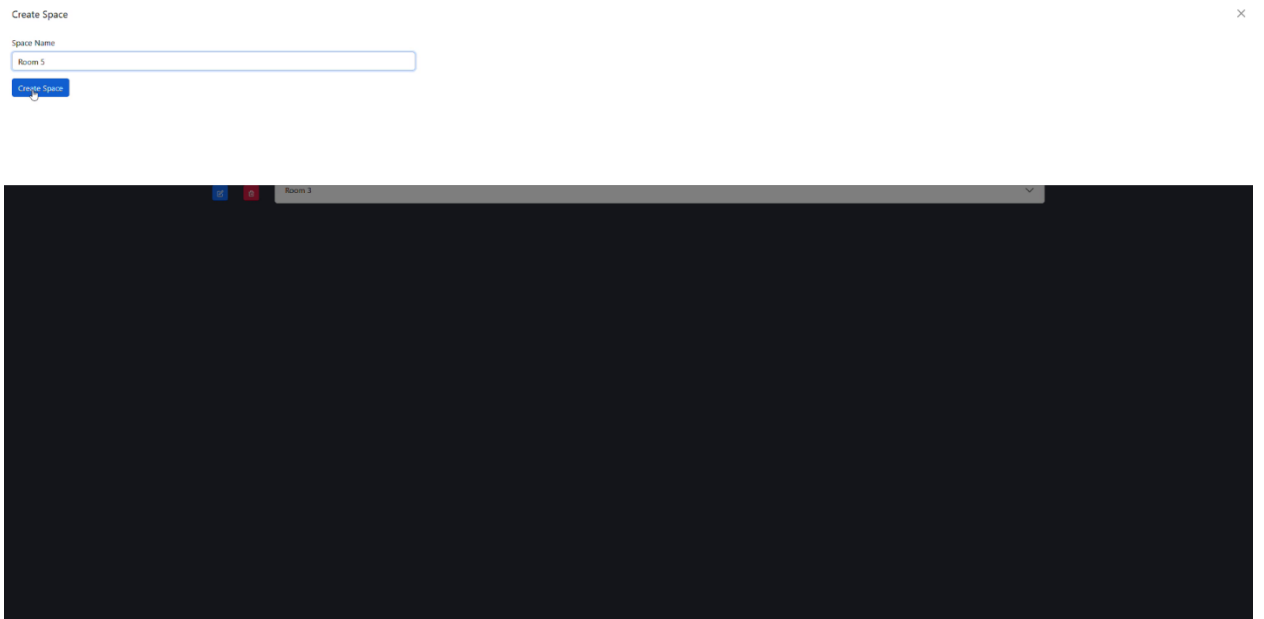
Εικόνα 13: Σελίδα διαχείρισης συσκευών



Εικόνα 14: Επιλογή δημιουργίας χώρου

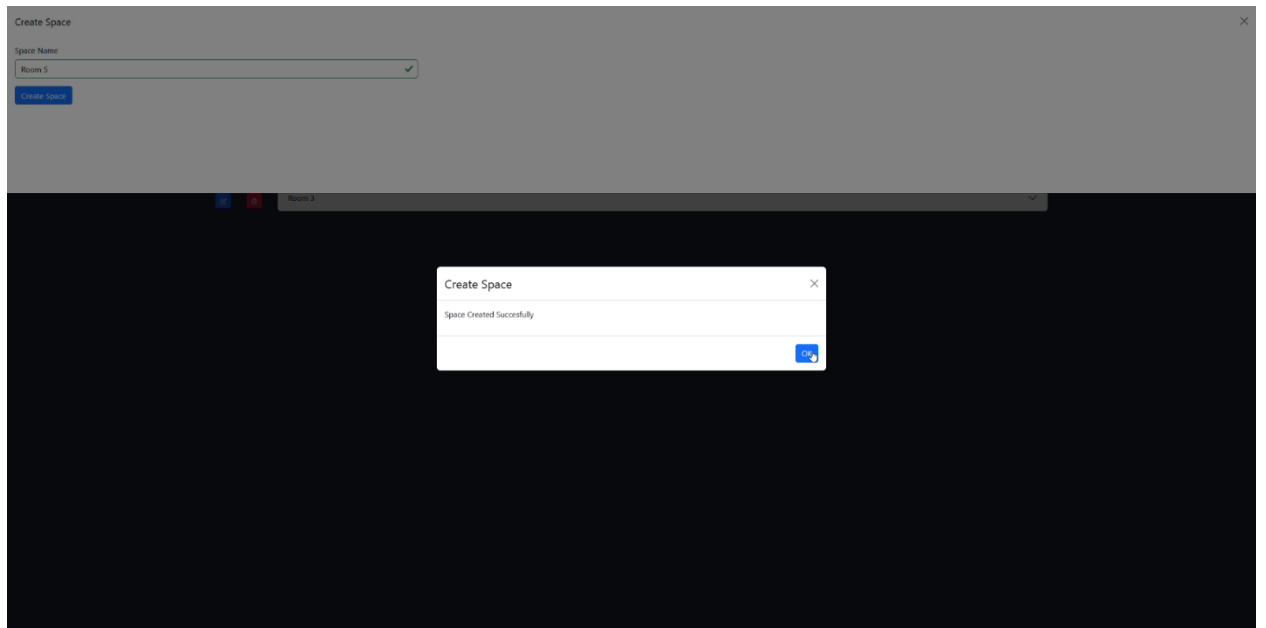


Εικόνα 15: Ορισμός ονόματος του καινούργιου χώρου



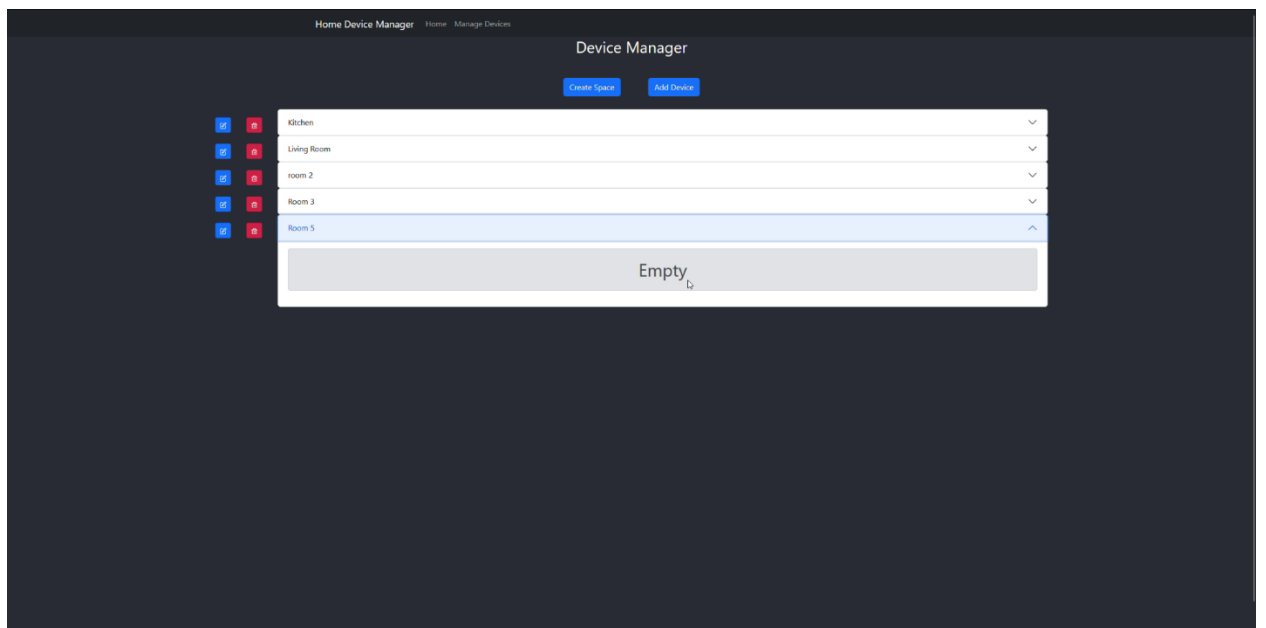
Εικόνα 16: Ορισμός του ονόματος "Room 5"

Κατά την δημιουργία του χώρου παρουσιάζεται ένα μήνυμα ενημέρωσης, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 17**



Εικόνα 17: Επιβεβαίωση δημιουργίας χώρου

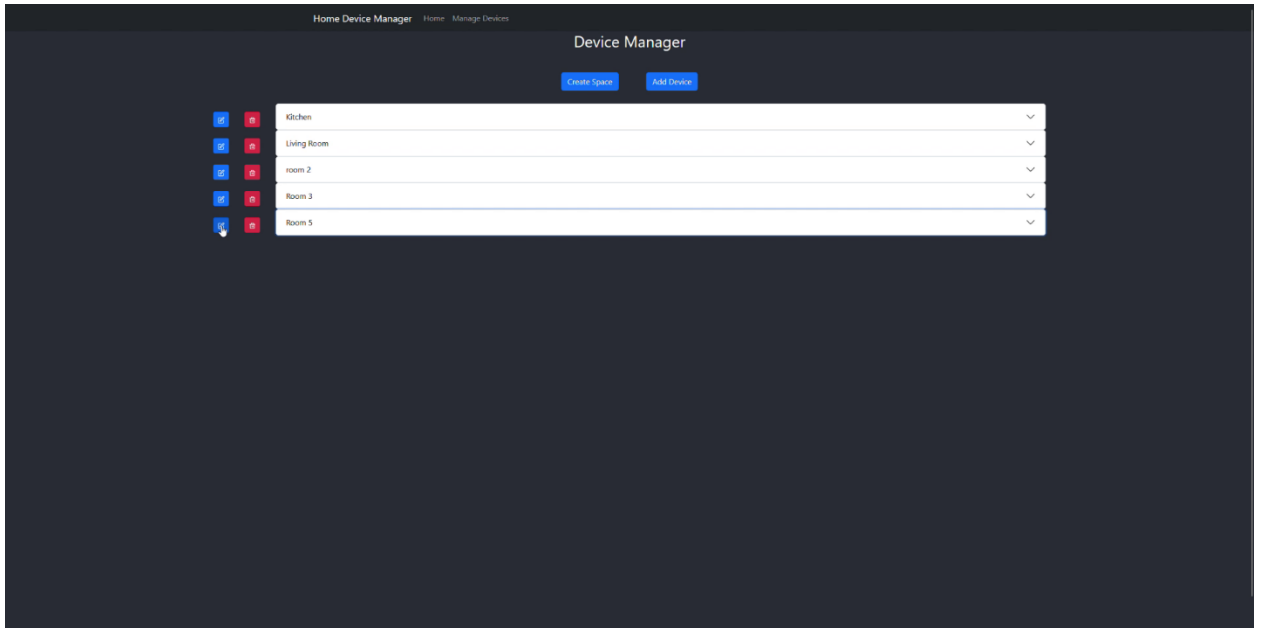
Στην **Εικόνα 18** εμφανίζεται ο καινούργιο χώρος, ο οποίος είναι κενός από συσκευές.



Εικόνα 18: Εμφάνιση του καινούργιου χώρου

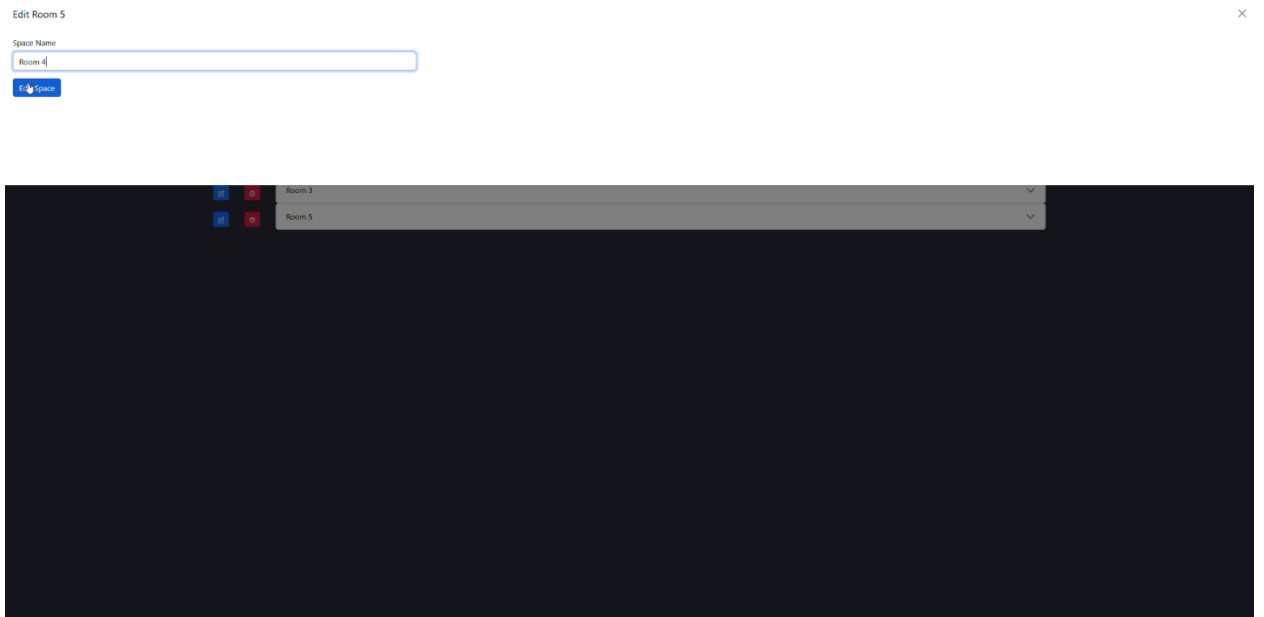
6.3 Επεξεργασία Ονόματος χώρου

Η επεξεργασία του ονόματος χώρου ξεκινάει πατώντας το σύμβολο με το μολυβί, που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 19**.

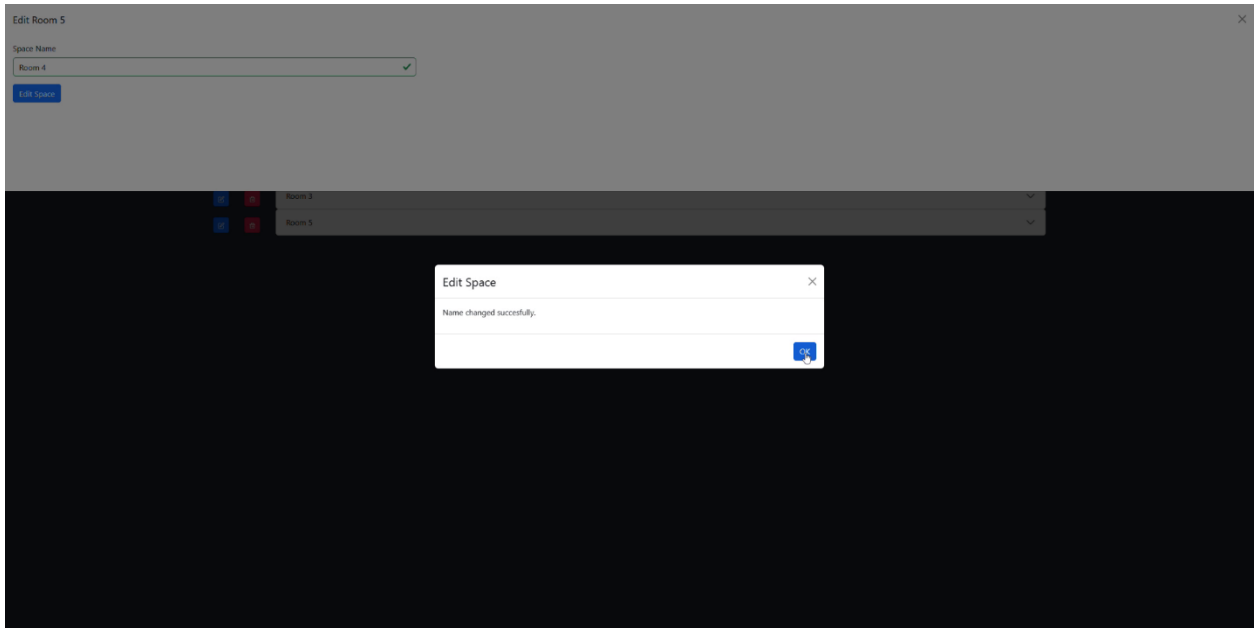


Εικόνα 19: Επιλογή επεξεργασίας του ονόματος του χώρου

Γίνεται η επεξεργασία του ονόματος, και στην συνέχεια με το πάτημα του κουμπιού Edit Space, που φαίνεται στην **Εικόνα 20**, ώστε να αποθηκεύει η αλλαγή. Όταν αλλάξει το όνομα του χώρου (Space), εμφανίζεται το σχετικό μήνυμα ενημέρωσης της αλλαγής, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 21**.



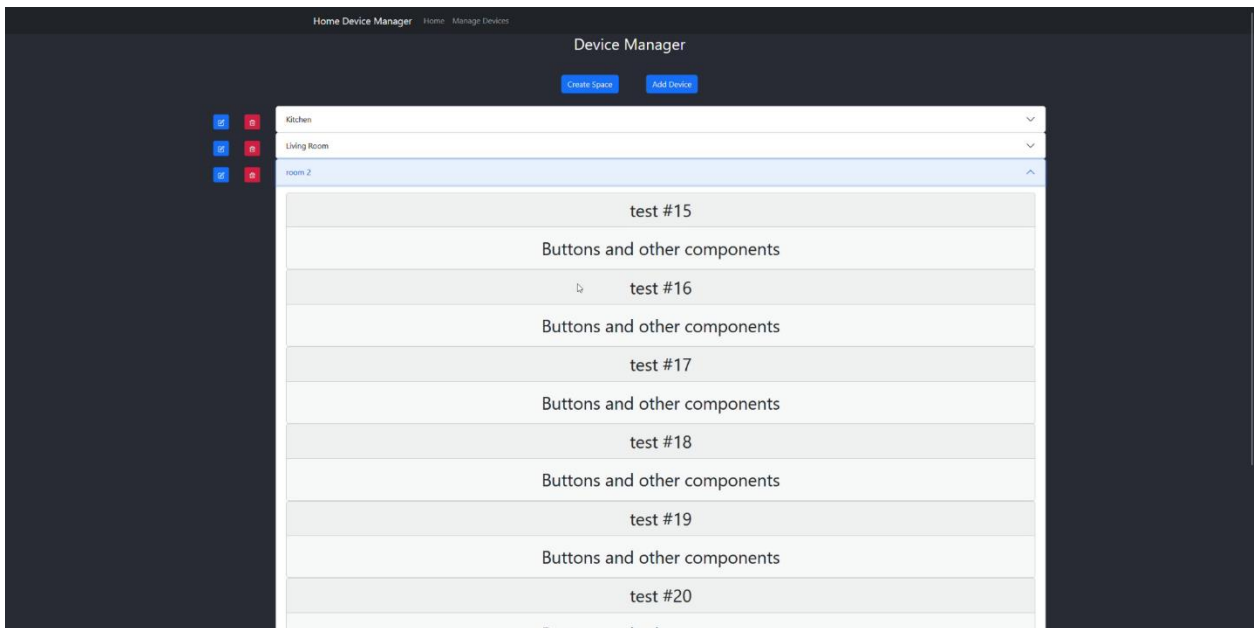
Εικόνα 20: Εισαγωγή καινούργιου ονόματος



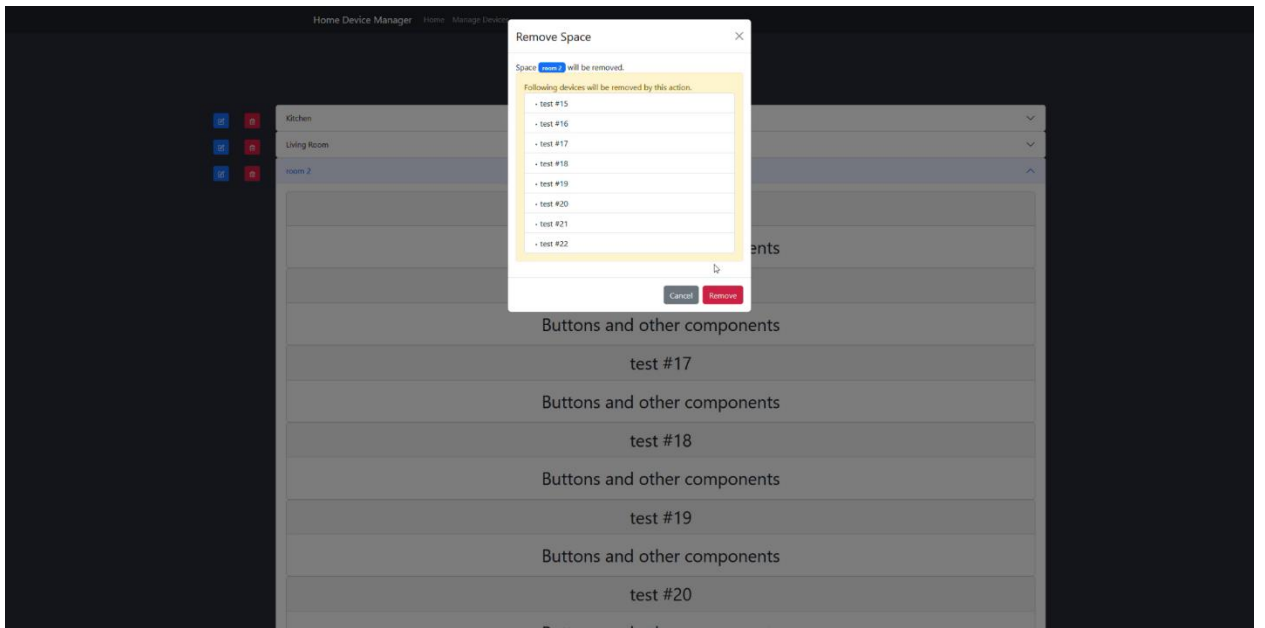
Εικόνα 21: Ενημέρωση για την αλλαγή του ονόματος

6.4 Διαγραφή Χώρων

Η διαγραφή χώρου πραγματοποιείται επιλέγοντας το κόκκινο κουμπί, που εσωτερικά φαίνεται ένας κάδος. Η επιλογή του κουμπιού θα εμφανίσει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης, περιγράφοντας ότι θα γίνει η διαγραφή του χώρου και κατά επέκταση των συσκευών που περιέχονται μέσα του. Αυτή η λειτουργία εμφανίζεται στην **Εικόνα 22** και **Εικόνα 23**.



Εικόνα 22: Επιλογή διαγραφής χώρου



Εικόνα 23: Μήνυμα επιβεβαίωσης την διαγραφής

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η εξοικονόμηση ενέργειας στη σύγχρονη κοινωνία είναι μέγιστης σημασίας λόγω της υιοθέτησης ενός βιώσιμου τρόπου ζωής, η οποία βασίζεται στην καταπολέμηση εξάντλησης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη μη αλόγιστη κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και λόγω μείωσης της οικονομικής επιβάρυνσης, καθώς η κατανάλωση ενέργειας συσχετίζεται με ένα υψηλό κόστος λόγω των τελευταίων γεωπολιτικών και ενεργειακών εξελίξεων, αλλά και κρίσεων. Η θεμελιώδης ανάγκη για ενέργεια που μεγαλώνει με τον χρόνο, προκαλεί διάφορες προκλήσεις και απαιτήσεις στην κάλυψη των αναγκών, με συνέπεια να αναπτύσσονται μία σειρά σύγχρονων μεθόδων για την καλύτερη απόδοση της χρήσης της ενέργειας, αλλά και τρόποι στην εξοικονόμηση της.

Η δημιουργία ενός IoT δικτύου και η χρήση του είναι μία προσέγγιση στην καταπολέμηση της ενεργειακής δαπάνης. Προσφέρει τη διαρκή παρακολούθηση των συσκευών που χρησιμοποιούνται, μοιράζοντας τα δεδομένα με τους χρήστες και επιπλέον επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση τους. Στον τομέα του IoT τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί αρκετές τεχνολογίες, καθώς είναι ένας κλάδος που αναπτύσσεται διαρκώς. Η αφομοίωση των IoT στην σύγχρονη κοινωνία στοχεύει στη βελτιστοποίηση της ενέργειας, όπως αναφέρθηκε, αλλά και στην ασφάλεια που προσφέρει με την διαρκή ενημέρωση του χρήστη, δίνοντας την δυνατότητα να αντιδράσει στις αλλαγές άμεσα χωρίς τη φυσική παρουσία του.

Υπό το πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την ανάπτυξη μίας εφαρμογής προσφέροντας πρακτικές μεθόδους εξυπηρέτησης ενός IoT δικτύου, με επιδίωξη την ελάττωση της ενεργειακής δαπάνης των κτηρίων. Η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί και να ελέγχει τις συσκευές μέσω των υπηρεσιών που προσφέρει, από οποιαδήποτε συσκευή και να έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε πρόγραμμα περιήγησης ιστού (Web Browser).

Η εφαρμογή χωρίστηκε σε τέσσερα τμήματα, στη διαδικτυακή εφαρμογή (web application), στον server, στο MQTT Broker και στις συσκευές που προσομοιώνονται, ενώ για το συνολικό έργο υλοποιήθηκαν πέντε containers. Οι συσκευές προσομοιώνοντας τη συμπεριφορά των οικιακών συσκευών του κτηρίου, δημοσιοποιούν μηνύματα στο MQTT Broker και παράλληλα είναι διαθέσιμες να δεχτούν μηνύματα προς

αυτές. Ο MQTT Broker με τη σειρά του προωθεί να μηνύματα στον Server για την αποθήκευση τους. Ο Server μέσω του web API προσφέρει μεθόδους για την πρόσβαση στα δεδομένα και τις αλλαγές τους. Στην συνέχεια, με το web application και τις κλήσεις που κάνει στο API του Server, προσφέρεται η πιο φιλική χρήση των λειτουργιών του Server και η παρουσίαση των δεδομένων.

Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει μια σειρά βελτιώσεων που αφορούν την άρση διάφορων περιορισμών, όπως την ταυτοποίηση του χρήστη για την εισαγωγή στην εφαρμογή, δίνοντας πρόσβαση σε όλους εντός του δικτύου να χειριστούν τις συνδεδεμένες συσκευές. Επίσης επιτρέπει την εισαγωγή συσκευών από τη σελίδα και τον ορισμό άλλων στοιχείων για τον έλεγχο των συσκευών και την πιο άμεση αναγνώριση των καταστάσεων τους. Τέλος μπορεί η εφαρμογή να λειτουργήσει παρέχοντας στατιστικά στοιχεία αλλά και να χειρίζεται την αποτυχία σύνδεσης της σελίδας με τον Server.

Βιβλιογραφία

- Economist. (2021, Σεπτέμβριος 15). *Why has the price of electricity in Europe reached record highs?* Ανάκτηση από The Economist: www.economist.com/the-economist-explains/2021/09/15/why-has-the-price-of-electricity-in-europe-reached-record-highs
- Elhadi, S., Marzak, A., Sael, N., & Merzouk, S. (2018). Comparative Study of IoT Protocols. *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities* (σσ. 1-5). SSRN. Ανάκτηση από <https://ssrn.com/abstract=3186315>
- European Parliament. (2023, July 18). *Energy saving: EU action to reduce energy consumption.* Ανάκτηση από European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20221128STO58002/energy-saving-eu-action-to-reduce-energy-consumption>
- Gilbert, A., Bazilian, D., & Gross, S. (2021). The emerging global natural gas market and the energy crisis of 2021-2022. *Foreign Policy Brookings*, 1-11.
- Govindraj, V., Sathiyarayanan, M., & Abubakar, B. (2019). Customary Homes to Smart Homes using Internet of Things (IoT) and Mobile Application. *IEEE International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, (σσ. 109-113).
- Gunawan, T., Yaldi, I., Kartiwi, M., Ismail, N., Za'bah, N., Mansor, H., & Nordin, A. (2017). Prototype design of smart home system using internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 7(1), 107-115.
- Halkos, G., & Gkampoura, E.-C. (2020, Ιούλιος). Reviewing Usage, Potentials, and Limitations of Renewable Energy Sources. *Energies*, 1-2.
- Hichem, M., Sana, B., Adeeb, A., & Abderrazak, J. (2020). A Survey of IoT Security Based on a Layered Architecture of Sensing and Data Analysis. *Sensor*, 20(13). Ανάκτηση από <https://doi.org/10.3390/s20133625>
- Hyunjeong , L., Wan-Ki , P., & Il-Woo, L. (2014). A Home Energy Management System for Energy-Efficient Smart Homes. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, (σσ. 142-145).
- IENE. (2020). *Greece's wholesale electricity prices are highest in Europe, says IENE's latest analysis.* Ανάκτηση από Institute of Energy for South-East Europe (IENE):

<https://www.iene.eu/greeces-wholesale-electricity-prices-are-highest-in-europe-says-ienes-latest-analysis-p5822.html>

- Jamali, M. J., Bahrami, B., Heidari, A., Allahverdizadeh, P., & Norouzi, F. (2020). *Towards the Internet of Things*. Springer International Publishing.
- Jekishan, P. K., & Ankit, D. (2016). IoT: Networking Technologies and Research Challenges. *International Journal of Computer Applications*, 154, 1-6.
- Kim, S., Hong, J., Kim, S., Kim, S., Kim, J., & Chun, J. (2014). RESTful design and implementation of smart appliances for smart home. *IEEE 11th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th International Conference on Autonomic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th International Conference on Scalable Computing and Communications and Associated* , (σσ. 368-373).
- Kumar, N. M., & Mallickb, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component. *Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018)*, 132, σσ. 109–117.
- Landuyt, L., Lauwerys, S., De Turck, S., Steeman, M., & Van Den Bossche, N. (2021). Optimization of insulation levels from an. *Journal of Physics*.
- Lin, J. (1-5). Design of smart home energy efficiency management system based on BLE technology. *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, (σ. 2020).
- Luebering, J. E. (2019). *Britannica*. Ανάκτηση από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/heating-process-or-system>
- Majumder, A., & Caffery, J. J. (2004). Power line communications. *IEEE Potentials*, 23, 4-8. doi:10.1109/MP.2004.1343222
- Molina, M. (2014). *THE AAAS CLIMATE SCIENCE PANEL*. Retrieved from https://whatweknow.aaas.org/wp-content/uploads/2014/07/whatweknow_website.pdf
- Nair, K., Kulkarni, J., Warde, M., Dave, Z., Rawalgaonkar, V., Gore, G., & Joshi, J. (2015). Optimizing power consumption in iot based wireless sensor networks using Bluetooth Low Energy. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, (σσ. 589-593). doi:10.1109/ICGCIoT.2015.7380533

- Pan, J., Jain, R., Paul, S., Vu, T., Saifullah, A., & Sha, M. (2015). An Internet of Things framework for smart energy in buildings: designs, prototype, and experiments. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 527-539.
- Pellegrino, A., Lo Verso, V., Blaso, L., Acquaviva, A., Patti, E., & Osello, A. (2016). Lighting control and monitoring for energy efficiency: A case study focused on the interoperability of building management systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(3), 2627-2636.
- Popkostova, Y. (2022). *Europe's energy crisis conundrum*. Brief 2, EUISS (European Union Institute for Security Studies).
- Pradeep Bansal, E. V. (2011). Advances in household appliances.
- Risteska Stojkoska, B., & Trivodaliev, K. (2017). A Review of Internet of Things for Smart Home: Challenges and Solutions. *Journal of Cleaner Production*, 1454-1464.
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2022). *Energy mix*. Ανάκτηση από OurWorldInData.org: <https://ourworldindata.org/energy-mix>
- Rory V. Jones, K. J. (2016). Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Appliance ownership and use.
- Ruojing, J. (2015). A review of Network Topology. (σσ. 1167-1170). Atlantis Press. doi:10.2991/iccmcee-15.2015.222
- Saritha, S., & Sarasvathi, V. (2017). A study on application layer protocols used in IoT. *International Conference on Circuits, Controls, and Communications (CCUBE)* (σσ. 155-159). IEEE. doi:10.1109/CCUBE.2017.8394143
- Simon Pezzutto, S. C. (2019, May 9). Assessment of the Space Heating and Domestic Hot. p. 16.
- Springer, D. (2007). Network-Centric Service-Oriented Enterprise. Στο *Wireless Sensor Networks and Applications*. Ανάκτηση από https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6456-2_4
- Spurgeon, C. E. (2000). The Latest Ethernet Standard. Στο C. E. Spurgeon, *Ethernet The Definitive Guide* (σσ. 8-10). O'Reilly & Associates, Inc.
- Srihari, T., Sai, M., & Srinivas, N. (2022). Design of smart building system and monitoring using IoT. *International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, (σσ. 1-6).

- Swastika, A., Pramudita, R., & Hakimi, R. (2019). IoT-based smart grid system design for smart home. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, (σσ. 1-6).
- Tsiapa, M. (2023). A holistic approach of the labour productivity slowdown in the regions of European Union. *Papers in Regional Science*, 507-531.
- U.S. Energy Information Administration. (2022, Δεκέμβριος 27). Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>
- Viswanath, S., Yuen, C., Tushar, W., Li, W., Wen, C., Hu, K., . . . Liu, X. (2018). System Design of the internet of things for residential Smart grid. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 1213-1228.
- Yadong, L., Danlan, L., Wenqiang, C., & Rui, Z. (2011). Research based on OSI model. *International Conference on Communication Software and Networks, ICCSN*. Xi'an, China : IEEE.
- Yang, Z., Yue, Y., Yang, Y., Peng, Y., Wang, X., & Liu, W. (2011). Study and application on the architecture and key technologies for IOT. *International Conference on Multimedia Technology* (σσ. 747-751). Hangzhou: IEEE.
- Αριστείδου, Ι. (2021, Ιανουάριος). Ανάκτηση από <https://gnosis.library.ucy.ac.cy/handle/7/64250>
- Βασιλική, Κ. (2022, Ιούνιος). Ανάκτηση από <https://apothesis.eap.gr/archive/item/171286>
- Γεωργακκέλος, & Διδασκάλου, Ε. (2022). *Διαχείριση φυσικών πόρων*. ΚΑΛΛΙΠΟΣ, ΑΝΟΙΚΤΕΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ.
- Κουρή, Γ. (2021). *INE (Institute of Energy for South-East Europe)*. Ανάκτηση από Παρατηρητήριο Βιώσιμης Ανάπτυξης: <https://www.enainstitute.org/publication/παγκόσμια-ενεργειακή-κρίση-αιτίες-πρ/>
- Νερατζής, Σ., & Τζάτζος, Π. (2015). *ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΟΥ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ*. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε., Πάτρα.
- Παπαντωνίου, Θ. (2023, Μάρτιος). *Ανάπτυξη βάσης μοτίβων κατανάλωσης ηλεκτρικών*.
- Παπαντωνίου, Θ. (2023). *Ανάπτυξη βάσης μοτίβων κατανάλωσης ηλεκτρικών*. Αθήνα.

