

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος Εργασίας: «Ανασκόπηση των τεχνολογιών Internet of Things
(IoT) και των συσκευών IoT»

Φοιτητής

Βάντσος Δημήτριος, 518017

Επιβλέπων

Μπάμνιος Γεώργιος, Καθηγητής

Ημερομηνία υποβολής: Ιούνιος 2025

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εξετάζει τις τεχνολογίες IoT, όπου επικεντρώνεται στις εφαρμογές του IoT, καθώς επίσης και στις προκλήσεις και προοπτικές που διανοίγονται. Ειδικότερα μελετώνται οι πλατφόρμες και τα συστήματα υποδομής IoT, όπως επίσης και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Σχετικά με τις εφαρμογές δίνεται έμφαση στον κτιριακό τομέα, στην βιομηχανία, στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, στον τομέα των μεταφορών, όπως επίσης και στον αγροτικό τομέα. Σχετικά με τις προκλήσεις και προοπτικές, η εργασία εστιάζει στην ασφάλεια και προστασία των δεδομένων, όπως επίσης και στην κατανάλωση ενέργειας, αλλά και στα ζητήματα προτύπων και διαλειτουργικότητας.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι οι προοπτικές του IoT είναι ιδιαίτερα μεγάλες και αφορούν πλήθος διαφορετικών τομέων της οικονομίας και της κοινωνίας. Εφόσον αντιμετωπιστούν οι σημαντικές προκλήσεις που απαντώνται, τότε θα μπορέσουν να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη αυτά και να υπάρξει διάχυση αυτών σε επιμέρους κλάδους.

Λέξεις Κλειδιά: *IoT, Επικοινωνία, Εφαρμογές, Προκλήσεις, Τεχνητή Νοημοσύνη*

ABSTRACT

This thesis examines IoT technologies, focusing on the applications of IoT, as well as the challenges and perspectives that are emerging. In particular, IOT platforms and infrastructure systems are studied, as well as communication protocols. In terms of applications, the focus is on the building sector, industry, healthcare, transport and agriculture. Regarding challenges and perspectives, the work focuses on security and data protection, as well as on energy consumption, but also on standards and interoperability issues.

The results of this research show that the potential of IoT is very large and concerns a number of different sectors of the economy and society. Once the major challenges are addressed, it will be possible to maximize these benefits and spread them to individual sectors.

Keywords: *IoT, Communication, Applications, Challenges, Artificial Intelligence*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	8
1.1 Ορισμός του IoT	8
1.2 Ιστορική αναδρομή	8
1.3 Σκοπός της εργασίας.....	9
1.4 Μεθοδολογία	9
1.5 Δομή της εργασίας	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τεχνολογίες υποστήριξης IoT	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας.....	12
2.3 Πλατφόρμες και συστήματα υποδομής IoT.....	15
2.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εφαρμογές του IoT	22
3.1 Εισαγωγή.....	22
3.2 Εφαρμογές IoT στον κτιριακό τομέα.....	22
3.3 Εφαρμογές IoT στη βιομηχανία (Industry 4.0).....	25
3.4 Εφαρμογές IoT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (e-health).....	26
3.5 Εφαρμογές IoT στον τομέα των μεταφορών (Smart Mobility)	27
3.6 Εφαρμογές IoT στον αγροτικό τομέα (Smart Agriculture).....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Προκλήσεις και προοπτικές IoT	32
4.1 Εισαγωγή.....	32
4.2 Ασφάλεια και προστασία δεδομένων	32
4.3 Κατανάλωση ενέργειας	34
4.4 Ζητήματα προτύπων και διαλειτουργικότητας	36
4.5 Τεχνητή νοημοσύνη και IoT	38
4.6 Καινοτομίες και IoT.....	40
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Τύποι δικτύων που υποστηρίζουν το IoT	17
Σχήμα 2: Σημαντικά πρωτόκολλα επικοινωνίας	19

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική του δικτύου NB-IoT-core network	13
Εικόνα 2: Εφαρμογές IoT στον κτιριακό τομέα	25
Εικόνα 3: Εφαρμογές IoT στον τομέα της βιομηχανίας.....	26
Εικόνα 4: Εφαρμογές IoT στον τομέα των μεταφορών	29
Εικόνα 5: Εφαρμογές IoT στον πρωτογενή τομέα	31

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

«Με την ολοκλήρωση της Πτυχιακής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν σ' αυτό. Ειδικότερα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μπάμνιο Γεώργιο για την επιλογή του θέματος, την υποστήριξη και την διαρκή βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Εργασίας. Ακόμη, ευχαριστώ τους διδάσκοντες καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν, αλλά και την οικογένειά μου που με υποστήριξε και στο συγκεκριμένο βήμα των σπουδών μου».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Ορισμός του IoT

Με την έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), προσδιορίζεται η σύνδεση των φυσικών συσκευών και αντικειμένων σε ολόκληρο τον κόσμο, κάνοντας χρήση του διαδικτύου (Bunz & Meikle,2017). Μέσω του IoT μπορεί να υπάρξει απομακρυσμένος έλεγχος των επιμέρους αντικειμένων, με αποτέλεσμα να ενσωματώνεται ο φυσικός κόσμος στα πληροφοριακά συστήματα, επιδιώκοντας παράλληλα να υπάρξει βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ακρίβειας, αλλά και μείωση στο ελάχιστο δυνατό του κόστους. Ουσιαστικά, το IoT συνιστά ένα πλαίσιο, εντός του οποίου τα πράγματα αποκτούν μια αντιπροσώπευση και συνάμα μια παρουσία στο διαδίκτυο και έτσι επιτυγχάνεται ένα είδος γεφύρωσης μεταξύ του φυσικού και του εικονικού κόσμου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όλα τα προϊόντα αυτά είναι διαφορετικά μεταξύ τους (Farber et al.,2021).

Το IoT αναπτύσσεται εδώ και περισσότερα από είκοσι έτη, με το ενδιαφέρον να αυξάνεται διαρκώς, τόσο από την ίδια την ακαδημαϊκή κοινότητα που το μελετάει, όσο και από τον τομέα των επιχειρήσεων. Βασική επιδίωξη του IoT αποτέλεσε η σύνδεση των ανθρώπων με τα αντικείμενα, προκειμένου να υπάρξει αποτελεσματικότερη σχέση μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογίας. Κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών εκτιμάται ότι θα υπάρχει διαρκής αύξησης των συσκευών που συνδέονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), ενώ μέσω του IoT αναμένεται να υπάρξει ανταλλαγή μεγάλου όγκου πληροφοριών, οι οποίες δύναται να αξιοποιούν με ιδιαίτερα παραγωγικό τρόπο (HaddadPajouh et al., 2021).

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η τεχνολογία του IoT ξεκινά να αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 στις ΗΠΑ, όπου επιδιώχθηκε από ερευνητές να μπορούν να αναγνωρίζουν το κάθε αντικείμενο ξεχωριστά. Έπειτα από μια σειρά πειραματισμών, την περίοδο εκείνη διαμορφώθηκαν τα barcodes, που ήταν ένα είδος ταυτότητας, ενώ ακολούθως εξελίχθηκε και σχετικό hardware, καθώς και κινητές εφαρμογές, οι οποίες συνδέονταν με τα barcodes αυτά. Ακολούθως, αρκετά χρόνια αργότερα και

συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, άρχισε να αναπτύσσεται το όραμα στο επίκεντρο του οποίου βρίσκονταν ένα βιώσιμο περιβάλλον, το οποίο για να επιτευχθεί μεταξύ άλλων απαιτεί και ενοποίηση των συσκευών, επιδιώκοντας να δημιουργηθεί ένα πολύ ισχυρό σύστημα πολυμέσων και επικοινωνιών (Madakam et al.,2015).

Η ταχεία ανάπτυξη του IoT στις ΗΠΑ συνδέθηκε και με την ανάπτυξη σχετικών εφαρμογών στον τομέα της άμυνας, ενώ άλλες πρώιμες εφαρμογές για τις οποίες υπήρξε ενδιαφέρον αφορούσαν την αλυσίδα εφοδιασμού, όπως επίσης και θέματα που άπτονται της διαχείρισης των πελατών. Κατά την περίοδο του 2010, παγκοσμίως, ένας μεγάλος αριθμός επιχειρήσεων είχε επικεντρωθεί στην ανάπτυξη έξυπνων αντικειμένων, τα οποία και συνδέονταν με ασύρματο τρόπο, επιδιώκοντας να υπάρξει αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των καταναλωτών που χρησιμοποιούσαν τα προϊόντα αυτά (Saqlain,2018). Στο πέρασμα του χρόνου, η τεχνολογία εξελίχθηκε, καθώς και η συνδεσιμότητα και έτσι το IoT βρήκε πλήθος εφαρμογών, με πολλές εξ' αυτών να ξεκινούν να λειτουργούν ως πιλοτικά προγράμματα, ενώ μετά από πολλές δοκιμές άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως. Καθώς το ενδιαφέρον των διασυνδεδεμένων συσκευών θα αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, αναμένεται ραγδαία επέκταση αυτών σε πλήθος τομέων και εφαρμογών (Patel et al.,2016).

1.3 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προβεί σε ανασκόπηση των τεχνολογιών Internet of Things (IoT), καθώς και των αντίστοιχων συσκευών IoT. Ειδικότερα, η εργασία μελετά τις τεχνολογίες υποστήριξης IoT, ενώ παρουσιάζει αναλυτικά τις εφαρμογές του IoT, οι οποίες αφορούν ένα ευρύ φάσμα τομέων. Ακόμη, η εργασία μελετά τις προκλήσεις που απαντώνται κατά την ανάπτυξη των τεχνολογιών IoT, όπως επίσης και τις προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης του IoT, στοχεύοντας σε μια ευρεία γκάμα λειτουργιών και εφαρμογών.

1.4 Μεθοδολογία

Όσον αφορά την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται, πρόκειται για εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση, η οποία πραγματοποιείται σε επιστημονικά περιοδικά,

όπως και σε συγγράμματα. Τα επιστημονικά περιοδικά, άρθρα και τα συγγράμματα αναζητούνται σε βάσεις δεδομένων, όπως για παράδειγμα είναι το Google Scholar, χρησιμοποιώντας υλικό τόσο από την διεθνή βιβλιογραφία, όσο και από την βιβλιογραφία που υπάρχει στην ελληνική γλώσσα. Το παραπάνω υλικό επιλέχθηκε να έχει δημοσιευθεί κατά κύριο λόγο από το 2014, λαμβάνοντας υπόψη και τον δυναμικό και διαρκώς εξελισσόμενο χαρακτήρα του υπό μελέτη αντικειμένου. Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: Internet of Things (IoT), Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνίας, Εφαρμογές IoT, Προκλήσεις, Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.

Παράλληλα, αναζητούνται σχετικές με το αντικείμενο πληροφορίες σε εξειδικευμένες μελέτες, τόσο σε διεθνές, όσο και σε ευρωπαϊκό, όσο και σε εθνικό επίπεδο. Η εξέλιξη των τεχνολογιών IoT παρουσιάζει ιδιαίτερα ενδιαφέρον σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς δημιουργεί νέα προϊόντα και νέες αγορές, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Για παράδειγμα, τέτοιες μελέτες δημοσιεύονται από διάφορους φορείς όπως είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και από ένα πλήθος επιστημονικών φορέων, εταιρείες, επιχειρήσεις, αλλά και Μη Κυβερνητικούς Οργανισμούς. Επιπλέον, για την καλύτερη τεκμηρίωση του υπό μελέτη θέματος έγινε αναζήτηση στατιστικών στοιχείων που αφορούν τις εξελίξεις στην τεχνολογία IoT, ενώ αναζητήθηκε και υλικό από το διαδίκτυο, προκειμένου η προσέγγιση του υπό μελέτη ζητήματος να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη.

1.5 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια, με το πρώτο να είναι εισαγωγικό, όπου προσδιορίζεται εννοιολογικά το IoT και επιχειρείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Ακόμη, παρουσιάζεται ο σκοπός της εργασίας, καθώς και η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο μελετώνται οι τεχνολογίες υποστήριξης IoT, όπου γίνεται αναφορά στις ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως επίσης και στις πλατφόρμες και στα συστήματα υποδομής IoT, καθώς και στα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας επικεντρώνεται στις εφαρμογές του IoT, εστιάζοντας στον τομέα των κτιρίων, στον τομέα της βιομηχανίας, της υγειονομικής περίθαλψης, όπως επίσης και στον τομέα των μεταφορών, αλλά και στον αγροτικό τομέα. Περαιτέρω, το τέταρτο κεφάλαιο

αναφέρεται στις προκλήσεις καθώς και στις προοπτικές που διανοίγονται από τη χρήση του IoT. Ειδικότερα, μελετάται η ασφάλεια και η προστασία των δεδομένων, η κατανάλωση ενέργειας, όπως επίσης μελετώνται και ζητήματα προτύπων και διαλειτουργικότητας. Έμφαση δίνεται στον συνδυασμό της τεχνητής νοημοσύνης και του IoT, καθώς και στις διάφορες καινοτομίες που αφορούν το IoT.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τεχνολογίες υποστήριξης IoT

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι τεχνολογίες υποστήριξης IoT. Ειδικότερα, μελετώνται οι ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως είναι το Wi-Fi, το Bluetooth, LoRa κτλ., ενώ ακολούθως εξετάζονται οι πλατφόρμες και τα συστήματα υποδομής IoT, εστιάζοντας στο ποιες είναι αυτές, καθώς και στη χρήση τους για σύνδεση, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία και χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων.

2.2 Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας. Ειδικότερα, υπάρχουν τα κυψελωτά δίκτυα (cellular networks) που αποτελούν συστήματα ασύρματης επικοινωνίας, επιτρέποντας κινητές συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους, καθώς επίσης και με άλλα ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα. Ουσιαστικά, ο όρος αυτός χρησιμοποιείται καθώς υπάρχει διαίρεση μιας γεωγραφικής περιοχής σε πολλαπλές μικρότερες περιοχές, οι οποίες και καλούνται κυψέλες, με την κάθε κυψέλη να περιέχει έναν σταθμό βάσης, ο οποίος και μεταδίδει σήμερα προς και λαμβάνει αντίστοιχα σήματα από τις κινητές συσκευές, οι οποίες και βρίσκονται τη στιγμή εκείνη μέσα στη κυψέλη του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή κάλυψης της κάθε κυψέλης εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπου μεταξύ άλλων μπορεί να περιλαμβάνονται η ισχύς μετάδοσης του σταθμού βάσης, η ισχύς μετάδοσης των συσκευών, όπως επίσης και ο τύπος των κεραιών του σταθμού βάσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η κάθε γενιά κυψελωτού δικτύου εισάγει προδιαγραφές, καθώς και δυνατότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι αυξημένες ταχύτητες δεδομένων, η βελτιωμένη ποιότητα επικοινωνίας, όπως επίσης και η υποστήριξη νέων τύπων εφαρμογών και υπηρεσιών (Kogiri,2020).

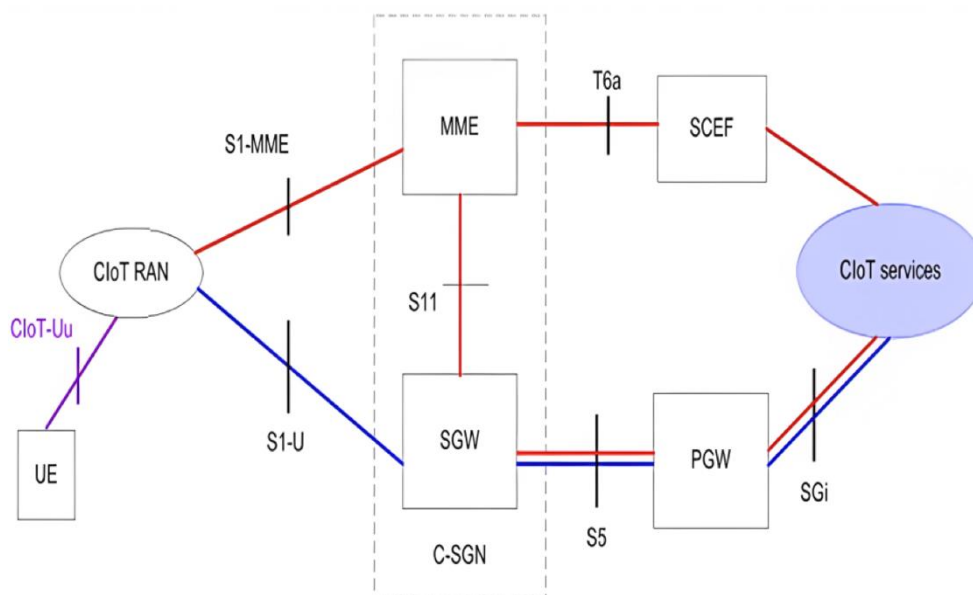
Περαιτέρω, μια ακόμη ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας είναι το 5G, το οποίο και διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στην διασύνδεση, όπως επίσης και στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών, υπό το πρίσμα του IoT. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει να υπάρχει αυξημένου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, όπως και

μειωμένη από άκρο σε άκρο καθυστέρηση, καθώς και βελτιωμένα επίπεδα κάλυψης σε σχέση με το 4G, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα κάλυψης ακόμη και περισσότερο απαιτητικών εφαρμογών. Βασικά χαρακτηριστικά του 5G είναι ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η μειωμένη καθυστέρηση, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η υψηλή επεκτασιμότητα (Khanh et al.,2022).

Επιπλέον, υπάρχει η τεχνολογία NB-IoT (NarrowBand IoT), η οποία έχει δημιουργηθεί από το 3GPP ως μέρος του Release 13. Η τεχνολογία αυτή παραμένει όσο το δυνατόν πιο απλή, προκειμένου να περιορίσει το κόστος της συσκευής, όπως επίσης και την κατανάλωση μπαταρίας, ενώ χρησιμοποιεί μια ζώνη 180kHz στα αδειοδοτημένα φάσματα συχνοτήτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας ως προς τη ζώνη συχνοτήτων, όπου η πρώτη είναι η stand alone operation, η δεύτερη είναι η guard band operation, ενώ η τρίτη είναι η in-band operation (Hasssan et al.,2020).

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου NB-IoT-core network.

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική του δικτύου NB-IoT-core network



Αναφορικά με τα ασύρματα δίκτυα LPWAN (Low Power Wide Area Network), αυτά έχουν σχεδιαστεί προκειμένου να μεταδίδουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις, με χαμηλή κατανάλωση ισχύος, αλλά με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης και

μεγαλύτερη καθυστέρηση. Στις τεχνολογίες IoT η επιτυχία των LPWAN συνδέεται με την ικανότητά τους να προσφέρουν τη δυνατότητα σύνδεση πλήθους συσκευών χαμηλής κατανάλωσης, οι οποίες και κατανέμονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή, ανταλλάσσοντας δεδομένα με χαμηλή ταχύτητα και συχνότητα, ενώ το κόστος θα πρέπει να είναι χαμηλό, όπως και η πολυπλοκότητα του συστήματος αυτού. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες LPWAN, όπως είναι το Sigfox, το LoRa, καθώς και άλλες, με την κάθε μία από αυτές να χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές, προκειμένου να επιτευχθεί μεγάλη εμβέλεια, αλλά και χαμηλή κατανάλωση ισχύος (Ikrehai et al.,2018).

Η μεγάλη εμβέλεια που επιτυγχάνει τη τεχνολογία LPWAN συνδέεται με τη χρήση της Sub-GHz band, όπου τα σήματα υπόκεινται σε μικρότερη εξασθένιση, σε σχέση με τα 2.4GHz band, ενώ την ίδια στιγμή υπάρχει λιγότερη συμφόρηση. Να σημειωθεί ότι οι δύο κατηγορίες τεχνικών διαμόρφωσης που έχουν υιοθετηθεί είναι οι narrowband και οι spread spectrum. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος, θεωρείται κρίσιμη για συσκευές που τροφοδοτούνται από μπαταρία, ενώ σημαντικός είναι και ο ρόλος της τοπολογίας. Οι τερματικές συσκευές συνδέονται απευθείας στους σταθμούς βάσης και επομένως δεν απαιτείται ενέργεια για την επικοινωνία και την προώθηση των δεδομένων μεταξύ των τερματικών κόμβων (Bembe et al.,2019).

Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό των LPWAN το οποίο συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι η λειτουργία duty cycling, όπου οι τερματικές συσκευές τίθενται σε κατάσταση ύπνο, κατά τη διάρκεια της ανενεργού περιόδου και γίνεται ενεργοποίηση αυτών μόνο κατά τη διάρκεια αποστολής ή λήψης δεδομένων. Περαιτέρω, το χαμηλό κόστος της τεχνολογίας αυτής συνδέεται και με την μικρή σχετικά πολυπλοκότητα του υλικού, καθώς και της υποδομής του δικτύου, όπως επίσης και με τη λειτουργία σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων. Ακόμη, τα LPWAN έχουν δυνατότητα επέκτασης, όπου ουσιαστικά πρόκειται για τη δυνατότητα αύξησης των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο (Chaudhari & Zennaro,2020).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην τεχνολογία LoRa (Long Range), η οποία λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένο φάσμα κάτω από 1 GHz και αφορά μεγάλες αποστάσεις. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως ιδιόκτητη διασπορά φάσματος, η οποία προέρχεται από τη διασπορά φάσματος Chirp Spread Spectrum (CSS), με την

οποία γίνεται ανταλλαγή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων με ευαισθησία εντός ενός σταθερού εύρους ζώνης καναλιού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η CSS χρησιμοποιούνται διαχρονικά σε στρατιωτικές εφαρμογές, εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων επικοινωνίας και της ανθεκτικότητας στις παρεμβολές, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1940. Ουσιαστικά το LoRa αποτελεί την πρώτη χαμηλού κόστους υλοποίηση για εμπορική χρήση και για να μπορέσει να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές προσαρμοζόμενης διαμόρφωσης με πομποδέκτες πολλαπλών καναλιών (Buuman et al.,2020).

2.3 Πλατφόρμες και συστήματα υποδομής IoT

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), έχει δημιουργήσει νέες δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ των φυσικών συσκευών και των ψηφιακών συστημάτων. Όμως για να μπορέσει να υπάρξει πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων του IoT, θα πρέπει να υπάρχει μια ισχυρή και συνάμα αξιόπιστη υποδομή, η οποία θα μπορεί να υποστηρίζει την επικοινωνία, την αποθήκευση, την επεξεργασία, αλλά και τη διαχείριση των επιμέρους δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές. Βασικές συνισταμένες αυτές της υποδομής αυτής είναι οι επιμέρους πλατφόρμες και τα συστήματα, τα οποία και διασφαλίζουν την εύρυθμη και αποτελεσματική λειτουργία του IoT (Babun et al,2021).

Οι πλατφόρμες IoT αποτελούν τη βάση στην οποία και στηρίζεται η ανάπτυξη των εφαρμογών IoT. Ουσιαστικά, οι πλατφόρμες αυτές προσφέρουν το λογισμικό, καθώς επίσης και τις αναγκαίες υπηρεσίες, προκειμένου να υπάρξει σύνδεση, παρακολούθηση, όπως επίσης και διαχείριση των συσκευών IoT. Παράλληλα, ενσωματώνουν διάφορα χαρακτηριστικά, όπως είναι η επικοινωνία, η αποθήκευση των δεδομένων, καθώς και η ανάλυση και λήψη αποφάσεων, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργούν και να αναπτύσσουν εφαρμογές που αξιοποιούν στο έπακρο τις δυνατότητες του IoT (Fortino et al.,2022).

Κατά κύριο λόγο οι πλατφόρμες IoT μπορούν να χωριστούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, όπου η πρώτη είναι η πλατφόρμα ανάπτυξης και η δεύτερη είναι η πλατφόρμα διαχείρισης. Ειδικότερα, οι πλατφόρμες ανάπτυξης IoT παρέχουν

εργαλεία και APIs για την ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Παράλληλα, παρέχουν υποστήριξη για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και την ενοποίηση των διαφόρων τύπων αισθητήρων και συσκευών με το δίκτυο. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν αυτές τις πλατφόρμες για να δημιουργήσουν νέες λειτουργίες και υπηρεσίες IoT για διαφορετικές βιομηχανίες. Ορισμένες δημοφιλείς πλατφόρμες ανάπτυξης είναι το Google Cloud IoT, το AWS IoT, καθώς επίσης και το Microsoft Azure IoT. Αναφορικά με τις πλατφόρμες διαχείρισης IoT, αυτές επικεντρώνονται στη διαχείριση των συσκευών, των δεδομένων και των χρηστών σε ένα οικοσύστημα IoT. Ταυτόχρονα, επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών, όπως επίσης και την αναβάθμιση των λογισμικών, αλλά και την εφαρμογή των στρατηγικών ασφαλείας. Παράλληλα, οι συγκεκριμένες πλατφόρμες δίνουν τη δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας έτσι τη λήψη αποφάσεων, καθώς και την επίλυση προβλημάτων. Παραδείγματα γνωστών πλατφορμών της κατηγορίας αυτής είναι οι Thing Worx, η IBM Watson IoT (Alam,2021).

Αναφορικά με τα συστήματα υποδομής IoT, αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν διάφορες αρχιτεκτονικές και συστήματα, τα οποία και συνεργάζονται, για να υποστηρίξουν την ανάπτυξη και τη λειτουργία των εφαρμογών IoT. Ειδικότερα, τα δίκτυα επικοινωνίας διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο στη λειτουργία του IoT και παρουσιάζουν ποικιλία, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής και την περιοχή κάλυψης. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένοι τύποι δικτύων, οι οποίοι και υποστηρίζουν το IoT, ενώ αναλύονται στη συνέχεια (Ferrari et al.,2022).

Σχήμα 1: Τύποι δικτύων που υποστηρίζουν το IoT



Ειδικότερα, τα δίκτυα LPWAN (Low Power Wide Area Networks), όπως επίσης και το LoRaWAN, αλλά και το Sigfox, επιτρέπουν την αποστολή δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο είδος δικτύων θεωρείται ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μικρές ποσότητες δεδομένων και συχνές, αλλά όχι συνεχιζόμενες μεταφορές. Όσον αφορά τα Wi-Fi και Bluetooth, αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής απόστασης, όπου η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται είναι μεγαλύτερη, αλλά η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και η συχνότητα επικοινωνίας είναι πιο απαιτητικές. Το δίκτυο 5G, προσφέρει εξαιρετικά ταχεία μετάδοση δεδομένων, καθώς και υποστήριξη για μεγάλες αποστάσεις, όπως και για μεγάλο πλήθος συσκευών. Ιδίως σε βιομηχανικές εφαρμογές IoT, τα 5G δίκτυα προσφέρουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης ευχρηστίας και αποδοτικότητας (Ferrari et al.,2022).

Το IoT παράγει τεράστιες ποσότητες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, με τα δεδομένα αυτά να αποθηκεύονται, να επεξεργάζονται και αναλύονται γρήγορα, έτσι ώστε να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στους χρήστες, καθώς και στις επιχειρήσεις. Η υποδομή αποθήκευσης για το IoT περιλαμβάνει την αποθήκευση στο cloud, όπως επίσης και συστήματα edge computing, τα οποία και επεξεργάζονται τα

δεδομένα κοντά στην πηγή, δηλαδή στις συσκευές, είτε στους αισθητήρες. Ειδικότερα, η αποθήκευση στο cloud (cloud storage), έχει μεγάλη υπολογιστική ισχύ για τα δεδομένα αυτά, ενώ παρέχει και ευελιξία αποθήκευσης των δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, παρέχοντας τη δυνατότητα επεξεργασίας από απομακρυσμένους διακομιστές. Τέτοιου είδους συστήματα cloud είναι το AWS, το Microsoft Azure, καθώς και το Google Cloud. Από την άλλη, τα συστήματα edge computing περιορίζουν τον χρόνο καθυστέρησης, καθώς και για την ανάγκη για απομακρυσμένη αποθήκευση και ανάλυση. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές που απαιτούν άμεση αντίδραση ή δράση, όπως είναι η παρακολούθηση των βιομηχανικών συστημάτων, είτε η διαχείριση της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο (Alam,2021).

2.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας θεωρούνται κρίσιμα για τη λειτουργία του IoT, καθώς δίνουν τη δυνατότητα σύνδεσης, μετάδοσης, αλλά και λήψη δεδομένων μεταξύ των συσκευών, των αισθητήρων και των πλατφορμών. Αν δεν υπήρχαν τα πρωτόκολλα αυτά, οι επιμέρους συσκευές IoT δεν θα μπορούσαν να επικοινωνούν μεταξύ τους και επομένως δεν θα μπορούσε να υπάρξει παρακολούθηση, αυτοματοποίηση, όπως επίσης και απομακρυσμένη διαχείριση συστημάτων. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες, λαμβάνοντας υπόψη τις επιμέρους ανάγκες εφαρμογής, όπως είναι για παράδειγμα η απόσταση μετάδοσης, η κατανάλωση ενέργειας, η ταχύτητα επικοινωνίας, καθώς και η ασφάλεια. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ορισμένα πρωτόκολλα θεωρούνται πλέον κατάλληλα για μικρές αποστάσεις και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενώ άλλα πρωτόκολλα αφορούν εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας και έτσι απαιτούνται υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, όπως επίσης και μεγαλύτερη εμβέλεια (Bayilmis et al.,2022).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένα σημαντικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία και χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες IoT, τα οποία και αναλύονται στη συνέχεια.

Σχήμα 2: Σημαντικά πρωτόκολλα επικοινωνίας



Πιο αναλυτικά, από τα πλέον δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT είναι το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), το οποίο στηρίζεται στην αρχή «εκδότης-συνδρομής»-(publisher-subscriber). Κατά την αρχιτεκτονική αυτή, οι συσκευές ή οι εφαρμογές έχουν τη δυνατότητα να «εκδίδουν» μηνύματα σε κεντρικό διακομιστή, ενώ άλλες συσκευές μπορούν να είναι «συνδρομητές» των μηνυμάτων αυτών που λαμβάνουν. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το MQTT είναι ελαφρύ και σχεδιασμένο για εφαρμογές όπου η κατανάλωση ενέργειας, αλλά και η εύκολη συνδεσιμότητα είναι σημαντικές. Ενδεικτικές εφαρμογές είναι οι αισθητήρες, όπου λειτουργεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες δικτύωσης, όπως είναι το TCP/IP (Gerodimos et al.,2023).

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι το μικρό μέγεθος του μηνύματος, όπως και η χαμηλή κατανάλωση εύρος ζώνης, καθώς επίσης και η υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας τη δυνατότητα άμεσης μετάδοσης των δεδομένων. Εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ότι υπάρχει αξιοπιστία και υποστήριξη της αποθήκευσης μηνυμάτων, σε περίπτωση που υπάρξει αποτυχία σύνδεσης (Lombardi et al.,2021).

Περαιτέρω, το CoAP (Constrained Application Protocol), αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο έχει σχεδιαστεί ειδικά για περιορισμένα περιβάλλοντα, όπως είναι οι μικρές συσκευές IoT, όπου έχουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και μνήμη. Να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζει την επικοινωνία σε δίκτυα τα οποία βασίζονται σε UDP (User Datagram Protocol), ενώ βρίσκει εφαρμογές σε αποστολή μηνυμάτων, όπου δεν απαιτείται μεγάλη μεταφορά δεδομένων. Αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας, αυτό γίνεται με δύο βασικούς τρόπους, όπου ο πρώτος είναι το μοντέλο client-server, κατά το οποίο ο πελάτης ζητά δεδομένα από τον διακομιστή, ενώ ο δεύτερος αφορά το μοντέλο publisher-subscriber, με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί το MQTT. Το CoAP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο UDP για να επιτύχει χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στα πλεονεκτήματα του CoAP, τα οποία αφορούν την συνδεσιμότητα με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενώ αυτό θεωρείται κατάλληλο για περιορισμένες συσκευές και δίκτυα με περιορισμένο εύρος ζώνης. Τέλος, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι είναι ευέλικτο και μπορεί να επεκταθεί σε πλήθος εφαρμογών IoT (Lakshminarayana et al.,2024).

Όσον αφορά το πρωτόκολλο HTTP και το περισσότερο ασφαλές HTTPS (HyperText Transfer Protocol) χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων μέσω του παγκόσμιου ιστού. Παρά το γεγονός ότι το HTTP είναι ευρέως γνωστό και χρησιμοποιείται για την περιήγηση στο διαδίκτυο, βρίσκει εφαρμογές και IoT. Ουσιαστικά, πλήθος συσκευών χρησιμοποιεί HTTP, προκειμένου να επικοινωνούν με διακομιστές ή πλατφόρμες cloud. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το HTTP/HTTPS δεν είναι το πιο αποδοτικό πρωτόκολλο για IoT, εξαιτίας της υψηλής κατανάλωσης πόρων, αλλά και της καθυστέρησης που συνδέεται με τη λειτουργία του. Παρ' όλα αυτά, παραμένει ευρέως χρησιμοποιούμενο λόγω της ευκολίας του στην ενσωμάτωση με υπάρχουσες υποδομές και την ευρεία υποστήριξή του από τις περισσότερες πλατφόρμες. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι το πρωτόκολλο αυτό προσφέρει ασφάλεια μέσω HTTPS (κρυπτογράφηση επικοινωνίας), ενώ θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν την ανταλλαγή δεδομένων με διακομιστές ή πλατφόρμες cloud (Milosevic et al.,2021).

Περαιτέρω, το Zigbee είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογές μικρού εύρους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε συσκευές IoT για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων, χρησιμοποιώντας τη συχνότητα 2,4 GHz και υποστηρίζοντας τη δημιουργία mesh δικτύων, όπου η κάθε συσκευή μπορεί να λειτουργεί ως αναμεταδότης για την προώθηση δεδομένων σε άλλες συσκευές του δικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό επικοινωνίας θεωρείται ιδιαίτερα δημοφιλές σε εφαρμογές έξυπνου σπιτιού, για τη σύνδεση συσκευών όπως για παράδειγμα οι θερμοστάτες, οι λαμπτήρες, τα συστήματα συναγερμού κτλ. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι το δίκτυο αυτό μπορεί να υποστηρίζει ένα ευέλικτο και αποδοτικό σύστημα με πολλές συσκευές και θεωρείται ιδανικό για περιβάλλοντα όπου υπάρχει περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας (Zohourian et al.,2023).

Τέλος, ένα ακόμη πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), το οποίο βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλες αποστάσεις και χρησιμοποιείται σε δίκτυα μεγάλης εμβέλειας, ενώ λειτουργεί με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το εν λόγω πρωτόκολλο θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογές IoT που απαιτούν επικοινωνία σε μεγάλο εύρος κάλυψης, όπως για παράδειγμα είναι οι εφαρμογές της γεωργίας, είτε οι εφαρμογές έξυπνης πόλης. Επιπλέον, το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τεχνολογία LoRa (Long Range) για τη μετάδοση δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα, επιτρέποντας την αποστολή δεδομένων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα με μεγάλη αντοχή στις παρεμβολές (Almuhaya et al.,2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εφαρμογές του IoT

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό μελετά τις εφαρμογές του IoT, όπου αναλύονται οι εφαρμογές αυτές στον κτιριακό τομέα, καθώς και στην βιομηχανία. Ακόμη, εξετάζονται οι εφαρμογές που απαντώνται στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, καθώς επίσης και οι εφαρμογές που αφορούν τον τομέα των μεταφορών. Περαιτέρω, εξετάζονται εφαρμογές που αφορούν τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, όπως επίσης και εφαρμογές που αφορούν τον τομέα των μεταφορών, αλλά και εφαρμογές στον αγροτικό τομέα.

3.2 Εφαρμογές IoT στον κτιριακό τομέα

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές του Internet of Things (IoT) στον τομέα των κτιρίων έχουν εξελιχθεί σημαντικά στο πέρασμα του χρόνου, παρέχοντας πλέον καινοτόμες προσεγγίσεις και συμβάλλοντας μεταξύ άλλων στην ενεργειακή αποδοτικότητα, στην ασφάλεια, στην άνεση, καθώς και στη συντήρηση των κτιρίων. Ουσιαστικά, το IoT αναφέρεται σε ένα δίκτυο συσκευών που επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του διαδικτύου, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν, να ελέγχουν και να βελτιστοποιούν τη λειτουργία των συστημάτων του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο (Poyyamozi et al.,2024).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότερες εφαρμογές του IoT στον τομέα των κτιρίων.

Διαχείριση ενέργειας

Από τα πλέον σημαντικά ζητήματα στον κτιριακό τομέα είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα, συνεκτιμώντας το γεγονός ότι η κατανάλωση ενέργειας προκαλεί περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ συνάμα αυξάνει το λειτουργικό κόστος των κτιρίων. Οι συσκευές IoT, όπως είναι για παράδειγμα οι «έξυπνοι μετρητές ενέργειας», οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, αλλά και τα συστήματα αυτόματης ρύθμισης του κλιματισμού έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους διαχειριστές κτιρίων να προσαρμόζουν τις συνθήκες του χώρου,

σε τέτοια επίπεδα, έτσι ώστε να υπάρχει βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι οι παραπάνω συσκευές μπορούν να ρυθμίζουν τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων, περιορίζοντας έτσι την χρήση ενέργειας και εξοικονομώντας τους κατάλληλους πόρους (Razmjoo et al.,2022).

Ταυτόχρονα, η χρήση αισθητήρων κίνησης και παρουσίας, δίνει τη δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης αντίστοιχα του συστήματος φωτισμού, καθώς και των συστημάτων κλιματισμού, όταν δεν υπάρχουν χρήστες τον χώρο. Τα συστήματα IoT έχουν τη δυνατότητα να προβλέπουν τις ανάγκες που υπάρχουν στο κτίριο, λαμβάνοντας υπόψη την χρήση αυτού και έτσι μπορούν να προγραμματίζουν με τρόπο αυτόματο τις σχετικές ρυθμίσεις. Οι πρακτικές αυτές έχουν τη δυνατότητα να αυξάνεται η αποδοτικότητα, ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται το συνολικό ενεργειακό κόστος (Razmjoo et al.,2022).

Ασφάλεια και παρακολούθηση

Εξίσου κρίσιμη παράμετρος στον τομέα των κτιρίων είναι η ασφάλεια, με τις εφαρμογές IoT να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν καινοτόμες προσεγγίσεις για την προστασία των ίδιων των κτιρίων, αλλά και των χρηστών τους. Για παράδειγμα, συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ασφάλεια και την παρακολούθηση είναι οι κάμερες ασφαλείας που διαθέτουν δυνατότητες αναγνώρισης προσώπων ή κινήσεων, ενώ τα συστήματα παρακολούθησης ασφαλείας έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν σε ένα κεντρικό δίκτυο IoT. Επομένως, οι διαχειριστές των κτιρίων μπορούν σε πραγματικό χρόνο να παρακολουθούν το κτίριο και να ανταποκρίνονται άμεσα, σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι υπάρχει κάποιο περιστατικό έκτακτης ανάγκης (Sarker et al,2023).

Περαιτέρω, οι «έξυπνοι» αισθητήρες καπνού και θερμότητας, όπως επίσης και οι κάμερες ασφαλείας έχουν δυνατότητα να διαπιστώσουν τυχόν προβλήματα, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι οι διαρροές, είτε η κακή ποιότητα του αέρα . Έτσι μπορεί να ειδοποιηθεί το προσωπικό ασφαλείας, προκειμένου να λάβει τα αντίστοιχα μέτρα, με την ενημέρωση αυτή να είναι άμεση. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα συστήματα IoT έχουν τη δυνατότητα να διασυνδεθούν με τα συστήματα πυρασφάλειας και εκκένωσης του κτιρίου και έτσι μπορεί να υπάρξει αυτόματη

ενεργοποίηση των συστημάτων πυρόσβεσης και εκκένωσης, όταν κάτι τέτοιο απαιτηθεί (Cocco et al.,2022).

Συντήρηση και παρακολούθηση συστημάτων

Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική λειτουργία των κτιρίων διαδραματίζει η συντήρηση των συστημάτων και υποδομών. Οι επιμέρους εφαρμογές IoT μπορούν να βοηθήσουν στην βελτίωση της παρακολούθησης της διαδικασίας συντήρησης των συστημάτων θέρμανση, αερισμού και κλιματισμού (HVAC), ενώ συντήρηση απαιτείται και στους ανελκυστήρες, στις αντλίες, καθώς και σε άλλες υποδομές που μπορούν να χαρακτηριστούν ως κρίσιμες. Ουσιαστικά, οι αισθητήρες IoT παρακολουθούν την κατάσταση των συστημάτων, ενώ ειδοποιούν τις αρχές όταν υπάρχουν προβλήματα, είτε υπάρχουν ανάγκες για εκτεταμένη συντήρηση. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι μέσω των εφαρμογών IoT, μπορεί να υπάρξει ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και έτσι μπορούν να διαπιστωθούν φθορές ή αποτυχίες του εξοπλισμού, πριν τα προβλήματα αυτά γίνουν σοβαρά και αυξηθεί το κόστος. Περαιτέρω, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του IoT συμβάλλει στη διαχείριση των αποθεμάτων αναλωσίμων, όπως για παράδειγμα μπορεί να τα φίλτρα, ή τα αναλώσιμα HVAC, περιορίζοντας τα αποθέματα και διασφαλίζοντας ότι τα συστήματα λειτουργούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Lawal & Rafsanjani,2022).

Άνεση και εμπειρία χρήστη

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι εφαρμογές IoT στον κτιριακό τομέα βελτιώνουν την άνεση των χρηστών, μέσω των έξυπνων συστημάτων, οι οποίες και προσαρμόζουν τις συνθήκες του χώρου στις ανάγκες τους. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας συστήματα έξυπνου φωτισμού μπορεί να υπάρξει αυτόματη ρύθμιση του φωτισμού, ανάλογα με την ημέρα και την ώρα της ημέρας, είτε ανάλογα με το αν υπάρχουν χρήστες ή όχι σε κάποιον χώρο. Αντίστοιχα, τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού μπορούν να προσαρμόζονται και να διατηρούν άνετες θερμοκρασίες χωρίς να απαιτείται πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας. Μέσω της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, της υγρασίας, καθώς και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων, μπορεί να υπάρξει ένα υγιές και άνετο περιβάλλον διαμονής, είτε εργασίας (Delinchant & Ferrari,2021).

Πέρα από την άνεση των χρηστών, οι εφαρμογές IoT στον τομέα των κτιρίων προσφέρει δυνατότητες βελτίωσης της συντήρησης και μείωσης του λειτουργικού κόστους του κτιρίου. Οι τεχνολογίες IoT και οι εφαρμογές στον κτιριακό τομέα αναμένεται να επεκταθούν ακόμη περισσότερο στο μέλλον, προσφέροντας καινοτόμες προσεγγίσεις για την βιωσιμότητα, όπως και την αποδοτικότητα των κτιρίων, προς όφελος των ιδιοκτητών, αλλά και των ίδιων των χρηστών (Delinchant & Ferrari,2021).

Εικόνα 2: Εφαρμογές IoT στον κτιριακό τομέα

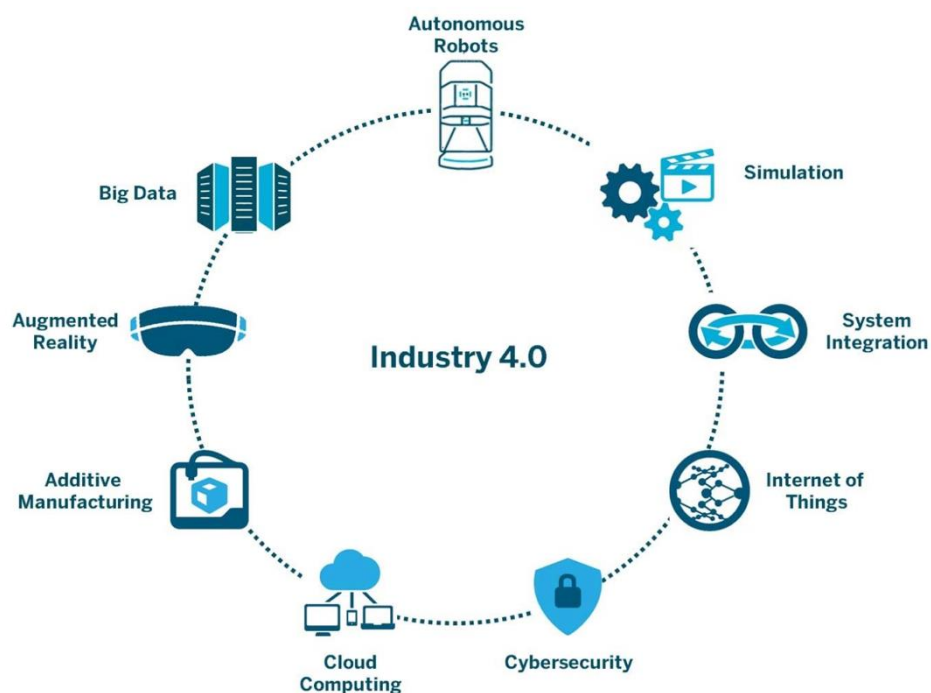


3.3 Εφαρμογές IoT στη βιομηχανία (Industry 4.0)

Στον τομέα της βιομηχανίας, το IoT βρίσκει πλήθος εφαρμογών, οι οποίες και εξελίσσονται διαρκώς, συμβάλλοντας στον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων. Ειδικότερα, εφαρμογές IoT στη βιομηχανία αφορούν τις διαδικασίες συντήρησης, όπως επίσης και τον βιομηχανικό εξοπλισμό, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να συμβάλλουν στην ανίχνευση επικίνδυνων αερίων, ακόμη και εκρηκτικών, ενισχύοντας έτσι την ασφάλεια στον χώρο της βιομηχανίας. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι στον τομέα της βιομηχανίας μέσω των εφαρμογών IoT μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση των προϊόντων τους, κάτι που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ετικέτες ραδιοσυχνότητας (Sisinni et al.,2018). Χρησιμοποιώντας

τις παραπάνω εφαρμογές επιτυγχάνεται μείωση του λειτουργικού κόστους, αλλά και βελτίωση της παραγωγικότητας. Επιπλέον, στον τομέα της βιομηχανίας, χρησιμοποιώντας τους πλέον κατάλληλους αισθητήρες μπορεί να υπάρξει εντοπισμός στον κατάλληλο χρόνο των προβλημάτων, τα οποία μπορεί να επιδρούν στην απόδοση, αλλά και στην καλή λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αξιοποιώντας τις εφαρμογές IoT στην βιομηχανία, οι επιχειρήσεις μπορούν να καταφέρουν να πετύχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και έτσι να συνεχίσουν να αναπτύσσονται με τρόπο ανταγωνιστικό (Wang et al.,2020).

Εικόνα 3: Εφαρμογές IoT στον τομέα της βιομηχανίας



3.4 Εφαρμογές IoT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (e-health)

Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο αναπτύσσονται εφαρμογές IoT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Οι εν λόγω εφαρμογές αφορούν την παρακολούθηση ασθενών στους χώρους των νοσοκομείων, όπως επίσης και την παρακολούθηση ηλικιωμένων και χρόνια πασχόντων, όπου τα άτομα αυτά χρήζουν μακροχρόνιας φροντίδας υγείας. Χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες,

λαμβάνονται δεδομένα τα οποία σχετίζονται με την κατάσταση της υγείας των ασθενών, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι το επίπεδο οξυγόνου στον οργανισμό, είτε η αρτηριακή πίεση, είτε οι σφυγμοί, τα επίπεδα σακχάρου κτλ. Γνωρίζοντας τα δεδομένα αυτά διαρκώς, μπορούν να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις από το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό, ενώ ταυτόχρονα, δίνεται η δυνατότητα άμεσης παρέμβασης, σε περίπτωση που κάποιος ασθενής βρίσκεται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Επίσης, για τον υγιή πληθυσμό, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της σωματικής δραστηριότητας, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την πραγματική κατάσταση της υγείας αυτών. Πέρα από την παρακολούθηση των ασθενών, οι εφαρμογές IoT μπορεί να αφορούν τον έλεγχο των συνθηκών σε καταψύκτες όπου αποθηκεύονται φάρμακα και εμβόλια (Darshan et al.,2015).

3.5 Εφαρμογές IoT στον τομέα των μεταφορών (Smart Mobility)

Στον τομέα των μεταφορών, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει αναπτυχθεί πλήθος εφαρμογών IoT, οι οποίες εξελίσσονται δυναμικά και μπορούν να συμβάλλουν στην βελτίωση των μετακινήσεων, εστιάζοντας στην αποδοτικότητα, αλλά και στην βελτιωμένη εμπειρία που αποκομίζουν οι επιβάτες. Ουσιαστικά, το IoT επιτρέπει να υπάρξει διασύνδεση και επικοινωνία διαφορετικών συσκευών και αισθητήρων που εμπλέκονται με τις μεταφορές, σε πραγματικό χρόνο και έτσι ενισχύεται η λήψη αποφάσεων και μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση των διαδρομών. Ταυτόχρονα, μπορεί να υπάρξει διευκόλυνση της συντήρησης των οχημάτων, αλλά και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που δημιουργείται στον τομέα των μεταφορών συνολικά. Οι εφαρμογές IoT στον τομέα των μεταφορών έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη έξυπνων μεταφορικών συστημάτων, τα οποία μεταξύ άλλων μπορούν να διευκολύνουν την διαχείριση της κυκλοφορίας, παρέχοντας τεχνολογικές καινοτομίες, οι οποίες μπορούν να αναβαθμίσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών (Paiva et al.,2021).

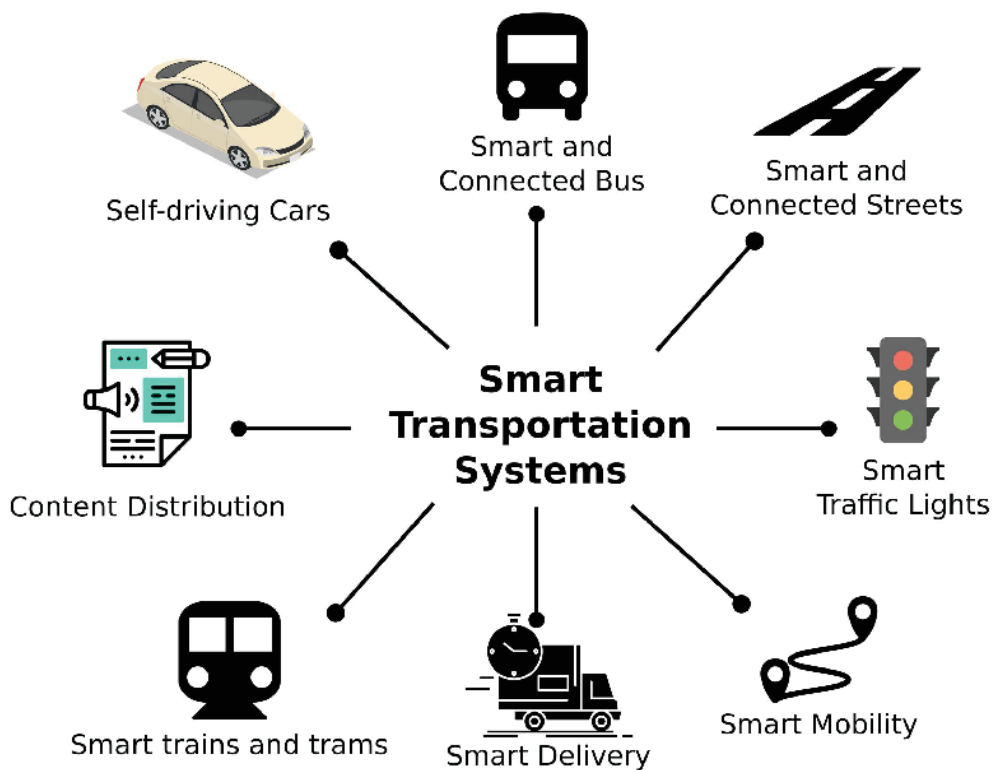
Πιο αναλυτικά, η χρήση των συστημάτων IoT σε οχήματα, αποτελεί σημαντική καινοτομία στον τομέα των μεταφορών, καθώς μέσω αυτών μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων όπως είναι η ταχύτητα, η

κατανάλωση καυσίμου, η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο κινητήρας, το επίπεδο των ελαστικών κτλ. Τα δεδομένα αυτά που συλλέγονται μέσω των τεχνολογιών IoT μεταδίδονται σε κεντρικές βάσεις δεδομένων, όπου εκεί λαμβάνει χώρα ανάλυση αυτών και έτσι προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των οχημάτων, ενώ μπορούν να διαπιστωθούν και ανάγκες για συντήρηση ή επισκευή. Οι εν λόγω τεχνολογίες συμβάλλουν στη μείωση του κόστους συντήρησης, αλλά και στην αποφυγή ξαφνικών βλαβών, ενώ εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω των τεχνολογιών IoT ενισχύεται η ικανότητα των διαχειριστών στόλων να προγραμματίζουν προληπτικές ενέργειες συντήρησης (Wolniak & Stecula,2024).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των «ευφυών» οχημάτων, τα οποία και επικοινωνούν μεταξύ τους, όπως επίσης και με τα συστήματα διαχείρισης των δρόμων, έτσι ώστε αφενός να αποφευχθούν ατυχήματα, αφετέρου δε, να αναγνωριστούν καταστάσεις που θεωρούνται επικίνδυνες, όπως είναι τα ατυχήματα, είτε τα κυκλοφοριακά προβλήματα. Η επικοινωνία αυτή των οχημάτων ενισχύει την ασφάλεια και διευκολύνει την διαχείριση της κυκλοφορίας, ενώ συνάμα, οι χρήστες των οχημάτων έχουν τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν την πορεία τους. Επιπρόσθετα, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι η διαχείριση της κυκλοφορίας στα αστικά κέντρα αποτελεί σημαντική πρόκληση, λαμβάνοντας υπόψη ότι τόσο ο αριθμός των κατοίκων των πόλεων βαίνει διαρκώς αυξανόμενος, όπως επίσης και ο αριθμός των οχημάτων. Μέσω των επιμέρους εφαρμογών IoT παρέχονται λύσεις αποτελεσματικής διαχείρισης της κυκλοφορίας. Για παράδειγμα τέτοιες εφαρμογές είναι οι έξυπνοι σηματοδότες, οι οποίοι και προσαρμόζουν τη διάρκεια των φαναριών, σύμφωνα με την πραγματική ροή της κυκλοφορίας σε κάθε χρονική στιγμή. Μέσω των αισθητήρων που τοποθετούνται στους δρόμους και στις διασταυρώσεις, παρακολουθείται ο αριθμός των οχημάτων, όπως επίσης και η ταχύτητα κίνησης αυτών, ενώ τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε κεντρικό σύστημα, στο οποίο και γίνεται ανάλυση της κυκλοφορίας, καθώς και προσαρμογή των φαναριών αναλόγως, περιορίζοντας τις καθυστερήσεις, αλλά και την κυκλοφοριακή συμφόρηση (Biyik et al.,2021).

Ταυτόχρονα, μέσω των εφαρμογών IoT ενισχύεται η εμπειρία των χρηστών, καθώς αυτοί λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη ροή της κυκλοφορίας, όπως και για τα ατυχήματα και τις κυκλοφοριακές διαταραχές. Ουσιαστικά, οι οδηγοί-χρήστες των οχημάτων έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τις εφαρμογές αυτές, προκειμένου να πετύχουν καλύτερες διαδρομές, όπως επίσης και για να αποφύγουν περιοχές όπου υπάρχει συμφόρηση, εξοικονομώντας έτσι χρόνο, αλλά και περιορίζοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Περαιτέρω, από τα πλέον σημαντικά οφέλη που δημιουργούν οι τεχνολογίες IoT στον τομέα των μεταφορών συγκαταλέγεται η δυνατότητα παρακολούθησης και συντήρησης των υποδομών, όπως είναι οι γέφυρες, οι δρόμοι, καθώς επίσης και οι σιδηροδρομικές γραμμές. Μέσω της χρήσης των αισθητήρων, παρακολουθείται η φθορά των υποδομών, όπως και η δομική ακεραιότητα, καθώς και άλλες κρίσιμες παράμετροι, ενώ οι υπεύθυνοι φορείς, μπορούν και εντοπίζουν σημεία με υψηλό κίνδυνο, είτε ανάγκες συντήρησης, προκειμένου οι υποδομές αυτές να παραμείνουν ασφαλείς και λειτουργικές. Εξαιτίας της πρόληψης των βλαβών, αλλά και της έγκαιρης συντήρησης, μπορούν να αποφευχθούν επικίνδυνες καταστάσεις, οι οποίες συνδέονται με φθαρμένα, είτε κατεστραμμένα σημεία (Wolniak & Stecula,2024).

Εικόνα 4: Εφαρμογές IoT στον τομέα των μεταφορών

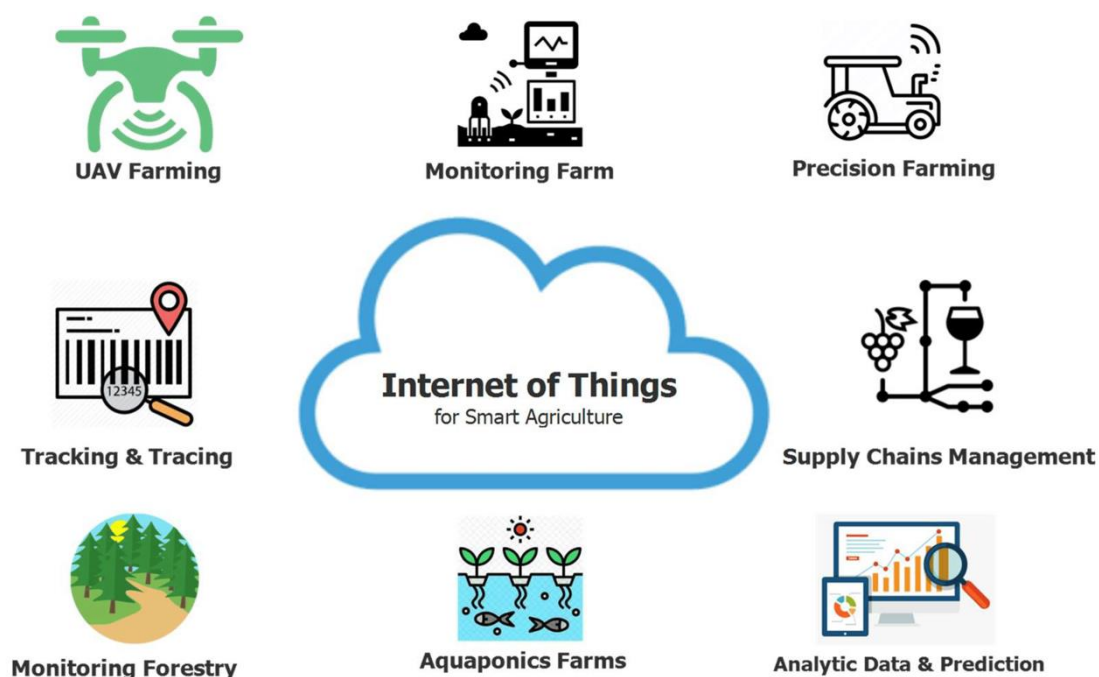


Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, τα οποία εξελίσσονται διαρκώς και έχουν τη δυνατότητα μέσω IoT να επικοινωνούν με την υποδομή των δρόμων, όπως επίσης και με άλλα οχήματα, έτσι ώστε να υπάρχει ασφαλής και αποδοτική πλοήγηση. Τα αυτόνομα οχήματα εξοπλίζονται με μια σειρά αισθητήρων, όπως είναι οι κάμερες, τα ραντάρ και lidar, τα οποία και επιτρέπουν να λαμβάνονται αποφάσεις, χωρίς να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση. Η περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής, αναμένεται να αλλάξει σημαντικά τον τομέα των μεταφορών, περιορίζοντας τα ατυχήματα, ενώ συνάμα αυξάνεται η αποδοτικότητα των διαδρομών και δημιουργούνται νέες ευκαιρίες για το μεταφορικό σύστημα συνολικά. Εξίσου σημαντική είναι και η συμβολή του IoT στην βελτίωση των δημοσίων συγκοινωνιών, καθώς μπορούν να ενημερώνονται οι επιβάτες, σε πραγματικό χρόνο μάλιστα αναφορικά με τις ώρες άφιξης, όπως επίσης και με τις καθυστερήσεις και άλλες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στις διαδρομές. Ταυτόχρονα, οι εφαρμογές αυτές μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της αξιοπιστίας των δημοσίων συγκοινωνιών προσφέροντας στους επιβάτες αναβαθμισμένη εμπειρία μετακίνησης (Ceferoğlu et al., 2021).

3.6 Εφαρμογές IoT στον αγροτικό τομέα (Smart Agriculture)

Εφαρμογές IoT απαντώνται και στον αγροτικό τομέα, καθώς αυτός παρουσιάζει σημαντική πολυπλοκότητα και η άντληση των κατάλληλων δεδομένων επιτρέπει την βέλτιστη δυνατή λήψη αποφάσεων. Οι εν λόγω εφαρμογές εξελίσσονται διαρκώς, καθώς εξελίσσονται οι τεχνολογίες και εφαρμόζονται όλο και περισσότερο τόσο σε μεγάλες αγροτικές εκμεταλλεύσεις, όσο και σε μικρότερες (Καθρέπτης & Κωνσταντινίδη,2022). Εφαρμογές IoT αφορούν την παρακολούθηση θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, συμβάλλοντας στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος και του καιρού, όπως επίσης και στην παρακολούθηση των φυτών. Παράλληλα, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορίες αναφορικά με τα διάφορα προβλήματα τα οποία και προκύπτουν, όπως επίσης λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των φυτών (Raj & Ananthi,2019).

Εικόνα 5: Εφαρμογές IoT στον πρωτογενή τομέα



Περαιτέρω, το IoT χρησιμοποιείται σε εφαρμογές άρδευσης, εξαιτίας της ανάγκης περιορισμού του κόστους άρδευσης, αλλά και λόγω της μείωσης των αποθεμάτων νερού. Τα συστήματα αυτά συνδέονται με αισθητήρες, ενώ γίνεται διαρκής λήψη δεδομένων από σχετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, προκειμένου να γίνεται προσαρμογή των συνθηκών άρδευσης στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Μέσω της βελτιστοποίησης της άρδευσης μπορεί να υπάρξει μετριασμός του κόστους παραγωγής, εξοικονόμηση πόρων, όπως επίσης και αύξηση της παραγωγής (Brajović et al.,2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Προκλήσεις και προοπτικές IoT

4.1 Εισαγωγή

Το εν λόγω κεφάλαιο εξετάζει τις προκλήσεις και τις προοπτικές που προκύπτουν για την τεχνολογία IoT. Ειδικότερα, έμφαση δίνεται στην ασφάλεια και στην προστασία των δεδομένων, στην κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης και στα ζητήματα τα οποία αφορούν τα πρότυπα και την διαλειτουργικότητα. Περαιτέρω, εξετάζεται πως η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενσωματωθεί στις τεχνολογίες IoT, προκειμένου να αναπτυχθούν έξυπνοι αλγόριθμοι, καθώς και να υπάρξει αυτονομία. Τέλος, μελετώνται καινοτομίες που αφορούν το IoT και αναπτύσσονται δυναμικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

4.2 Ασφάλεια και προστασία δεδομένων

Καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία IoT, δημιουργούνται προκλήσεις που αφορούν την ασφάλεια και την προστασία δεδομένων. Οι συσκευές IoT, δηλαδή τα διάφορα έξυπνα τηλέφωνα, οι έξυπνες οικιακές συσκευές, τα έξυπνα βιομηχανικά συστήματα, παράγουν και διαχειρίζονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων, τα οποία συνδέονται με προσωπικές, ευαίσθητες, όπως επίσης και κρίσιμες πληροφορίες. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, ο αριθμός των απειλών ασφάλειας όλο και αυξάνονται. Ουσιαστικά, εξαιτίας της διεύδυσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) σε ένα φάσμα καθημερινών δραστηριοτήτων και κρίσιμων υποδομών, υπάρχει αύξηση των συμβάντων που σχετίζονται με την κυβερνοασφάλεια (Lee & Ahmed,2021).

Ειδικότερα, καθώς οι συσκευές IoT επικοινωνούν μέσω ασύρματων δικτύων, δύναται αυτά να είναι επιρρεπή σε επιθέσεις, όπως είναι για παράδειγμα η παρεμβολή στη μετάδοση, είτε η υποκλοπή δεδομένων. Προκειμένου να υπάρξει προστασία των δεδομένων αυτών, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται κρυπτογραφημένες συνδέσεις, καθώς έτσι διασφαλίζεται η μετάδοση των δεδομένων με ασφάλεια, όπως επίσης και η χρήση ισχυρών μηχανισμών αυθεντικοποίησης για την επαλήθευση των συσκευών (Shahid et al.,2022). Περαιτέρω, είναι αρκετά σύνηθες να απαντώνται ζητήματα που αφορούν την ασφάλεια των συσκευών, καθώς πολλές από τις συσκευές που συνδέονται με IoT διαθέτουν αδύναμους μηχανισμούς ασφάλειας, είτε είναι ανοιχτές σε επιθέσεις, εξαιτίας των περιορισμένων πόρων που διαθέτουν. Για την προστασία των συσκευών, απαιτούνται ισχυροί μηχανισμοί ασφάλειας, ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού, χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση για την αποθήκευση δεδομένων, ενώ για την προστασία των συσκευών είναι αναγκαίο να υπάρχουν και σχετικές ενημερώσεις ασφάλειας (Soldatos,2020).

Καθώς παράγονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων εξαιτίας της λειτουργίας των συσκευών IoT είναι αναγκαίο να αποθηκεύονται, έτσι ώστε να υπάρχει αποτελεσματική διαχείριση αυτών με ασφάλεια. Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει να εφαρμόζονται σχετικές στρατηγικές που αφορούν την διαχείριση των δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα η αποθήκευση αυτών σε ασφαλή κέντρα δεδομένων, όπως επίσης και η χρήση τεχνολογιών που συμβάλλουν στην ανωνυμότητα. Έμφαση δίνεται στην τήρηση των κανονισμών που αφορούν την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Μέσω της συνεχούς παρακολούθησης του δικτύου IoT μπορεί να

διαπιστωθεί κάποια περίεργη ή κακόβουλη δραστηριότητα. Υπό το πρίσμα αυτό, για την πρόληψη των επιθέσεων, καθώς και για την άμεση αντίδραση στις επιθέσεις αυτής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα ανίχνευσης εισβολών, όπως επίσης και τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ο κατασκευής των συσκευών IoT να παρέχει ενημερώσεις λογισμικού ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Ziegler,2019).

4.3 Κατανάλωση ενέργειας

Είναι γεγονός ότι η διαρκής ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), έχει οδηγήσει σε διαρκείς αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται και επικοινωνούν οι συσκευές μεταξύ τους. Υπό το πρίσμα αυτό, οι εν λόγω συσκευές απαιτούν διαρκώς αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ, καθώς και συνδεσιμότητα, προκειμένου να μπορούν να επιτελέσουν τις λειτουργίες τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη αυτή συνδέεται με μια σειρά προκλήσεων, ιδίως στο σκέλος της κατανάλωσης ενέργειας, με τις προκλήσεις αυτές να πρέπει να επιλυθούν, έτσι ώστε να διατηρηθεί η βιωσιμότητα, αλλά και η αποδοτικότητα του IoT στο μέλλον (Yugank et al., 2022).

Ειδικότερα, η πλέον σημαντική πρόκληση αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας είναι η ανάγκη διαρκώς ενεργοποιημένων συσκευών IoT. Ουσιαστικά, τα περισσότερα αντικείμενα IoT έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να λειτουργούν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση και να είναι πάντα συνδεδεμένα στο δίκτυο. Η ανάγκη για την διαρκή αυτή τροφοδοσία οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας, κάτι που δεν θεωρείται πάντοτε εφικτό, ιδίως για μικρότερες φορητές συσκευές, οι οποίες και λειτουργούν με μπαταρίες (Liu et al.,2024).

Εξίσου σημαντικό ζήτημα για την ανάπτυξη του IoT είναι η αποδοτικότητα της κατανάλωσης ενέργειας. Ιδίως στις περιπτώσεις όπου οι συσκευές είναι μικρές, η ενέργεια που καταναλώνεται θα πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο, έτσι ώστε να μπορεί να αυξηθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, είτε να μπορέσει να μειωθεί η ανάγκη για συχνές επαναφορτίσεις. Προς την κατεύθυνση αυτή μπορούν να ενσωματωθούν πιο αποδοτικές διαδικασίες επικοινωνίας, όπως είναι για παράδειγμα η χρήση πρωτοκόλλων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (π.χ. LoRaWAN). Σε κάθε

περίπτωση, η βελτιστοποίηση της ενέργειας συνιστά ένα σύνθετο και ιδιαίτερα πολύπλοκο ζήτημα, με αποτέλεσμα να απαιτεί διαρκή έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Οι προκλήσεις αυτές αυξάνονται περισσότερο ιδίως για τις εφαρμογές που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση, είτε ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Liu et al., 2024).

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών IoT, η συνολική ζήτηση για ενέργεια γίνεται όλο και πιο σημαντική. Πλέον, ο αριθμός των συσκευών IoT ανέρχεται σε δισεκατομμύρια, με την αύξηση αυτή να συνδέεται με την αύξηση και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην εφαρμογή στρατηγικών που μειώνουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του IoT, ενισχύοντας συνάμα τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως είναι η αιολική και η ηλιακή για την τροφοδοσία των συσκευών. Σημαντικό ρόλο μπορούν να διαδραματίσουν τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας, καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Ουσιαστικά, η χρήση έξυπνων δικτύων ενέργειας δίνει τη δυνατότητα εξισορρόπησης της ζήτησης ενέργειας, καθώς και εξασφάλιση μιας πιο αποτελεσματικής χρήσης των διαθέσιμων πόρων.

Ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά στην κατανάλωση ενέργειας στα συστήματα IoT είναι η ασφάλεια. Σε κάθε περίπτωση, η κρυπτογράφηση, καθώς και η εφαρμογή άλλων τεχνικών ασφαλείας είναι αναγκαίες για την προστασία των δεδομένων, τα οποία και διακινούνται μεταξύ των συσκευών. Οι πρακτικές αυτές όμως απαιτούν πρόσθετη υπολογιστική ισχύ, η οποία απαιτεί και πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς, ο σχεδιασμός των συσκευών IoT θα πρέπει να εξισορροπεί την ανάγκη για ασφάλεια, καθώς επίσης και για την ανάγκη για αποδοτικότητα στην κατανάλωση ενέργειας (Yugank et al., 2022).

Προκειμένου να ξεπεραστούν οι προκλήσεις που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας, οι ερευνητές χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες, όπως επίσης και στρατηγικές για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, όπως επίσης χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακή ενέργεια για την τροφοδοσία συσκευών IoT). Ταυτόχρονα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα

που επιτυγχάνουν βελτιστοποίηση της επικοινωνίας και περιορίζουν την κατανάλωση ενέργειας, όπως είναι το Bluetooth Low Energy (BLE) ή το Zigbee, τα οποία και επιτρέπουν την μακροχρόνια λειτουργία των συσκευών με χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις (Yugank et al., 2022).

4.4 Ζητήματα προτύπων και διαλειτουργικότητας

Η ταχεία ανάπτυξη του IoT συνδέεται με σημαντικά θέματα τα οποία αφορούν τα πρότυπα και τη διαλειτουργικότητα, τα οποία και πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχία, αλλά και η βιωσιμότητα του IoT παγκοσμίως. Τα πρότυπα διασφαλίζουν ότι οι συσκευές και τα συστήματα που επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας κοινούς κανόνες και διαδικασίες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι χωρίς καθορισμένα πρότυπα οι διαφορετικές συσκευές μπορεί να μην είναι σε θέση να επικοινωνούν ή να συνεργάζονται μεταξύ τους, περιορίζοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του IoT, καθώς και τη δυνατότητα της τεχνολογίας να επεκταθεί περισσότερο (Lee et al.,2021).

Τα πρότυπα στο IoT διασφαλίζουν τη συνέπεια στην επικοινωνία, όπως επίσης και την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών συσκευών και πλατφορμών, μειώνοντας τις αναγκαίες δαπάνες για την ενσωμάτωση συσκευών και παρέχοντας σταθερότητα. Περαιτέρω, τα πρότυπα αυτά αφορούν τομείς όπως είναι η επικοινωνία, η ασφάλεια, η διαχείριση συσκευών, καθώς επίσης και η διαχείριση των δεδομένων. Η διαλειτουργικότητα αφορά την ικανότητα των συσκευών και των συστημάτων να συνεργάζονται μεταξύ τους, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή, είτε της πλατφόρμας που χρησιμοποιείται. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο IoT η διαλειτουργικότητα είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς στόχος είναι να δημιουργηθούν συνδεδεμένα οικοσυστήματα συσκευών και υπηρεσιών, τα οποία λειτουργούν με τρόπο αποτελεσματικό (Rana et al.,2021).

Μέχρι τώρα, κατά την ανάπτυξη των τεχνολογιών IoT απαντώνται διαφορετικά πρότυπα ή τεχνολογίες, τα οποία δεν είναι πάντοτε απόλυτα συμβατά μεταξύ τους. Επομένως, μια συσκευή που χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο μπορεί να μην είναι σε θέση να επικοινωνήσει με κάποια άλλη συσκευή, η οποία και

χρησιμοποιεί διαφορετικό πρωτόκολλο. Πρόκληση συνιστά η δημιουργία λύσεων, οι οποίες και επιτρέπουν τη σύνδεση, αλλά και τη συνεργασία των επιμέρους αυτών συσκευών. Εξίσου κρίσιμο ζήτημα είναι η ενοποίηση των συστημάτων που επικοινωνούν με διαφορετικές υποδομές και πλατφόρμες. Στις τεχνολογίες IoT, οι συσκευές και τα συστήματα μπορεί να προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, είτε μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες για τη διαχείριση, αλλά και την αποθήκευση δεδομένων. Η ανάγκη για ενοποίηση αυτών των συστημάτων και η δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ τους χωρίς απώλεια πληροφορίας ή καθυστέρηση διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στην ανάπτυξη του IoT (Hazra et al., 2021).

Καθώς ο κλάδος του IoT έχει πολλά ανταγωνιστικά επιχειρηματικά συμφέροντα, είναι αρκετά σύνηθες οι κατασκευαστές των συσκευών, όπως και οι πάροχοι υπηρεσιών να αποφεύγουν την υιοθέτηση κοινών προτύπων, έτσι ώστε να διατηρήσουν το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα. Ορισμένες φορές, οι επιμέρους φορείς της αγοράς επιλέγουν κλειστά πρότυπα ή τεχνολογίες, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητα συνεργασίας των επιμέρους συσκευών. Εξίσου κρίσιμη παράμετρος για τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων IoT είναι η ασφάλεια. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το IoT εξαρτάται από την μετάδοση δεδομένων μέσω του διαδικτύου, είναι αναγκαίο να υπάρχουν κοινά πρότυπα ασφαλείας, τα οποία θα προστατεύουν τα δεδομένα επιθέσεις και άλλες παραβιάσεις. Είναι αναγκαίο τα πρωτόκολλα ασφαλείας να εναρμονίζονται πλήρως με το οικοσύστημα IoT, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι συσκευές αυτές, αλλά και οι χρήστες προστατεύονται από κάθε είδους κυβερνοεπιθέσεις (Martikkala et al., 2021).

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα διαλειτουργικότητας που απαντώνται στο IoT, απαιτείται να υπάρξει συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, όπως είναι οι προγραμματιστές, οι σχετικές εταιρείες και οι οργανισμοί, αλλά και οι Κυβερνήσεις. Προς την κατεύθυνση αυτή έμφαση δίνεται και στη δημιουργία ανοιχτών πλατφορμών, καθώς και στη συνεργασία μεταξύ των εταιρειών και των κατασκευαστών συσκευών. Οι κοινές πλατφόρμες που χρησιμοποιούν ανοιχτά πρότυπα και επιτρέπουν την ευέλικτη ενσωμάτωση συσκευών από διαφορετικούς προμηθευτές, αναμένεται να προωθήσουν τη σύνδεση των συσκευών, επιτρέποντας

έτσι την ευκολότερη διαχείριση του IoT. Η ανάπτυξη πιο εξελιγμένων και κοινών πρωτοκόλλων ασφαλείας για το IoT είναι απαραίτητη για την προστασία των δεδομένων και την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας. Η ασφάλεια πρέπει να ενσωματώνεται από την αρχή στη διαδικασία ανάπτυξης του IoT, ώστε οι συσκευές να είναι προστατευμένες από απειλές χωρίς να περιορίζεται η δυνατότητά τους για συνεργασία με άλλες συσκευές (Rana et al.,2021).

4.5 Τεχνητή νοημοσύνη και IoT

Ο συνδυασμός της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και του Internet of Things (IoT), δημιουργεί νέες προοπτικές για τις σύγχρονες τεχνολογίες, καθώς μπορούν και δημιουργούνται δυναμικά και αυτόνομα συστήματα, τα οποία επιτρέπουν την βελτίωση των διαδικασιών σε πλήθος βιομηχανιών, καθώς και σε άλλες εφαρμογές. Ενώ το IoT αποτελεί το θεμέλιο για τη σύνδεση και την παρακολούθηση των φυσικών συσκευών, η AI φέρνει την ικανότητα να αναλύει, να επεξεργάζεται και να αντιδρά σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας έτσι «έξυπνα» συστήματα που μπορούν να αυτορυθμίζονται και να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών και των περιβαλλόντων τους (Subeesh & Mehta,2021).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) σχετίζεται με τη δημιουργία υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία είναι σε θέση να επιλύουν προβλήματα και να εκτελούν εργασίες, οι οποίες απαιτούσαν μέχρι πρότινος ανθρώπινη νοημοσύνη. Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους και μαθηματικά μοντέλα, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να επεξεργάζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων, να αναγνωρίζει μοτίβα και να προσφέρει λύσεις χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης, μπορεί να αφορά την μηχανική μάθηση, όπως και την αναγνώριση εικόνας, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας, καθώς και την αυτονομία συστημάτων, όπως είναι για παράδειγμα η αυτόνομη οδήγηση. Παρ' όλες τις δυνατότητες που δίνει η Τεχνητή Νοημοσύνη, δεν είναι αρκετή για την παρακολούθηση του πραγματικού κόσμου και την αλληλεπίδραση με φυσικά αντικείμενα. Για το λόγο αυτό επιδιώκεται συνδυασμός της Τεχνητής Νοημοσύνης με το IoT, όπου μέσω του IoT συλλέγονται τα κατάλληλα δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται μέσω της Τεχνητής

Νοημοσύνης, έτσι ώστε να ληφθούν οι πλέον κατάλληλες αποφάσεις (Manoharan et al., 2021).

Μέσω του παραπάνω συνδυασμού IoT και Τεχνητής Νοημοσύνης, διαμορφώνεται ένα πανίσχυρο σύστημα το οποίο έχει την ικανότητα να παρακολουθεί, να επεξεργάζεται και να αντιδρά σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα, αλλά και την αυτονομία. Οι συσκευές IoT παρέχουν τα δεδομένα που απαιτούνται για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων, ενώ η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να επεξεργαστεί αυτά τα δεδομένα και να παράγει αξιόπιστες και συνάμα αυτόνομες αποφάσεις. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η συνδυασμένη αυτή προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε «έξυπνα» συστήματα, τα οποία προσαρμόζονται, προβλέπουν καταστάσεις, ενώ έχουν τη δυνατότητα να αυτορυθμίζονται (Rane,2023).

Ο συνδυασμός IoT και Τεχνητής Νοημοσύνης δημιουργεί μια σειρά πλεονεκτημάτων. Ειδικότερα, ο συνδυασμός AI και IoT δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας αυτόνομων συστημάτων που προσαρμόζονται στις αλλαγές και βελτιστοποιούν τη λειτουργία τους χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο σπίτι, το σύστημα HVAC μπορεί να ρυθμίζει τη θερμοκρασία σύμφωνα με τις ανάγκες των κατοίκων χωρίς να απαιτεί χειροκίνητες ρυθμίσεις, ακόμη και εξ' αποστάσεως, δηλαδή χωρίς να είναι οι κάτοικοι εντός του σπιτιού. Επιπρόσθετα, ο εν λόγω συνδυασμός ενισχύει την αναλυτική ικανότητα, καθώς αυξάνεται η αξία των δεδομένων που προέρχονται από το IoT και αναγνωρίζονται μοτίβα και τάσεις, τα οποία δεν είναι εύκολα αντιληπτά από τους ανθρώπους. Επιπροσθέτως, βελτιώνεται η ακρίβεια των προβλέψεων, όπως και της ανάλυσης, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματικότητα και την βελτίωση των διαδικασιών. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται και αύξηση της αποδοτικότητας, η οποία συμβαίνει μέσω της συνεχούς παρακολούθησης, της ανάλυσης, αλλά και της αυτορρύθμισης των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Σε κάθε περίπτωση, ο συνδυασμός IoT και Τεχνητής Νοημοσύνης, αναμένεται να δημιουργήσει περισσότερο καινοτόμες λύσεις στο σύνολο των τομέων της ανθρώπινης δραστηριότητας (Subeesh & Mehta,2021).

4.6 Καινοτομίες και IoT

Το ενδιαφέρον για την περαιτέρω ανάπτυξη του Internet of Things (IoT), διαρκώς αυξάνεται, καθώς αυτό συνδέεται με μια σειρά τομέων της καθημερινότητας, ενώ κρίσιμες είναι και οι εφαρμογές στην βιομηχανία, στον τομέα των υπηρεσιών, αλλά και στον τομέα των μεταφορών. Ακόμη, καινοτομίες αναπτύσσονται στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, αλλά και στις «έξυπνες» πόλεις, όπου λαμβάνει χώρα διασύνδεση πλήθος συσκευών και επεξεργασία των δεδομένων με χρήση πρακτικών Τεχνητής Νοημοσύνης, καθώς και ανάπτυξη μιας σειράς εξειδικευμένων εφαρμογών που αφορούν την διαβίωση εντός του αστικού ιστού. Ουσιαστικά, δημιουργείται ένα διασυνδεδεμένο οικοσύστημα που περιλαμβάνει «έξυπνα» συστήματα, καθώς και εφαρμογές (Adhicandra et al.,2024).

Ειδικότερα, όσον αφορά τις «έξυπνες» πόλεις, χρησιμοποιούνται αισθητήρες, σε επιμέρους λειτουργίες των πόλεων, οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια και συμβάλλουν είτε στη λήψη σχετικών αποφάσεων, είτε σε ενεργοποίηση επιμέρους εφαρμογών. Για παράδειγμα, τέτοια δεδομένα μπορεί να αφορούν την διαχείριση κυκλοφορίας, όπου ουσιαστικά μετράται ο αριθμός των οχημάτων που κυκλοφορούν, αλλά και το είδος αυτό, η ποιότητα του αέρα, όπου εξετάζονται παράμετροι ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς επίσης και δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι πόλεις μπορούν να περιορίσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση, να βελτιώσουν την δημόσια ασφάλεια, όπως επίσης και να βελτιστοποιήσουν την διαχείριση των φυσικών πόρων που καταναλώνουν για την λειτουργία τους και διαρκώς αυξάνονται. Ένα ακόμη παράδειγμα αφορά την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία μπορεί να προέλθει μέσω της βελτιστοποίησης της λειτουργίας των συστημάτων φωτισμού, όπως επίσης και μέσω της βελτιστοποίησης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης στα επιμέρους κτίρια μιας πόλης (Vermesan et al.,2022).

Αξιόλογες καινοτομίες που συνδέονται με το IoT έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών και στον πρωτογενή τομέα, όπου δόθηκε η δυνατότητα μετάβασης από την παραδοσιακή γεωργία στην γεωργία ακριβείας. Ειδικότερα, στην

γεωργία ακρίβειας, οι αισθητήρες τοποθετούνται στα αγροκτήματα και παρακολουθούν την υγρασία του εδάφους, την θερμοκρασία, καθώς επίσης και την συμπίεση του εδάφους, όπως και άλλες κρίσιμες παραμέτρους. Ουσιαστικά, τα δεδομένα αυτά συλλέγονται και αναλύονται για να βοηθήσουν τους αγρότες, έτσι ώστε να λάβουν σχετικές αποφάσεις αναφορικά με την άρδευση, την χρήση λιπασμάτων και μέσω φυτοπροστασίας, καθώς επίσης και με την ανάπτυξη των φυτών, ενώ μπορούν και αντλούνται και δεδομένα για την παραγωγή ανά δέντρο, είτε ανά στρέμμα, είτε ανά φυτό, ανάλογα πάντοτε με την καλλιέργεια. Επομένως, συνολικά επιτυγχάνεται βελτίωση της αποδοτικότητας, μείωση της κατανάλωσης νερού και λιπασμάτων, αλλά και γενικότερα ενίσχυση της βιωσιμότητας στον τομέα της γεωργίας, κάτι που συνάδει άλλωστε και με τις σχετικές πολιτικές που έχουν θεσπιστεί σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο (Vermesan et al.,2022).

Περαιτέρω, η υγειονομική περίθαλψη έχει αναπτύξει πλήθος καινοτομιών που αφορούν το IoT, όπου ουσιαστικά χρησιμοποιούνται «έξυπνες συσκευές», οι οποίες επιτρέπουν την διαρκή παρακολούθηση των ασθενών. Για παράδειγμα, οι φορητές συσκευές που παρακολουθούν τη γλυκόζη στο αίμα, την πίεση ή τον καρδιακό ρυθμό, επιτρέπουν στους γιατρούς να παρακολουθούν τις ζωτικές παραμέτρους των ασθενών σε πραγματικό χρόνο και να προλαμβάνουν τυχόν επιπλοκές, ενώ συμβάλλουν και στην δημιουργία αξιόπιστων δεδομένων για τον τομέα της υγείας, τα οποία αξιοποιούνται προς όφελος της δημόσιας υγείας. Ταυτόχρονα, η απομακρυσμένη παρακολούθηση των ασθενών, συμβάλλει στην αναγνώριση ασθενειών, αξιοποιώντας «έξυπνα» συστήματα ανάλυσης εικόνας και δεδομένων, τα οποία και βοηθούν στην διάγνωση, αλλά και στην θεραπεία των διαφόρων παθήσεων σε πρώιμα στάδια. Σημαντικό πλεονέκτημα της καινοτομίας αυτής είναι η μείωση του φόρτου των δομών υγείας, σε συνδυασμό με την αυξημένης ποιότητας φροντίδα υγείας, ιδίως σε περιοχές όπου υπάρχει περιορισμένη πρόσβαση σε υγειονομικές υπηρεσίες (Adhicandra et al.,2024).

Επιπλέον, άλλες καινοτομίες αφορούν την χρήση του IoT στην διαχείριση των απορριμμάτων. Ουσιαστικά, οι αισθητήρες τοποθετούνται στους κάδους απορριμμάτων για να παρακολουθούν την ποσότητα των απορριμμάτων και να ειδοποιούν τις αρμόδιες αρχές όταν είναι αυτοί έτοιμοι για άδειασμα. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της διαδικασίας συλλογής

απορριμμάτων, ενώ περιορίζονται τα λειτουργικά κόστη, καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την αποκομιδή. Επομένως, με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται καλύτερες συνθήκες διαβίωσης για τους κατοίκους των επιμέρους περιοχών, όπως επίσης και σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς βελτιστοποιείται η διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων, κάτι που συνάδει άλλωστε και με τους στόχους που έχουν τεθεί αναφορικά με την διαχείριση των απορριμμάτων, τόσο σε εθνικό, όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Vermesan et al.,2022).

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), αναπτύσσεται διαρκώς, επιδρώντας καθοριστικά σε ποικίλους τομείς της καθημερινότητας, αλλά και της οικονομίας. Η ανάπτυξη του IoT παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων, τα οποία είναι εμφανή σε πλήθος τομέων, όπως για παράδειγμα είναι ο τομέας της βιομηχανίας, της υγειονομικής περίθαλψης, της γεωργίας, αλλά και των έξυπνων πόλεων. Στον τομέα της βιομηχανίας το IoT επιτρέπει την παρακολούθηση εξοπλισμού και διαδικασιών, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα και ασφάλεια, ενώ στην υγειονομική περίθαλψη αναπτύσσονται δυνατότητες διαρκούς παρακολούθησης των ασθενών και έγκαιρης διάγνωσης. Οι έξυπνες πόλεις εκμεταλλεύονται το IoT για τη βελτίωση της ασφάλειας, της κυκλοφορίας και των υποδομών, ενώ η γεωργία αξιοποιεί την τεχνολογία για την αποδοτική διαχείριση πόρων και την αύξηση της παραγωγής.

Η ανάπτυξη του IoT αντιμετωπίζει ποικίλες προκλήσεις, όπως είναι η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, η ασφάλεια και η προστασία των δεδομένων, αλλά και η ανάγκη για διαλειτουργικότητα των συσκευών και πλατφορμών. Η συνεχής λειτουργία και σύνδεση των συσκευών απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό, ιδίως για φορητές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες. Στο πλαίσιο αυτό, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για να επιτευχθεί μια πιο περισσότερο βιώσιμη λύση. Η χρήση πρωτοκόλλων όπως το Bluetooth Low Energy (BLE) και το Zigbee βοηθά στην μείωση της κατανάλωσης, δίνοντας τη δυνατότητα στους αισθητήρες να λειτουργούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με χαμηλότερη ενεργειακή απαίτηση.

Εξίσου σημαντικά ζητήματα για την αποτελεσματικότητα του IoT είναι η ασφάλεια των συσκευών IoT, καθώς και η προστασία των δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το IoT συνδέει έναν τεράστιο αριθμό συσκευών που συλλέγουν προσωπικά και κρίσιμα δεδομένα, υπάρχει αυξημένη ανάγκη για εφαρμογή ισχυρών συστημάτων ασφάλειας. Η κρυπτογράφηση των δεδομένων και οι αυστηρές διαδικασίες αυθεντικοποίησης είναι αναγκαία για την προστασία από κακόβουλες επιθέσεις και για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων. Επίσης, η χρήση

συστημάτων ανίχνευσης εισβολών και η συνεχής παρακολούθηση του δικτύου IoT βοηθούν στην έγκαιρη ανίχνευση και αντιμετώπιση απειλών.

Περαιτέρω, ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα του IoT αφορά τα πρότυπα και τη διαλειτουργικότητα των συσκευών και πλατφορμών. Η χρήση πολλαπλών τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας καθιστά δύσκολη την πλήρη συνεργασία των συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Για την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας είναι αναγκαία η υιοθέτηση διεθνών προτύπων και η δημιουργία ανοιχτών πλατφορμών που να επιτρέπουν την ευκολότερη ενσωμάτωση νέων συσκευών και υπηρεσιών.

Η τεχνητή νοημοσύνη, συνδυασμένη με το IoT μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη περισσότερων και καλύτερων έξυπνων συστημάτων. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούν να επεξεργάζονται τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές IoT και να προσφέρουν αυτοματοποιημένες λύσεις και προβλέψεις. Ο συνδυασμός αυτός αναμένεται να δημιουργήσει αλλαγές στον τρόπο επικοινωνίας και λειτουργίας των συσκευών, διευκολύνοντας τις καθημερινές δραστηριότητες και επιτρέποντας την καλύτερη διαχείριση των πόρων.

Εν κατακλείδι, οι τεχνολογίες IoT εξελίσσονται διαρκώς, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις σε ποικίλους τομείς. Η ανάπτυξη νέων εφαρμογών και η βελτίωση των υφιστάμενων θα επιτρέψουν την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού του IoT, ενώ οι εξελίξεις στους τομείς της ενέργειας, της ασφάλειας και της διαλειτουργικότητας θα καθορίσουν την επιτυχία και τη βιωσιμότητά του. Σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζουν η έρευνα και ανάπτυξη, καθώς μέσω αυτών μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της αποδοτικότητας, αλλά και της ασφάλειας στα συστήματα IoT.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

Adhicandra, I., Tanwir, T., Asfahani, A., Sitopu, J. W., & Irawan, F. (2024). Latest innovations in Internet of Things (IoT): Digital transformation across industries. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 1027-1037.

Alam, T. (2021). Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities. *Smart Cities*, 4(3), 1196-1219.

Almuhaya, M. A., Jabbar, W. A., Sulaiman, N., & Abdulmalek, S. (2022). A survey on Lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions. *Electronics*, 11(1), 164.

Babun, L., Denney, K., Celik, Z. B., McDaniel, P., & Uluagac, A. S. (2021). A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives. *Computer Networks*, 192, 108040.

Bayılmış, C., Ebleme, M. A., Çavuşoğlu, Ü., Küçük, K., & Sevin, A. (2022). A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things. *Digital Communications and Networks*, 8(6), 1094-1104.

Bembe, M., Abu-Mahfouz, A., Masonta, M., & Ngqondi, T. (2019). A survey on low-power wide area networks for IoT applications. *Telecommunication Systems*, 71, 249-274.

Bıyık, C., Abareshi, A., Paz, A., Ruiz, R. A., Battarra, R., Rogers, C. D., & Lizarraga, C. (2021). Smart mobility adoption: A review of the literature. *Journal of open innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 146.

Brajović, M., Vujović, S., & Đukanović, S. (2015). An overview of smart irrigation software. In *2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 353-356). IEEE.

Buurman, B., Kamruzzaman, J., Karmakar, G., & Islam, S. (2020). Low-power wide-area networks: Design goals, architecture, suitability to use cases and research challenges. *IEEE Access*, 8, 17179-17220.

Bunz, M., & Meikle, G. (2017). *The internet of things*. John Wiley & Sons.

Caferoglu, H., Elsner, D., & Moehrle, M. G. (2021). The interplay between technology and pre-industry convergence: An analysis in the technology field of smart mobility. *IEEE Transactions on Engineering Management*.

Chaudhari, B. S., & Zennaro, M. (2020). Introduction to low-power wide-area networks. In *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications* (pp. 1-13). Academic Press.

Cocco, L., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2022). A system proposal for information management in building sector based on BIM, SSI, IoT and blockchain. *Future Internet*, 14(5), 140

Darshan, K. R., & Anandakumar, K. R. (2015, December). A comprehensive review on usage of Internet of Things (IoT) in healthcare system. In *2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)* (pp. 132-136). IEEE.

Delinchant, B., & Ferrari, J. (2021). Standards and technologies from building sector, iot, and open-source trends. In *Towards Energy Smart Homes: Algorithms, Technologies, and Applications* (pp. 49-111). Cham: Springer International Publishing.

Färber, M., Svetashova, Y., & Harth, A. (2021). Theories of Meaning for the Internet of Things. *Concepts in Action: Representation, Learning, and Application*, 37-61.

Ferrari, P., Sisinni, E., Bellagente, P., Carvalho, D. F., Depari, A., Flammini, A., ... & Silva, I. (2022). On the use of LoRaWAN and cloud platforms for diversification of mobility-as-a-service infrastructure in smart city scenarios. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1-9.

Fortino, G., Guerrieri, A., Pace, P., Savaglio, C., & Spezzano, G. (2022). Iot platforms and security: An analysis of the leading industrial/commercial solutions. *Sensors*, 22(6), 2196.

Gerodimos, A., Maglaras, L., Ferrag, M. A., Ayres, N., & Kantzavelou, I. (2023). IoT: Communication protocols and security threats. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 1-13.

HaddadPajouh, H., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., Aledhari, M., & Karimipour, H. (2021). A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, 14, 100129.

Hassan, M. B., Ali, E. S., Mokhtar, R. A., Saeed, R. A., & Chaudhari, B. S. (2020). NB-IoT: Concepts, applications, and deployment challenges. In *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications* (pp. 119-144). Academic Press.

Hazra, A., Adhikari, M., Amgoth, T., & Srirama, S. N. (2021). A comprehensive survey on interoperability for IIoT: Taxonomy, standards, and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(1), 1-35.

Ikpehai, A., Adebisi, B., Rabie, K. M., Anoh, K., Ande, R. E., Hammoudeh, M., ... & Mbanaso, U. M. (2018). Low-power wide area network technologies for Internet-of-Things: A comparative review. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 2225-2240.

Khanh, Q. V., Hoai, N. V., Manh, L. D., Le, A. N., & Jeon, G. (2022). Wireless communication technologies for IoT in 5G: Vision, applications, and challenges. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022(1), 3229294.

Koripi, M. (2020). A review on architectures and needs in advanced wireless-communication technologies. *A Journal Of Composition Theory*, 13, 208-214.

Lawal, K., & Rafsanjani, H. N. (2022). Trends, benefits, risks, and challenges of IoT implementation in residential and commercial buildings. *Energy and Built Environment*, 3(3), 251-266.

Manoharan, K. G., Nehru, J. A., & Balasubramanian, S. (2021). Artificial intelligence and IoT. *Springer*, 10, 978-981.

Martikkala, A., Lobov, A., Lanz, M., & Ituarte, I. F. (2021). Towards the interoperability of IoT platforms: a case study for data collection and data storage. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 1138-1143.

Milošević, M., Mladenovic, V., & Pešović, U. (2021). Evaluation of HTTP/3 protocol for internet of things and fog computing scenarios.

Lakshminarayana, S., Praseed, A., & Thilagam, P. S. (2024). Securing the IoT application layer from an MQTT protocol perspective: Challenges and research prospects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.

Lee, C., & Ahmed, G. (2021). Improving IoT privacy, data protection and security concerns. *International Journal of Technology Innovation and Management (IJTIM)*, 1(1), 18-33.

Lee, E., Seo, Y. D., Oh, S. R., & Kim, Y. G. (2021). A Survey on Standards for Interoperability and Security in the Internet of Things. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(2), 1020-1047.

Liu, R., Xie, M., Liu, A., & Song, H. (2024). Joint optimization risk factor and energy consumption in IoT networks with TinyML-enabled internet of UAVs. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(12), 20983-20994.

Lombardi, M., Pascale, F., & Santaniello, D. (2021). Internet of things: A general overview between architectures, protocols and applications. *Information*, 12(2), 87.

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173.

Paiva, S., Ahad, M. A., Tripathi, G., Feroz, N., & Casalino, G. (2021). Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors*, 21(6), 2143.

Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5).

Poyyamozi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. *Buildings*, 14(11), 3446.

Raj, J. S., & Ananthi, J. V. (2019). Automation using IoT in greenhouse environment. *Journal of Information Technology*, 1(01), 38-47.

Rana, B., Singh, Y., & Singh, P. K. (2021). A systematic survey on internet of things: Energy efficiency and interoperability perspective. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(8), e4166.

Rane, N. (2023). Integrating leading-edge artificial intelligence (AI), internet of things (IOT), and big data technologies for smart and sustainable architecture, engineering and construction (AEC) industry: Challenges and future directions. *Engineering and Construction (AEC) Industry: Challenges and Future Directions (September 24, 2023)*.

Razmjoo, A., Gandomi, A., Mahlooji, M., Astiaso Garcia, D., Mirjalili, S., Rezvani, A., ... & Memon, S. (2022). An investigation of the policies and crucial sectors of smart cities based on IoT application. *Applied Sciences*, 12(5), 2672.

Saqlain, J. (2018). IoT and 5G: History evolution and its architecture their compatibility and future.

Sarker, I. H., Khan, A. I., Abushark, Y. B., & Alsolami, F. (2023). Internet of things (iot) security intelligence: a comprehensive overview, machine learning solutions and research directions. *Mobile Networks and Applications*, 28(1), 296-312.

Shahid, J., Ahmad, R., Kiani, A. K., Ahmad, T., Saeed, S., & Almuhaideb, A. M. (2022). Data protection and privacy of the internet of healthcare things (IoHTs). *Applied Sciences*, 12(4), 1927.

Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE transactions on industrial informatics*, 14(11), 4724-4734.

Soldatos, J. (2020). *Security Risk Management for the Internet of Things: Technologies and Techniques for IoT Security, Privacy and Data Protection* (p. 288). now publishers.

Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278-291.

Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Sundmaeker, H., Eisenhauer, M., Moessner, K., ... & Cousin, P. (2022). Internet of things strategic research and innovation agenda. In *Internet of things* (pp. 7-151). River Publishers.

Wang, Q., Zhu, X., Ni, Y., Gu, L., & Zhu, H. (2020). Blockchain for the IoT and industrial IoT: A review. *Internet of Things*, 10, 100081.

Wolniak, R., & Stecula, K. (2024). Artificial Intelligence in Smart Cities—Applications, Barriers, and Future Directions: A Review. *Smart Cities*, 7(3), 1346-1389.

Yugank, H. K., Sharma, R., & Gupta, S. H. (2022). An approach to analyse energy consumption of an IoT system. *International Journal of Information Technology*, 14(5), 2549-2558.

Ziegler, S. (Ed.). (2019). *Internet of Things Security and Data Protection* (pp. 15-199). Cham: Springer International Publishing.

Zohourian, A., Dadkhah, S., Neto, E. C. P., Mahdikhani, H., Danso, P. K., Molyneaux, H., & Ghorbani, A. A. (2023). IoT Zigbee device security: A comprehensive review. *Internet of Things*, 22, 100791.

Καθρέπτης, Μ. & Κωνσταντινίδης, Σ. (2022). *Εφαρμογές έξυπνης γεωργίας στις δενδροκαλλιέργειες-Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές στην Κεντρική Μακεδονία*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων-Πρόγραμμα Σπουδών «Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών» (MSc in Climate Crisis and Information and Communication Technologies)-Μάθημα: Προηγμένες Εφαρμογές Ψηφιακής Γεωργίας και Αειφορία.

