

Διαδίκτυο των πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις με έμφαση στον έξυπνο φωτισμό
Κωδικός Π.Ε. 25141

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Χριστοδούλου Κυριακή
Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Αμανατιάδης Δημήτριος
Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε.: 06/03/25
Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε.: 30 Μαΐου 2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της Χριστοδούλου Κυριακής που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στην εκπόνησή της.

Ιδιαίτερα, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτριο Αμαναντιάδη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη συνεχή υποστήριξη και τις ουσιαστικές συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Η βοήθειά του υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας προσπάθειας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή, την ενθάρρυνση και τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Στη σύγχρονη εποχή της ψηφιοποίησης και της τεχνολογικής ολοκλήρωσης, οι πόλεις καλούνται να επαναπροσδιορίσουν τον τρόπο λειτουργίας τους, αξιοποιώντας «εργαλεία», αλλά και λύσεις που μέχρι πρότινος θεωρούνταν καινοτόμες. Η ανάγκη για βιώσιμες, αποδοτικές και ευέλικτες υποδομές καθιστά επιτακτική την εφαρμογή σχετικών λύσεων που ενδυναμώνουν την προσαρμοστικότητα, αλλά και τη διαφάνεια στη διαχείριση των δημοσίων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνολογική προσέγγιση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), αναδεικνύεται σε καθοριστικό παράγοντα ανασχεδιασμού του αστικού χώρου και της καθημερινότητας των πολιτών.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια διερεύνησης του ρόλου των ευφυών συστημάτων φωτισμού στο περιβάλλον των έξυπνων πόλεων, εστιάζοντας όχι μόνο στην τεχνική τους διάσταση, αλλά και στις κοινωνικές, οικονομικές και διοικητικές προκλήσεις που προκύπτουν, καθώς τα συστήματα αυτά εξελίσσονται. Στόχος είναι η ανάδειξη των προοπτικών, των περιορισμών και των προϋποθέσεων που καθορίζουν τη μετάβαση από τον παραδοσιακό φωτισμό σε ένα διασυνδεδεμένο, δυναμικό και προσαρμοζόμενο σύστημα προς όφελος του ανθρώπου, αλλά και του περιβάλλοντος.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη συμβολή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, εστιάζοντας στον τομέα του αστικού φωτισμού. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μία από τις πλέον σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαετίας, δίνοντας τη δυνατότητα διασύνδεσης αντικειμένων, αισθητήρων, αλλά και υποδομών, έτσι ώστε να υπάρξει συλλογή, ανταλλαγή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στον αστικό φωτισμό προσφέρει νέες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς επίσης και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας αλλά και ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας και προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Αρχικά, η εργασία μελετά το θεωρητικό πλαίσιο της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως επίσης και τις βασικές τεχνολογικές συνιστώσες του, αλλά και τις πλέον σημαντικές εφαρμογές του, σε τομείς όπως είναι η βιομηχανία, η ενέργεια, η υγεία, αλλά και ο κλάδος των μεταφορών. Εν συνεχεία, η εργασία εστιάζει στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις έξυπνες πόλεις, αναλύοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα, την αυτοματοποίηση, την απομακρυσμένη διαχείριση και την προληπτική συντήρηση του φωτισμού.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση καλών πρακτικών από την Ευρώπη και την Ελλάδα, οι οποίες επιβεβαιώνουν ότι ο έξυπνος φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει ως βασική συνιστώσα του ψηφιακού μετασχηματισμού των πόλεων. Τέλος, παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις επιτυχούς εφαρμογής των σχετικών συστημάτων, όπως επίσης και οι ηθικές και νομικές προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η εργασία καταλήγει σε συγκεκριμένες προτάσεις για την αξιοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό ως εργαλείο βιώσιμης και ευφυούς διαχείρισης, τονίζοντας τη σημασία του σχεδιασμού, της διαλειτουργικότητας, της κοινωνικής αποδοχής, αλλά και της θεσμικής προετοιμασίας, εκ μέρους των εμπλεκόμενων φορέων.

«Internet of Things in smart cities with a focus on smart lighting»

«Kyriaki Christodoulou»

Abstract

This Thesis focuses on the contribution of the Internet of Things to the development of smart cities, with a particular emphasis on urban lighting. The Internet of Things is one of the most important technological developments of the last decade, enabling the interconnection of objects, sensors, and infrastructure so that data can be collected, exchanged, and analyzed in real time. The application of this technology to urban lighting offers new opportunities for energy savings, as well as optimizing operations, enhancing public safety and promoting sustainable development.

Initially, the paper examines the theoretical framework of Internet of Things technology, as well as its basic technological components and its most important applications in areas such as industry, energy, health, and transportation. The paper then focuses on the technologies used in smart cities, analyzing energy efficiency, automation, remote management, and preventive maintenance of lighting.

Particular emphasis is placed on presenting good practices from Europe and Greece, which confirm that smart lighting can serve as a key component of the digital transformation of cities. Finally, the conditions for the successful implementation of such systems are presented, as well as the ethical and legal challenges that must be taken into account. The paper concludes with specific recommendations for the use of Internet of Things in lighting as a tool for sustainable and intelligent management, emphasizing the importance of design, interoperability, social acceptance, and institutional preparedness on the part of the stakeholders involved.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας με τίτλο “Διαδίκτυο των πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις με έμφαση στον έξυπνο φωτισμό”, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν σ’ αυτό. Ειδικότερα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή του Διεθνούς Πανεπιστημίου-Σχολή Μηχανικών-Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων κ. Αμανατιάδη Δημήτριο για την αμέριστη υποστήριξή του σε όλα τα επιμέρους στάδια εκπόνησης της εργασίας. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες καθηγητές μου για τις γνώσεις και τα πολύτιμα εφόδια που μου μετέδωσαν, καθώς επίσης και την οικογένειά μου για την υποστήριξη και στο συγκεκριμένο στάδιο των σπουδών μου».

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα	viii
Κατάλογος Σχημάτων	x
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Κατάλογος Εικόνων	x
Συντομογραφίες.....	xi
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγική προσέγγιση	1
1.2 Σκοπός της εργασίας	2
1.3 Μεθοδολογία.....	2
1.4 Δομή της εργασίας	3
Κεφάλαιο 2ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Εννοιολογική προσέγγιση Διαδικτύου των Πραγμάτων	4
2.3 Ιστορική αναδρομή Διαδικτύου των Πραγμάτων	5
2.4 Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Πραγμάτων	6
2.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	8
2.6 Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	12
2.7 Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές.....	13
2.8 Επίλογος.....	14
Κεφάλαιο 3ο: Προκλήσεις και πιθανά προβλήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	16
3.1 Εισαγωγή.....	16
3.2 Κυβερνοασφάλεια και IoT	16
3.3 Διαχείριση δεδομένων και αποθήκευση αυτών.....	17
3.4 Ζητήματα διαλειτουργικότητας.....	19
3.5 Ενεργειακή αποδοτικότητα	20
3.6 Ηθικά και νομικά θέματα	21
3.7 Επίλογος.....	22
Κεφάλαιο 4ο: Έξυπνες πόλεις.....	24

4.1	Εισαγωγή.....	24
4.2	Η ανάγκη μετάβασης σε περισσότερο «έξυπνες» πόλεις.....	24
4.3	Εννοιολογική προσέγγιση έξυπνης πόλης.....	27
4.4	Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις έξυπνες πόλεις.....	32
4.5	Κίνητρα και πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων	36
4.6	Βιωσιμότητα, ανθεκτικότητα και έξυπνες πόλεις	39
4.7	Οικονομικά ζητήματα στο πλαίσιο ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων.....	41
4.8	Επίλογος.....	42
Κεφάλαιο 5ο: Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό στις έξυπνες πόλεις.....		44
5.1	Εισαγωγή.....	44
5.2	Ο φωτισμός και το κόστος ως ανάγκη για μια πόλη	44
5.3	Αυτοματοποιημένος έλεγχος φωτισμού.....	46
5.4	Απομακρυσμένος έλεγχος και διαχείριση	47
5.5	Αποδοτική χρήση ενέργειας.....	48
5.6	Αναγνώριση και ανάλυση κινήσεων	49
5.7	Προληπτική συντήρηση	50
5.8	Σύνδεση με άλλες υποδομές.....	51
5.9	Προβλήματα, κίνδυνοι και ευκαιρίες	53
5.10	Επίλογος.....	54
Κεφάλαιο 6ο: Καλές πρακτικές.....		56
6.1	Εισαγωγή.....	56
6.2	Καλές πρακτικές-Ευρώπη	56
6.3	Καλές πρακτικές-Ελλάδα.....	58
6.4	Παράγοντες επιτυχίας και προϋποθέσεις εφαρμογής.....	59
6.5	Επίλογος.....	60
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα-Προτάσεις.....		62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		64

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής τεσσάρων επιπέδων Διαδικτύου των Πραγμάτων [14].....	7
Σχήμα 4.2: Διαστάσεις έξυπνης πόλης [Ιδια Επεξεργασία].....	29
Σχήμα 4.3: Τεχνολογίες και εφαρμογές έξυπνων πόλεων [Ιδια Επεξεργασία].....	32

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας [18]	9
---	---

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1: Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων [18].....	10
Εικόνα 4-1: Βασικές διαστάσεις μιας έξυπνης πόλης [52]	28
Εικόνα 4-2: Τεχνολογίες και εφαρμογές έξυπνων πόλεων [51].....	33
Εικόνα 5-1: Σύστημα έξυπνου αστικού φωτισμού βασισμένο στο IoT [73].....	45
Εικόνα 5-2: Σύνδεση συστημάτων έξυπνου φωτισμού με άλλες υποδομές [64]	52
Εικόνα 6-1: Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων φωτισμού στο Άμστερνταμ [78]	57

Συντομογραφίες

2FA	Two-Factor Authentication
AI	Artificial Intelligence
BEMS	Building Energy Management Systems
BLE	Bluetooth Low Energy
CoAP	Constrained Application Protocol
GIS	Geographic Information Systems-GIS
GDPR	General Data Protection Regulation
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
ML	Machine Learning
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NFC	New Field Communication
VPN	Virtual Private Network
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΣΠΑ	Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο Αναφοράς
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΟΤΑ	Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγική προσέγγιση

Είναι γεγονός ότι η ταχεία πρόοδος της τεχνολογίας που έχει συμβεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει δημιουργήσει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο που λειτουργούν οι πόλεις. Υπό το πρίσμα αυτό, το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT), αποτελεί μια από τις πιο δυναμικές τεχνολογίες που παρουσιάζει διαρκή εξέλιξη, βρίσκοντας ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αφορά τη δυνατότητα σύνδεσης και επικοινωνίας φυσικών αντικειμένων μέσω του διαδικτύου, δίνοντας τη δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων, καθώς και λειτουργίας με τρόπο αυτοματοποιημένο. Η διαρκής ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής έχει συμβάλλει στην ανάπτυξη των λεγόμενων έξυπνων πόλεων, με την εν λόγω τεχνολογία να ενσωματώνεται τόσο στις υποδομές, όσο και στις επιμέρους υπηρεσίες, προκειμένου να βελτιώσει τη ζωή των πολιτών, την αποδοτικότητα των πόρων, όπως επίσης και την αειφορία [1].

Οι έξυπνες πόλεις στηρίζονται στη δυνατότητα των συσκευών και των συστημάτων να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα τους πόρους, προσφέροντας υπηρεσίες υψηλής ποιότητας στους κατοίκους τους. Η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις επιμέρους λειτουργίες της έξυπνης πόλης μπορεί να οδηγήσει σε μεταμόρφωση των αστικών αυτών περιοχών, παρέχοντας λύσεις για την αυτοματοποίηση, την εξοικονόμηση ενέργειας, την ασφάλεια, όπως επίσης και την υγειονομική περίθαλψη, αλλά και για την βελτίωση των συγκοινωνιών και της κυκλοφορίας των οχημάτων εντός του αστικού ιστού [2].

Από τις πλέον σημαντικές και ταυτόχρονα ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις είναι ο τομέας του φωτισμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο έξυπνος φωτισμός, καθώς αποτελεί τμήμα της αστικής υποδομής επιδρά σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των πόλεων. Η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης του φωτισμού, καθώς και η χρήση αισθητήρων και άλλων συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη ρύθμιση της έντασης και της κατεύθυνσης του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής, δύναται να περιορίσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας. Η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας συστημάτων, τα οποία και προσαρμόζονται στις συνθήκες της πόλης, όπως είναι η ανίχνευση της κίνησης, όπως επίσης και τη δυνατότητα προληπτικής συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την ασφάλεια, καθώς και την συνολική αποδοτικότητα των υποδομών [3].

Η τεχνολογία του έξυπνου φωτισμού παρέχει μια σειρά δυνατοτήτων αποτελεσματικότερης διαχείρισης των πόλεων, συμβάλλοντας και στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Ταυτόχρονα, μέσω των εφαρμογών του έξυπνου φωτισμού επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς επίσης και σύνδεση του φωτισμού με άλλες κρίσιμες υποδομές της πόλης και έτσι μπορεί και δημιουργείται ένα σύστημα διαχείρισης των επιμέρους λειτουργιών της πόλης, το οποίο επιτρέπει την συντήρηση, την αναβάθμιση, αλλά και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, οι πόλεις με τον τρόπο αυτό γίνονται περισσότερο βιώσιμες, ανθεκτικές, αλλά και ικανές να αντιμετωπίσουν τις μεγάλες προκλήσεις του μέλλοντος [4].

Παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή των τεχνολογιών IoT αναπτύσσεται διαρκώς, ανακύπτουν διαρκώς προκλήσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την κυβερνοασφάλεια, με την διαχείριση των δεδομένων, όπως επίσης και με θέματα διαλειτουργικότητας, αλλά και με ηθικές και νομικές εκφάνσεις. Η αναγκαιότητα εξασφάλισης της ιδιωτικότητας των πολιτών και της προστασίας των δεδομένων καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς οι έξυπνες πόλεις βασίζονται σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων, τα οποία και συλλέγονται, προκειμένου να μπορούν να λειτουργήσουν με τρόπο αποτελεσματικό. Η σωστή και συνάμα ασφαλής διαχείριση των δεδομένων αυτών είναι καθοριστική για την επιτυχία της εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις επιμέρους λειτουργίες των πόλεων [5].

1.2 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι να μελετήσει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις, εστιάζοντας σε ζητήματα που αφορούν τον έξυπνο φωτισμό. Ειδικότερα, μελετάται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και οι εφαρμογές αυτού, όπως επίσης και οι έξυπνες πόλεις, ενώ μέσω των καλών πρακτικών επιδιώκεται να αναδειχθούν χρήσιμες και πρακτικές εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό, εξετάζοντας τη δυνατότητα προσαρμογής αυτών και στις ελληνικές πόλεις, στο πλαίσιο της διαδικασίας ψηφιακού μετασχηματισμού που λαμβάνει χώρα.

1.3 Μεθοδολογία

Όσον αφορά την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται πρόκειται για βιβλιογραφική αναζήτηση, η οποία βασίζεται σε επιστημονικά περιοδικά καθώς και αντίστοιχα συγγράμματα, τα οποία εστιάζουν σε θέματα έξυπνης πόλης, Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως επίσης και σε εφαρμογές φωτισμού. Χρησιμοποιείται υλικό από σχετικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί για ζητήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων και έξυπνων πόλεων, τόσο στην ελληνική, όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά και υλικό από το διαδίκτυο, έτσι ώστε η προσέγγιση του ζητήματος να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη και σύγχρονη.

1.4 Δομή της εργασίας

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, όπου το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και προσδιορίζεται ο σκοπός της εργασίας και η μεθοδολογία. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως επίσης και στις εφαρμογές αυτού, ενώ επισημαίνονται οι σύγχρονες τάσεις και προοπτικές που δημιουργούνται. Στο τρίτο παρουσιάζονται οι προκλήσεις, καθώς και τα πιθανά προβλήματα που αφορούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, εστιάζοντας στην κυβερνοασφάλεια, στην διαχείριση δεδομένων και αποθήκευση αυτών, όπως επίσης και ζητήματα που άπτονται της διαλειτουργικότητας. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο θέμα της ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως επίσης και στα ηθικά και νομικά ζητήματα, τα οποία και προκύπτουν από την ευρεία χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας εστιάζει στο ζήτημα των έξυπνων πόλεων, όπου αρχικά μελετάται η ανάγκη μετάβασης σε περισσότερο «έξυπνες» πόλεις, ενώ στη συνέχεια προσδιορίζονται εννοιολογικά οι έξυπνες πόλεις. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης, όπως επίσης και στα κίνητρα και τις σχετικές πρωτοβουλίες που έχουν αναληφθεί για τη δημιουργία έξυπνων πόλεων. Επιπρόσθετα, εξετάζεται ο ρόλος της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας στις έξυπνες πόλεις, όπως επίσης και τα οικονομικά ζητήματα τα οποία και προκύπτουν στο πλαίσιο ανάπτυξης της πόλης, ενώ τέλος μελετάται ο ρόλος που διαδραματίζει η κυβερνοασφάλεια στη λειτουργία των έξυπνων πόλεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης. Πιο αναλυτικά, μελετάται ο φωτισμός και το κόστος αυτού ως ανάγκη για μια πόλη, όπως επίσης και ο αυτοματοποιημένος έλεγχος φωτισμού, ενώ εξετάζεται ο απομακρυσμένος έλεγχος και η διαχείριση του φωτισμού, η αποδοτική χρήση της ενέργειας, καθώς και η αναγνώριση και ανάλυση των επιμέρους κινήσεων. Έμφαση δίνεται στον ρόλο της προληπτικής συντήρησης, όπως επίσης και στη σύνδεση με άλλες υποδομές, ενώ επισημαίνονται προβλήματα, κίνδυνοι καθώς και ευκαιρίες που δημιουργούνται κατά την εφαρμογή Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό, στο πλαίσιο των έξυπνων πόλεων. Τέλος στο κεφάλαιο έξι αναδεικνύονται καλές πρακτικές του υπό εξέταση ζητήματος, τόσο από την Ευρώπη, όσο και από την Ελλάδα, στο πλαίσιο λειτουργίας των έξυπνων πόλεων, ενώ γίνεται λόγος και για τους παράγοντες επιτυχίας και τις προϋποθέσεις εφαρμογής. Το κεφάλαιο αυτό αφορά συμπεράσματα και προτάσεις που διατυπώνονται στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

Κεφάλαιο 2ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων

2.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή μελετάται αναλυτικά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Αρχικά, γίνεται εννοιολογική προσέγγιση αυτού, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή. Έμφαση δίνεται στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων και στα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται, όπως επίσης και στις εφαρμογές του. Τέλος, παρουσιάζονται οι σύγχρονες τάσεις και προοπτικές που διανοίγονται κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών.

2.2 Εννοιολογική προσέγγιση Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως έννοια περιγράφει τη σύνδεση και την επικοινωνία διαφόρων φυσικών αντικειμένων ή «ευφών» συσκευών, η οποία λαμβάνει χώρα μέσω του διαδικτύου και δίνει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης, αλλά και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ αυτών, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Ουσιαστικά, η τεχνολογία αυτή συνδέει τις επιμέρους συσκευές, δημιουργώντας ένα δίκτυο, όπου τα συνδεδεμένα μέρη επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο. Στην παραδοσιακή αντίληψη του διαδικτύου, οι χρήστες αλληλεπιδρούν με τους υπολογιστές ή τα κινητά τηλέφωνα για να αποκτήσουν πληροφορίες ή να επικοινωνήσουν. Αντιθέτως, με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η επικοινωνία αυτή επεκτείνεται σε αντικείμενα, όπως είναι αισθητήρες, οχήματα, εργαλεία, φωτιστικά συστήματα, αλλά και περισσότερο σύνθετα συστήματα, όπως είναι οι υποδομές του αστικού ιστού, αλλά και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις [6].

Προκειμένου να λειτουργήσει η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων απαιτείται να υπάρξει ενσωμάτωση διαφόρων συστημάτων, αλλά και αισθητήρων σε ένα ενιαίο δίκτυο, το οποίο και μπορεί να διαχειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο, εκτελώντας αυτοματοποιημένες ενέργειες. Για να υπάρξει σύνδεση των αισθητήρων αυτών και των συστημάτων είναι αναγκαίο να υπάρχουν προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως είναι το 5G, καθώς και άλλες μορφές ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες διασφαλίζουν την απρόσκοπτη ροή των δεδομένων [7]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων στηρίζεται στην αυτοματοποίηση, καθώς και στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας. Ουσιαστικά, οι επιμέρους συσκευές μπορούν να λειτουργούν λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που συλλέγονται [8].

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει και στην κοινωνική διάσταση που αφορά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, καθώς συμβάλλει στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Σημαντικά πλεονεκτήματα του αποτελούν η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων, η εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και η ασφάλεια, ενώ προβληματισμό δημιουργούν θέματα που συνδέονται με την προστασία και την ασφάλεια των δεδομένων [9].

Στο πλαίσιο λειτουργίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων έμφαση δίνεται στη διαλειτουργικότητα. Ουσιαστικά, η διαλειτουργικότητα αφορά τη σύνδεση των επιμέρους διαφορετικών συστημάτων και συσκευών, τα οποία είναι αναγκαίο να επικοινωνούν μεταξύ τους και να συνεργάζονται, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη τόσο ο κατασκευαστής, αλλά και η τεχνολογία αυτών. Συνεπώς, δημιουργείται ανάγκη για κοινά πρότυπα και πρωτόκολλα επικοινωνίας, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ασφαλής και συνάμα αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών συσκευών και συστημάτων. Ακόμη, καθώς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αναπτύσσεται διαμορφώνεται μια νέα αντίληψη του κόσμου, όπου τα πάντα είναι συνδεδεμένα και ελέγχονται μέσω του διαδικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της διασύνδεσης αυτής αποτελούν οι πόλεις, οι οποίες μετατρέπονται σε «έξυπνα» οικοσυστήματα, τα οποία διαχειρίζονται, αλλά και βελτιώνουν διαρκώς τις υποδομές τους [10].

2.3 Ιστορική αναδρομή Διαδικτύου των Πραγμάτων

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων εξελίχθηκε σταδιακά στο πέρασμα του χρόνου και συνδέθηκε άμεσα με την εξέλιξη των επιμέρους τεχνολογιών που εμπλέκονται στη λειτουργία του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως έννοια, αλλά και ως τεχνολογία δεν παρουσιάστηκε ξαφνικά αλλά εξελίχθηκε μέσω μιας σειράς καινοτομιών και τεχνολογικών εξελίξεων, οι οποίες αφορούσαν το διαδίκτυο, όπως επίσης και τον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αλλά και τους αισθητήρες. Ήδη την δεκαετία του 1980 συνδέθηκαν οι πρώτες συσκευές με το διαδίκτυο, χωρίς όμως να έχει καθιερωθεί η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αρχικά, οι συσκευές αυτές ήταν περιορισμένες και αφορούσαν κυρίως βιομηχανικές και ακαδημαϊκές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα ήταν ορισμένοι αισθητήρες και συσκευές, οι οποίοι και καταγράφουν τα δεδομένα και τα μεταδίδουν μέσω διαδικτύου για την διαχείριση των συστημάτων [11].

Η έννοια Διαδίκτυο των Πραγμάτων, απαντάται για πρώτη φορά το 1991, προκειμένου να περιγράψει την ανάγκη διασύνδεσης των φυσικών αντικειμένων με το διαδίκτυο, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων, χωρίς να υπάρχουν ανθρώπινες παρεμβάσεις. Από τις πρώτες εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής αφορούσε την παρακολούθηση αποθεμάτων, η οποία γινόταν με τη χρήση αισθητήρων. Η αρχική αυτή ιδέα εξελίχθηκε στο πέρασμα του χρόνου και απέκτησε τη μορφή που έχει σήμερα, καθώς την ίδια περίοδο έλαβε χώρα εντυπωσιακή πρόοδος στην ανάπτυξη του διαδικτύου, στις ασύρματες επικοινωνίες, καθώς και στους αισθητήρες [12].

Εν συνεχεία, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000, υπήρξε σημαντικά μεγάλη ανάπτυξη των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου αυτής, οι τεχνολογίες των αισθητήρων και της ασύρματης επικοινωνίας βελτιώθηκαν σημαντικά. Η αύξηση της ισχύος των μικροεπεξεργαστών και η εξάπλωση του Wi-Fi και του Bluetooth έδωσαν τη δυνατότητα σύνδεσης σημαντικά μεγαλύτερου αριθμού συσκευών. Ταυτόχρονα, η αυξανόμενη ανάγκη για

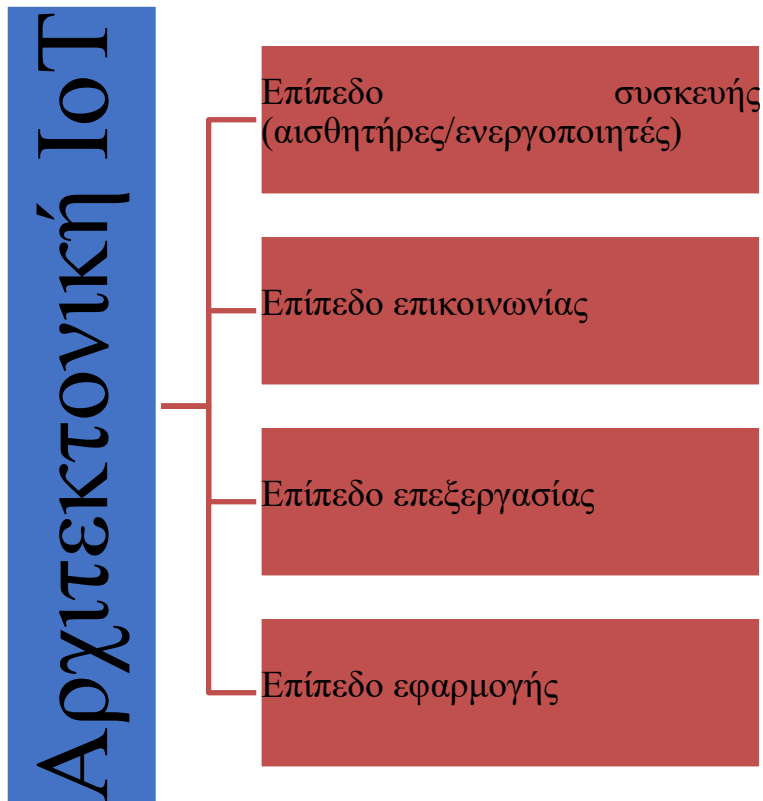
παρακολούθηση και διαχείριση πόρων, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η ανάπτυξη του «έξυπνου σπιτιού» ενίσχυσαν την δημοφιλία των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων [13].

Το 2010, πλέον, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ήταν μια αναγνωρίσιμη τεχνολογία, η οποία έβρισκε ήδη διάφορες εφαρμογές. Περαιτέρω, η ανάπτυξή του επήλθε εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων που συνδέονταν με τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα, με το cloud computing, καθώς επίσης και με την βελτίωση των δικτύων, όπως συνέβη με το 4G. Απόρροια των τεχνολογικών αυτών εξελίξεων ήταν να συνδέονται μεταξύ τους όλο και μεγαλύτερος αριθμός συσκευών και να επικοινωνούν μέσω του διαδικτύου. Η ιδέα των «έξυπνων πόλεων» και των «έξυπνων συσκευών» άρχισε να κερδίζει έδαφος, με την αυξανόμενη σύνδεση και αυτοματοποίηση των καθημερινών αντικειμένων [11].

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, στο πλαίσιο ενός διαρκούς ψηφιακού μετασχηματισμού που λαμβάνει χώρα τόσο σε επιχειρήσεις, όσο και σε κράτη, η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων αναπτύσσεται με φρενήρεις ρυθμούς. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλει η εξάπλωση του 5G, η βελτίωση των αισθητήρων, αλλά και τα προηγμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι έξυπνες πόλεις, η παροχή υπηρεσιών της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, καθώς και οι έξυπνοι μεταφορικοί τρόποι, αλλά και οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων αυξάνονται διαρκώς. Περαιτέρω ώθηση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής δίνει η τεχνητή νοημοσύνη, καθώς μέσω συνδυασμού των επιμέρους τεχνολογιών μπορεί και υπάρχει προηγμένη ανάλυση, αλλά και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των συστημάτων και των χρηστών. Συνεπώς, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων εξελίσσεται διαρκώς στο πέρασμα του χρόνου, βρίσκοντας ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, οι οποίες με τη σειρά τους μετασχηματίζουν την οικονομία, αλλά και την ίδια την κοινωνία, συμβάλλοντας στην βελτίωση της ποιότητας ζωής, όπως επίσης και στην βέλτιστη διαχείριση των πόρων [12].

2.4 Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Πραγμάτων

Η αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων αφορά την δομή, καθώς και συστατικά στοιχεία, τα οποία συνθέτουν τα συστήματα αυτά, όπως επίσης και τη διαχείριση των δεδομένων, τα οποία και συλλέγονται μέσω των συνδεδεμένων συσκευών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αρχιτεκτονική αυτή περιλαμβάνει πολλαπλά επίπεδα, τα οποία και συνεργάζονται, προκειμένου να δημιουργήσουν ένα σύστημα το οποίο συλλέγει, αναλύει και ενεργεί με δεδομένα από διάφορες συσκευές, έτσι ώστε να είναι σε θέση να παρέχει υπηρεσίες και να επιτρέπει την αυτοματοποίηση των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Η αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων χωρίζεται σε τέσσερα επιμέρους βασικά επίπεδα, τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι που αναφέρουν τα επίπεδα αυτά είναι τρία, πέντε ή έξι. Το κάθε ένα από τα επίπεδα αυτά έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία και είναι αναγκαία για την σωστή λειτουργία του συστήματος του Διαδικτύου των Πραγμάτων [14].



Σχήμα 2.1: Βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής τεσσάρων επιπέδων Διαδικτύου των Πραγμάτων [14]

- Επίπεδο συσκευής (αισθητήρες/ενεργοποιητές)

Το πρώτο επίπεδο αρχιτεκτονικής Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι το επίπεδο της συσκευής, το οποίο περιλαμβάνει τους αισθητήρες, καθώς και τους ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι τα δεδομένα που αφορούν την θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση, την κίνηση, είτε το φως. Λαμβάνοντας υπόψη τις επιμέρους ανάγκες του συστήματος, μπορεί να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι αισθητήρων, οι οποίοι και καταγράφουν τις φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες και τις μετατρέπουν σε κάποιου είδους ηλεκτρονικά σήματα, τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν από το σύστημα. Από την άλλη, οι ενεργοποιητές αποτελούν συσκευές που ενεργούν ή προβαίνουν στην αλλαγή της φυσικής κατάστασης των αντικειμένων, σύμφωνα με τα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας σε έναν χώρο, είτε η ρύθμιση του φωτισμού, στο πλαίσιο λειτουργίας ενός «έξυπνου» σπιτιού [15].

- Επίπεδο επικοινωνίας

Το επόμενο επίπεδο αρχιτεκτονικής αφορά το επίπεδο επικοινωνίας, το οποίο και εξασφαλίζει τη μεταφορά των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες προς το σύστημα επεξεργασίας ή αποθήκευσης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες

αλλά και πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως είναι το Wi-Fi, το Bluetooth, καθώς και άλλες τεχνολογίες (LoRaWAN και 5G). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου εξαρτάται άμεσα από τις απαιτήσεις του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως είναι η εμβέλεια, η κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης και η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Το επίπεδο επικοινωνίας είναι το κρίσιμο κομμάτι για την ασφαλή και αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων και των κεντρικών συστημάτων διαχείρισης [16].

- Επίπεδο επεξεργασίας και αποθήκευσης

Το επίπεδο αυτό, αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων τα οποία και συλλέγονται από τους αισθητήρες, όπως επίσης και την αποθήκευση αυτών, έτσι ώστε να μπορούν σε μελλοντικό χρόνο να γίνουν σχετικές αναλύσεις. Ο κύριος στόχος αυτού του επιπέδου είναι να επεξεργαστεί τα δεδομένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να εξάγονται χρήσιμες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνει είτε τοπικά, στα λεγόμενα «edge» συστήματα, τα οποία και βρίσκονται κοντά στη πηγή των δεδομένων, όπως είναι οι αισθητήρες, είτε μπορεί να γίνει κεντρικά, αξιοποιώντας υπολογιστικά νέφη (cloud computing), στα οποία γίνεται αποθήκευση και ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence-AI), όπως επίσης και εργαλεία μηχανικής μάθησης (machine learning), προκειμένου να εξαχθούν πρότυπα από τα δεδομένα και να παρέχουν εξατομικευμένες υπηρεσίες [16].

- Επίπεδο εφαρμογής

Το τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου των Πραγμάτων αφορά το επίπεδο εφαρμογής, το οποίο περιλαμβάνει τις υπηρεσίες, αλλά και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα επεξεργασμένα δεδομένα, προκειμένου να προσφέρουν λύσεις στους χρήστες. Ουσιαστικά, στο επίπεδο αυτό εντάσσονται οι έξυπνες πόλεις, η παρακολούθηση παραμέτρων λειτουργίας στα κτίρια, η παρακολούθηση της υγείας, καθώς επίσης και άλλες εφαρμογές που συνδέονται με την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο επίπεδο εφαρμογής τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της λειτουργίας των συστημάτων, για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, όπως επίσης και για την εξοικονόμηση των πόρων [17].

2.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αποτελούν τη βάση για τη λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι συνιστούν τον πυρήνα λειτουργίας του, ενώ ταυτόχρονα προσδιορίζουν τους κανόνες, αλλά και τις διαδικασίες, μέσω των οποίων οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά και με τα κεντρικά συστήματα. Η σωστή επιλογή των πρωτοκόλλων επικοινωνίας θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμη για την αποδοτικότητα, την ασφάλεια, αλλά και την αξιοπιστία των

εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τις επιμέρους ανάγκες της κάθε εφαρμογής, με την κατηγοριοποίηση αυτή να εξετάζει παραμέτρους όπως είναι η εμβέλεια, η ταχύτητα μετάδοσης, η κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης και η ασφάλεια. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κυριότερα πρωτόκολλα αυτών [18].

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)
HTTP (Hypertext Transfer Protocol)
CoAP (Constrained Application Protocol)
Bluetooth & Bluetooth Low Energy (BLE)
Zigbee
LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)
5G
NFC (Near Field Communication)

Πίνακας 2.1: Κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας [18]



Εικόνα 2-1: Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων [18]

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Το πρωτόκολλο αυτό είναι από τα πλέον δημοφιλή για εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων, καθώς πρόκειται για ένα ελαφρύ με χαμηλή κατανάλωση πόρων πρωτόκολλο το οποίο και στηρίζεται στο μοντέλο Publisher/Subscriber (δημοσίευση/εγγραφή). Οι συσκευές ή οι αισθητήρες δημοσιεύουν δεδομένα σε ένα κεντρικό σύστημα, το οποίο και αναλαμβάνει να αποστέλλει τα δεδομένα στους συνδρομητές. Το πρωτόκολλο αυτό είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή απόδοση, αλλά και την ίδια στιγμή χαμηλή καθυστέρηση, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τις συσκευές παρακολούθησης ή με τους έξυπνους θερμοστάτες [19].

HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

Το εν λόγω πρωτόκολλο είναι το πλέον διαδεδομένο, ωστόσο δεν είναι πάντοτε αποδοτικό για τις εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων, εξαιτίας της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και του εύρους ζώνης. Ωστόσο, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η επικοινωνία με το web ή το cloud είναι

αναγκαία. Ακόμη, το πρωτόκολλο αυτό είναι ιδιαίτερα εύχρηστο για τις εφαρμογές που απαιτούν την αποστολή δεδομένων, είτε την πρόσβαση σε υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου [19].

CoAP (Constrained Application Protocol)

Το CoAP είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές IoT, έχοντας περιορισμένα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα είναι οι μικρές συσκευές ή τα δίκτυα με περιορισμένη ισχύ και εύρος ζώνης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό είναι παρόμοιο με το HTTP, αλλά έχει αναπτυχθεί προκειμένου να λειτουργεί καλύτερα σε περιβάλλοντα, όπου υπάρχουν περιορισμένο πόροι. Ακόμη, το πρωτόκολλο αυτό επικοινωνίας υποστηρίζει το μοντέλο client-server, όπου οι συσκευές (clients), αποστέλλουν αιτήματα σε έναν server, ο οποίος και απαντά με τα αντίστοιχα δεδομένα. Να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό θεωρείται κατάλληλο για μικρούς αισθητήρες, καθώς και για εφαρμογές που έχουν χαμηλό κόστος [20].

Bluetooth & Bluetooth Low Energy (BLE)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Bluetooth είναι από τα πλέον κοινά πρωτόκολλα για τη σύνδεση συσκευών σε κοντινές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα είναι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση υγειονομικών παραμέτρων των ασθενών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το Bluetooth Low Energy (BLE), το οποίο και έχει σχεδιαστεί ειδικά για συσκευές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μικρό εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα να είναι ιδανικό για ορισμένες εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως είναι η έξυπνη οικιακή αυτοματοποίηση [20].

Zigbee

Το ασύρματο πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων σε μικρές αποστάσεις, καθώς και με περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας. Να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως είναι ο έξυπνος φωτισμός, τα συστήματα ασφάλειας, καθώς επίσης και τα συστήματα παρακολούθησης ενέργειας. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι το Zigbee υποστηρίζει ταυτόχρονη επικοινωνία πολλών συσκευών μέσω ενός δικτύου mesh, προσφέροντας έτσι υψηλή αξιοπιστία και δυνατότητα επέκτασης του δικτύου [20].

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

Πρόκειται για ένα ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας, μέσω του οποίου επιτρέπεται η σύνδεση συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων σε μεγάλες αποστάσεις (μερικών χιλιομέτρων), έχοντας πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν αποστολή μικρών ποσοτήτων δεδομένων σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως για παράδειγμα είναι ο

κλάδος της γεωργίας, της παρακολούθησης του περιβάλλοντος, αλλά και των συστημάτων παρακολούθησης των πόρων [22].

5G

Το 5G συνιστά την επόμενη γενικά ασύρματης τεχνολογίας, η οποία υποστηρίζει ήδη την μαζική ανάπτυξη εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων, με την τάση αυτή να αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών. Το 5G έχει τη δυνατότητα να συνδέσει εκατομμύρια συσκευές σε μικρές αποστάσεις, έχοντας μεγάλη ταχύτητα και χαμηλή καθυστέρηση, με αποτέλεσμα το πρωτόκολλο αυτό να θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογές άμεσης ανταπόκρισης, όπως είναι για παράδειγμα οι εφαρμογές αυτόνομης οδήγησης [22].

NFC (Near Field Communication)

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται σε πολύ μικρές αποστάσεις, οι οποίες ανέρχονται σε ορισμένα εκατοστά. Για παράδειγμα, εφαρμογές του πρωτοκόλλου αφορούν τις πληρωμές μέσω κινητών τηλεφώνων, τον έλεγχο ταυτότητας, αλλά και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ουσιαστικά, οι εφαρμογές αυτές απαιτούν άμεση και ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών, χωρίς να απαιτείται χρήση καλωδίων [22].

2.6 Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων

Είναι γεγονός ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μια σημαντική τεχνολογία που οδηγεί σε πλήρη μετασχηματισμό πλήθους τομέων της κοινωνικής και οικονομικής ζωής. Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται στην διαρκή αλληλεπίδραση διασυνδεδεμένων συσκευών, όπως επίσης και στην ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ουσιαστικά, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων προσφέρει δυνατότητες παρακολούθησης, αυτοματοποίησης και λήψης αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του περιβάλλοντος, αλλά και τις ανάγκες του χρήστη. Οι εφαρμογές του εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων, όπου περιλαμβάνει τη βιομηχανία, την γεωργία, την υγεία, την ενέργεια, καθώς και τη δημόσια διοίκηση [2].

Ειδικότερα, στον τομέα της βιομηχανίας, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί τη βάση για το «Industry 4.0». Η εγκατάσταση αισθητήρων σε γραμμές παραγωγής, μηχανές και αποθηκευτικούς χώρους επιτρέπει την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας, την πρόβλεψη βλαβών, αλλά και την αποδοτικότερη διαχείριση των αποθεμάτων. Η αυτοματοποιημένη ροή πληροφοριών περιορίζει το κόστος λειτουργίας, ενισχύοντας ταυτόχρονα την ευελιξία των επιχειρήσεων. Αναφορικά με τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης ασθενών, μέσω φορητών συσκευών και αισθητήρων, διευκολύνοντας την έγκαιρη διάγνωση, αλλά και την απομακρυσμένη φροντίδα των

ασθενών. Η αξιοποίηση δεδομένων συμβάλλει στη λήψη εξατομικευμένων αποφάσεων, ενώ παράλληλα περιορίζει την ανάγκη για φυσική παρουσία στα νοσηλευτικά ιδρύματα [4].

Περαιτέρω, σημαντική θεωρείται η συμβολή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον τομέα της γεωργίας ακριβείας, όπου αισθητήρες εδάφους, αλλά και ατμόσφαιρας συνδέονται με μηχανήματα, επιτρέποντας την παρακολούθηση των καλλιεργειών, αλλά και τη βέλτιστη κατανομή των εισροών, όπως είναι το νερό, το λίπασμα, αλλά και τα φυτοπροστατευτικά. Εφαρμόζοντας την προσέγγιση αυτή επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγικότητας, αλλά και μετριασμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Αναφορικά με τον τομέα της ενέργειας, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αξιοποιείται για την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, τη διαχείριση των ροών ενέργειας, όπως και για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των δικτύων. Στο πλαίσιο αυτό χρησιμοποιούνται έξυπνοι μετρητές, αισθητήρες φορτίου, όπως επίσης και συστήματα διαχείρισης κατανάλωσης, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται καλύτερη εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης, ενώ δίνεται και η δυνατότητα αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) [23].

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις, όπου αφορούν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών, όπως είναι για παράδειγμα ο αστικός φωτισμός, η διαχείριση των αποβλήτων, αλλά και η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της κυκλοφοριακής ροής. Η διασύνδεση των υποδομών επιτρέπει τον συντονισμένο έλεγχο, τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πολιτών και την καλύτερη χρήση των πόρων. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε οικιακό επίπεδο, οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων περιλαμβάνουν συστήματα τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν απομακρυσμένα τον φωτισμό, την θερμοκρασία, τις συσκευές, είτε την ασφάλεια του σπιτιού τους, προσφέροντας μεγαλύτερη άνεση, αλλά και εξοικονόμηση ενέργειας. Εν κατακλείδι, το IoT διαμορφώνει ένα νέο πρότυπο λειτουργίας και διαχείρισης, όπου η πληροφόρηση, η ευελιξία, αλλά και η αποδοτικότητα βρίσκονται στο επίκεντρο, έχοντας ως στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητας, της ασφάλειας, αλλά και της ποιότητας ζωής [24].

2.7 Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές

Η εξέλιξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), συνδέεται άμεσα με τον ευρύτερο ψηφιακό μετασχηματισμό της οικονομίας, αλλά και της κοινωνίας ευρύτερα. Οι σύγχρονες τάσεις αναδεικνύουν μια σταδιακή μετάβαση από απλές εφαρμογές διασύνδεσης συσκευών σε σύνθετα, αποκεντρωμένα και συνάμα «ευφυή» συστήματα, τα οποία λειτουργούν αυτόνομα και ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο σε περιβαλλοντικά και λειτουργικά ερεθίσματα. Από τις πλέον σημαντικές τάσεις είναι η ενσωμάτωση των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης στα συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης επιτρέπει στις συσκευές να «μαθαίνουν» από τα δεδομένα που συλλέγουν, να προβλέπουν μοτίβα και να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ο συνδυασμός Διαδικτύου των Πραγμάτων και τεχνητής νοημοσύνης βρίσκει εφαρμογή σε τομείς όπως

είναι πρόβλεψη βλαβών, η δυναμική διαχείριση ενέργειας, αλλά και η βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας [25].

Ταυτόχρονα, ενισχύεται η μετάβαση από το μοντέλο υπολογιστικού νέφους (cloud computing) προς το edge και fog computing, όπου η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται κοντά στην πηγή τους. Η προσέγγιση αυτή μειώνει σημαντικά τον χρόνο απόκρισης, περιορίζει την ανάγκη αποστολής μεγάλων όγκων δεδομένων και αυξάνει την ασφάλεια. Ακόμη, είναι ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές όπως είναι η αυτόνομη οδήγηση, η έξυπνη υγειονομική παρακολούθηση και οι βιομηχανικές αυτοματοποιήσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περαιτέρω εξάπλωση του 5G, αλλά και η έλευση του 6G, δημιουργούν το κατάλληλο περιβάλλον για την μαζική υιοθέτηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η υψηλή ταχύτητα, η χαμηλή καθυστέρηση και η δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης μεγάλου αριθμού συσκευών διευρύνουν σημαντικά τις δυνατότητες των εφαρμογών σε επίπεδο πόλης, όπως επίσης και στην βιομηχανία και στην υγεία [26].

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και στην τάση ενσωμάτωσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε ευφυή δίκτυα ενέργειας, μικροδίκτυα, όπως επίσης και σε συστήματα κατανεμημένης παραγωγής. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την καλύτερη ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την παρακολούθηση της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο και την ενδυνάμωση των καταναλωτών ως ενεργών συμμετεχόντων στην αγορά ενέργειας. Ακόμη, σημαντική πρόκληση για την περαιτέρω ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι η κυβερνοασφάλεια, καθώς η μαζική συλλογή και διακίνηση δεδομένων απαιτεί προηγμένα συστήματα προστασίας. Οι εξελίξεις στον τομέα περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση κρυπτογράφησης, πιστοποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως επίσης σε κάποιες περιπτώσεις τη χρήση τεχνολογιών blockchain, προκειμένου να διασφαλιστεί η διαφάνεια και η ακεραιότητα των δεδομένων [27].

Οι μελλοντικές προοπτικές του Διαδικτύου των Πραγμάτων περιλαμβάνουν τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων (Digital Twins), όπου πρόκειται για ψηφιακές απεικονίσεις φυσικών αντικειμένων ή υποδομών που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο. Μέσω αυτών, είναι δυνατή η προσομοίωση σεναρίων, η πρόβλεψη φθορών και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας κρίσιμων συστημάτων, από δρόμους και κτίρια έως ακόμη και ολόκληρες πόλεις [28].

2.8 Επίλογος

Συνοψίζοντας, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί έναν από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες του σύγχρονου τεχνολογικού μετασχηματισμού, επηρεάζοντας τόσο την καθημερινότητα των πολιτών όσο και τη λειτουργία κρίσιμων υποδομών. Η εξέλιξή του βασίζεται στη διασύνδεση συσκευών, στη δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αλλά και στη σταδιακή ενσωμάτωση ευφυών λειτουργιών που ενισχύουν την αυτοματοποίηση και τη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, οι σύγχρονες τάσεις υπογραμμίζουν τη σταδιακή σύγκλιση του Διαδικτύου των

Πραγμάτων με τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη και τα δίκτυα 5G, δημιουργώντας ακόμη πιο ευέλικτες και αποδοτικές εφαρμογές. Η κατανόηση των θεμελιωδών αρχών και προκλήσεων του Διαδικτύου των Πραγμάτων αποτελεί αναγκαία βάση για την περαιτέρω μελέτη των εφαρμογών του στις έξυπνες πόλεις και ιδίως στον έξυπνο φωτισμό, όπου μελετάται αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο 3ο: Προκλήσεις και πιθανά προβλήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι προκλήσεις, καθώς και τα πιθανά προβλήματα που προκύπτουν από την ανάπτυξη και εφαρμογή των τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ειδικότερα, εξετάζεται το ζήτημα της κυβερνοασφάλειας στο IoT, όπως επίσης και η διαχείριση των δεδομένων και η αποθήκευση αυτών. Αναφορά γίνεται σε θέματα διαλειτουργικότητας, στην ενεργειακή αποδοτικότητα, όπως επίσης και σε ηθικά και νομικά ζητήματα που αφορούν τις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

3.2 Κυβερνοασφάλεια και IoT

Αναμφίβολα, το ζήτημα της κυβερνοασφάλειας αποτελεί από τα πλέον σημαντικά στη λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η διαρκής σύνδεση των συσκευών και η ανταλλαγή των δεδομένων μέσω του διαδικτύου δημιουργεί νέες προκλήσεις, αλλά και συνάμα νέες ευκαιρίες για την προστασία των συστημάτων και των χρηστών από ποικίλες απειλές. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων περιλαμβάνει δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές, οι οποίες μπορούν να αποτελούν στόχους για επιθέσεις ή κακόβουλες ενέργειες. Συνεπώς, η κυβερνοασφάλεια στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι κρίσιμη για την προστασία των δεδομένων, της ιδιωτικότητας και της ακεραιότητας των συστημάτων, όπως επίσης και για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των έξυπνων συσκευών [29].

Οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι ποικίλες, καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, γεγονός που το καθιστά ευάλωτο σε μια σειρά διαφορετικών κινδύνων και επιθέσεων. Ειδικότερα, σημαντικός κίνδυνος μπορούν να αποτελέσουν οι επιθέσεις DDoS (Distributed Denial of Service), με τις πολλές συσκευές που συνδέονται στα συστήματα αυτά να μπορούν να λειτουργήσουν κατά κάποιο τρόπο ως «όπλα» σε επιθέσεις DDoS, γεγονός που οδηγεί στον αποκλεισμό υπηρεσιών ή συστημάτων. Να σημειωθεί ότι επιθέσεις του συγκεκριμένου τύπου εκμεταλλεύονται την υπερφόρτωση των πόρων ενός δικτύου εμποδίζοντας την ομαλή λειτουργία του. Περαιτέρω, οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων καταγράφουν συνεχώς δεδομένα από το περιβάλλον τους, όπως είναι προσωπικές συνήθειες, θέσεις και δραστηριότητες των χρηστών. Αυτή η συνεχής ροή δεδομένων δημιουργεί κίνδυνο παραβίασης της ιδιωτικότητας των χρηστών αν δεν προστατευτούν σωστά τα προσωπικά δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές [30].

Επιπλέον, οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων που συνδέονται με το διαδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιούν κακόβουλο λογισμικό, είτε μπορεί να είναι στόχοι για επιθέσεις ιών και malware. Οι

επιθέσεις αυτές μπορεί να αποσκοπούν στην υποκλοπή δεδομένων, στην παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των χρηστών, είτε στην κατάληψη των συσκευών, προκειμένου να πραγματοποιηθούν άλλες εγκληματικές ενέργειες. Πολλές συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων διαθέτουν αδύναμους μηχανισμούς ασφαλείας, όπως για παράδειγμα είναι οι αδύναμοι κωδικοί πρόσβασης, είτε τα μη κρυπτογραφημένα δεδομένα. Η απουσία ισχυρών πρωτοκόλλων ασφαλείας καθιστά τις συσκευές και τα δίκτυα IoT, περισσότερο ευάλωτους στόχους για επιθέσεις [31].

Προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται αναγκαία μέτρα, καθώς επίσης και να υιοθετούνται σχετικές πρακτικές και στρατηγικές που θα μεγιστοποιούν την προστασία. Στο πλαίσιο αυτό, επιδιώκεται να ενισχυθεί η ταυτότητα και η εξουσιοδότηση, εστιάζοντας στη χρήση ισχυρών και πολυσύνθετων μηχανικών αυθεντικοποίησης. Ουσιαστικά, συστήνεται η χρήση κωδικών πρόσβασης που χρησιμοποιούν αυθεντικοποίηση δύο παραμέτρων (2FA), είτε χρησιμοποιούν βιομετρική αυθεντικοποίηση. Επιπλέον, η κρυπτογράφηση είναι από τους σημαντικότερους βασικούς μηχανισμούς για την προστασία των δεδομένων που μεταδίδονται, είτε αποθηκεύονται από τις συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Μέσω της κρυπτογράφησης, ακόμα και αν τα δεδομένα υποκλαπούν, δεν μπορούν να αποκωδικοποιηθούν από κακόβουλους χρήστες, γεγονός που αυξάνει τα επίπεδα ασφαλείας [32].

Επιπρόσθετα, είναι αναγκαίο να γίνονται τακτικές ενημερώσεις του λογισμικού και του firmware των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα γνωστά κενά ασφαλείας. Οι κατασκευαστές των συσκευών αυτών θα πρέπει να προσφέρουν τις κατάλληλες ενημερώσεις, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι αδυναμίες. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να υπάρχουν ασφαλή δίκτυα και πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν την απαραίτητη προστασία για την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων. Σημαντική βοήθεια στην ενίσχυση της ασφαλείας των συσκευών αυτών μπορεί να προσφέρει και η εφαρμογή δικτύων VPN (Virtual Private Networks). Παρά τις σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις, η εκπαίδευση των χρηστών και των επαγγελματιών σε ζητήματα που άπτονται της κυβερνοασφάλειας είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Η εκπαίδευση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει την αναλυτική ενημέρωση του ανθρώπινου δυναμικού σχετικά με τους κινδύνους, την παροχή συμβουλών ασφαλείας, έτσι ώστε να μετριαστούν τα λάθη, αλλά και την μεταφορά καλών πρακτικών [29].

3.3 Διαχείριση δεδομένων και αποθήκευση αυτών

Για την αποτελεσματική λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, η διαχείριση και η αποθήκευση των δεδομένων θεωρείται κρίσιμης σημασίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι δισεκατομμύρια συσκευές συνδέονται μέσω Διαδικτύου των Πραγμάτων και παράγουν πολύ μεγάλους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η κατάλληλα διαχείριση των δεδομένων αυτών, αλλά και η αποθήκευσή τους,

συμβάλλει στην εξαγωγή ιδιαίτερα χρήσιμων πληροφοριών, όπως επίσης και στην ανάλυση των δεδομένων, αλλά και στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών [33].

Πιο αναλυτικά, στην αλυσίδα διαχείρισης των δεδομένων Διαδικτύου των Πραγμάτων, το πρώτο βήμα είναι η συλλογή αυτών, τα οποία και συλλέγονται είτε από αισθητήρες, είτε από συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων, οι οποίοι και παρακολουθούν μια σειρά από φυσικές ή περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως μπορεί να είναι για παράδειγμα το επίπεδο υγρασίας, είτε η κίνηση οχημάτων κτλ. Σε κάθε περίπτωση, η διαδικασία συλλογής δεδομένων θα πρέπει να είναι αποδοτική και συνάμα ακριβής, προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των δεδομένων, τα οποία και αποστέλλονται σε κεντρικές βάσεις δεδομένων, είτε σε κεντρικούς διακομιστές (servers). Όταν οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι περιορισμένες, η καταγραφή των δεδομένων γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα [34].

Όσον αφορά την αποθήκευση των δεδομένων του Διαδικτύου των Πραγμάτων, απαιτείται η χρήση ισχυρών και συνάμα ευέλικτων συστημάτων αποθήκευσης, τα οποία μπορούν να διαχειρίζονται έναν τεράστιο όγκο δεδομένων, ο οποίος παράγεται από τις συνδεδεμένες συσκευές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αποθήκευσης εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως είναι η ποσότητα των δεδομένων, η ταχύτητα της πρόσβασης, καθώς επίσης και η ανάγκη ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Η αποθήκευση μπορεί να γίνει τοπικά, είτε χρησιμοποιώντας λύσεις cloud, ενώ μπορεί να εφαρμοστούν και υβριδικές λύσεις [33].

Πιο αναλυτικά, η τοπική αποθήκευση αφορά την αποθήκευση των δεδομένων κοντά στην πηγή τους, δηλαδή τις επιμέρους συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η εν λόγω προσέγγιση περιορίζει την ανάγκη για αποστολή δεδομένων μεγάλου όγκου σε απομακρυσμένους διακομιστές, περιορίζοντας τα λάθη, καθώς και τις καθυστερήσεις. Ο συγκεκριμένος τύπος αποθήκευσης είναι ιδανικός για εφαρμογές που απαιτούν ταχεία απόκριση. Από την άλλη, υπάρχει η αποθήκευση που γίνεται στο cloud, με τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων να αποστέλλονται σε κεντρικούς διακομιστές που λειτουργούν στο διαδίκτυο. Οι υπηρεσίες cloud επιτρέπουν την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, παρέχοντας την κατάλληλη υποδομή για αποθήκευση, επεξεργασία, αλλά και ανάλυση των δεδομένων αυτών. Προκειμένου όμως το σύστημα αυτό να μπορεί να λειτουργήσει με τρόπο αποδοτικό απαιτείται να υπάρχει αξιόπιστη σύνδεση στο διαδίκτυο με αυστηρούς μηχανισμούς ασφαλείας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις, αν αυτό κριθεί αναγκαίο χρησιμοποιούνται υβριδικές λύσεις αποθήκευσης, όπου συνδυάζεται η τοπική αποθήκευση με την αποθήκευση που γίνεται στο cloud. Τα δεδομένα επεξεργάζονται τοπικά για γρήγορη απόκριση και αποστέλλονται στο cloud για πιο ενδελεχή ανάλυση και αποθήκευση μεγάλης κλίμακας [34].

Αναφορικά με την επεξεργασία των δεδομένων Διαδικτύου των Πραγμάτων, αυτή περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από συσκευές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επεξεργασία

αυτή μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα, δηλαδή τόσο σε τοπικό, όσο και σε κεντρικό, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Κατά την τοπική επεξεργασία τα δεδομένα επεξεργάζονται αμέσως από τις συσκευές ή κοντά στις συσκευές, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Η τοπική επεξεργασία των δεδομένων θεωρείται χρήσιμη για τις εφαρμογές που απαιτούν άμεση απόκριση, όπως για παράδειγμα συμβαίνει κατά την παρακολούθηση των ασθενών. Από την άλλη, κατά την κεντρική επεξεργασία, τα δεδομένα αποστέλλονται στο cloud, προκειμένου να υπάρξει ανάλυση μέσω ισχυρότερων υπολογιστικών συστημάτων, χρησιμοποιώντας περισσότερο προηγμένα τεχνολογικά εργαλεία, όπως είναι η τεχνητή νοημοσύνη. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων [34].

Η ασφάλεια των δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο επεξεργασίας αυτών, καθώς μέσω της ασφάλειας επιτυγχάνεται προστασία της ιδιωτικότητας, αλλά και αποφυγή κακόβουλων επιθέσεων. Η κρυπτογράφηση των δεδομένων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης και αποθήκευσης είναι μια βασική μέθοδος για την προστασία των δεδομένων από παραβιάσεις. Επιπλέον, η διαχείριση της πρόσβασης, η αυθεντικοποίηση χρηστών και η παρακολούθηση της δραστηριότητας των συσκευών είναι εξίσου σημαντικά για την αποτροπή κακόβουλων επιθέσεων [33].

3.4 Ζητήματα διαλειτουργικότητας

Προκειμένου οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων να μπορούν να χαρακτηριστούν από επιτυχία, ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος είναι η διαλειτουργικότητα, η οποία αφορά ουσιαστικά τη σύνδεση διαφορετικών συσκευών, συστημάτων και τεχνολογιών, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους. Η συνεργασία αυτή γίνεται παρόλο που μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί κατασκευαστές, πρωτόκολλα, αλλά και ψηφιακές πλατφόρμες. Η απουσία διαλειτουργικότητας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα, όπως είναι η περιορισμένη λειτουργικότητα, τα υψηλά κόστη για την ενσωμάτωση συσκευών και πλατφορμών, όπως επίσης και στη μείωση της αποτελεσματικότητας των έξυπνων συστημάτων [34].

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στις προκλήσεις με τις οποίες βρίσκεται αντιμέτωπη η διαλειτουργικότητα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με τις προκλήσεις αυτές να είναι κυρίως τεχνολογικές, αλλά και οργανωτικές. Ειδικότερα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρησιμοποιεί μια μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων επικοινωνίας για τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι τα MQTT, το CoAP, το HTTP, το Bluetooth, το Zigbee, το LoRaWAN και το 5G, όπου το κάθε ένα από αυτά παρουσιάζει δικά του πλεονεκτήματα και αδυναμίες, ενώ επιλέγεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που δημιουργούνται από την κάθε εφαρμογή. Οι επιμέρους συσκευές μπορεί να έχουν διαφορετικά πρωτόκολλα και έτσι μπορεί να δυσκολεύονται να συνδεθούν, αλλά και να συνεργαστούν μεταξύ τους [35].

Η διαλειτουργικότητα απαιτεί τη χρήση κοινών προτύπων, τα οποία και θα επιτρέπουν τη σύνδεση, καθώς και τη συνεργασία μεταξύ των συσκευών και πλατφορμών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πάντα καθιερωμένα διεθνή πρότυπα για όλες τις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην ενσωμάτωση των συσκευών αυτών. Ορισμένες φορές, οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων χρησιμοποιούν ιδιωτικά πρότυπα, τα οποία και δημιουργούν προβλήματα στην ευκολία ενσωμάτωσης άλλων συσκευών ή συστημάτων. Να σημειωθεί ότι κάποιες εταιρείες προτιμούν να αναπτύξουν ιδιόκτητα τεχνολογικά οικοσυστήματα, δημιουργώντας έτσι κλειστά περιβάλλοντα και μη διευκολύνοντας την αλληλεπίδραση με συσκευές άλλων κατασκευαστών [36].

Προκειμένου να μπορέσει να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα στις επιμέρους εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων θα πρέπει να αναπτυχθούν λύσεις, οι οποίες επιτρέπουν τη σύνδεση και τη συνεργασία διαφορετικών συσκευών και συστημάτων. Υπό το πρίσμα αυτό, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν κοινά ανοιχτά πρότυπα, μέσω των οποίων θα μπορεί να γίνεται επικοινωνία και ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών συσκευών και πλατφορμών [34]. Επιπρόσθετα, η χρήση πλατφορμών και συστημάτων ενσωμάτωσης, δύναται να συμβάλλουν στην διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ των διαφορετικών συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ουσιαστικά, οι πλατφόρμες αυτές λειτουργούν ως διαμεσολαβητές, οι οποίοι μεταφράζουν και διευκολύνουν την αλληλεπίδραση των δεδομένων μεταξύ των συσκευών, οι οποίες και χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα και πρωτόκολλα. Οι εν λόγω πλατφόρμες επιτρέπουν τη διαχείριση των δεδομένων από πολλαπλές συσκευές, παρέχοντας ένα ενιαίο σημείο ελέγχου για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του συστήματος [35].

Τέλος, σημαντικός μπορεί να είναι και ο ρόλος της ευελιξίας και της ικανότητας αναβάθμισης των υποδομών, έτσι ώστε να μπορεί να επιτυγχάνεται διαλειτουργικότητα των λύσεων Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η χρήση ευέλικτων και συνάμα επεκτάσιμων υποδομών, όπως είναι οι λύσεις cloud, παρέχει τη δυνατότητα εύκολης ενσωμάτωσης νέων συσκευών και τεχνολογιών, χωρίς να είναι αναγκαία η πλήρης αναδιάρθρωση του συστήματος [34].

3.5 Ενεργειακή αποδοτικότητα

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί μία από τις βασικότερες επιδιώξεις των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, ιδίως σε τομείς όπου η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει υψηλό λειτουργικό κόστος, αλλά και σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης, ελέγχου και προσαρμογής της ενεργειακής χρήσης μέσω «ευφυών» συσκευών και αλγορίθμων, συμβάλλει στον περιορισμό των απωλειών, όπως επίσης και στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης, αφενός σε επίπεδο τελικού χρήστη, αφετέρου δε, σε επίπεδο υποδομής. Στις «έξυπνες» κατοικίες και στα «έξυπνα» κτίρια, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την αποδοτική διαχείριση των συστημάτων φωτισμού, κλιματισμού, θέρμανσης και ψύξης, με βάση τις συνθήκες του χώρου και

την παρουσία των ενοίκων. Μέσω αισθητήρων και προγραμματιζόμενων μονάδων ελέγχου, επιτυγχάνεται η αποφυγή ενεργειακής σπατάλης και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης σε ώρες μη χρήσης ή μειωμένης ανάγκης. Αντίστοιχα, τα Building Energy Management Systems (BEMS), που αξιοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προσφέρουν αναλυτική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου και επιτρέπουν παρεμβάσεις βάσει τεκμηριωμένων δεικτών [36].

Ιδίως σε δημόσιες υποδομές, όπως είναι ο αστικός φωτισμός, η ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι ακόμη πιο σημαντική και κρίσιμη. Ουσιαστικά, η μετάβαση από παθητικά φωτιστικά συστήματα σε δυναμικά, ρυθμιζόμενα συστήματα LED με αισθητήρες κίνησης και φωτεινότητας περιορίζει την κατανάλωση έως και 70%, χωρίς να θίγεται η ασφάλεια, αλλά και η λειτουργικότητα. Η διασύνδεση των φωτιστικών με κεντρικές πλατφόρμες ελέγχου επιτρέπει προσαρμογές με βάση την ώρα, τον καιρό ή τη χρήση του χώρου, συμβάλλοντας στην καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων των ΟΤΑ (Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης) [37].

Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε ενεργειακά δίκτυα, υπό το πρίσμα των «έξυπνων» ή αποκεντρωμένων δικτύων, παρέχει δυνατότητες προσαρμοσμένης κατανομής φορτίου, βελτιωμένη πρόβλεψη ζήτησης, αλλά και αποδοτικότερη ενσωμάτωσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές, αλλά και αισθητήρες κατανάλωσης, οι πάροχοι ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται πιο ορθολογικά την προσφορά, περιορίζοντας τις απώλειες μεταφοράς και βελτιώνοντας την ενεργειακή σταθερότητα. Ταυτόχρονα, η αυτονομία και η αποδοτικότητα ενισχύονται από την ανάπτυξη σχετικών τεχνολογικών λύσεων, μέσω των οποίων οι ίδιοι οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων λειτουργούν με ελάχιστη εξωτερική τροφοδοσία, αξιοποιώντας φυσικές πηγές όπως είναι το φως, η θερμότητα, αλλά και οι δονήσεις [36].

3.6 Ηθικά και νομικά θέματα

Είναι γεγονός ότι η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων, έχει δημιουργήσει σημαντικά ηθικά και νομικά ζητήματα, τα οποία συνδέονται αφενός με τη φύση των τεχνολογιών αυτών, αφετέρου δε, με τον τρόπο ενσωμάτωσης τους στο κοινωνικό περιβάλλον. Καθώς οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων συλλέγουν, επεξεργάζονται και διακινούν δεδομένα σε μεγάλη κλίμακα, προκύπτουν εύλογες ανησυχίες αναφορικά με την ιδιωτικότητα, την ασφάλεια, τη διαφάνεια, καθώς και τη λογοδοσία. Το πλέον σημαντικό ηθικό ζήτημα σχετίζεται με την προστασία των προσωπικών δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη πλήθος εφαρμογών. Ειδικότερα, οι εφαρμογές αυτές που αφορούν κατοικίες, υγειονομικές υπηρεσίες, μετακινήσεις, είτε δημόσιους χώρους, προβαίνουν στη συλλογή πληροφοριών που συνδέονται άμεσα με την ταυτότητα, τη συμπεριφορά, είτε τις προτιμήσεις των χρηστών. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων από τρίτους φορείς ή χωρίς ρητή συναίνεση δύναται να οδηγήσει σε καταστρατήγηση θεμελιωδών δικαιωμάτων και στην απώλεια του προσωπικών πληροφοριών [37].

Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο ζήτημα της συγκατάθεσης. Είναι γεγονός ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι χρήστες δεν γνωρίζουν με ακρίβεια ποιες πληροφορίες συλλέγονται, από ποιους και για ποιους σκοπούς. Ιδίως σε δημόσιους χώρους, όπου η αλληλεπίδραση με αισθητήρες είναι παθητική και διαρκής, η έννοια της τεκμηριωμένης συναίνεσης καθίσταται δύσκολα εφαρμόσιμη, εγείροντας ερωτήματα νομιμότητας, αλλά και διαφάνειας. Ένα εξίσου κρίσιμο ζήτημα είναι η κυριότητα και η χρήση των δεδομένων. Με τη λειτουργία των τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων, τα δεδομένα που παράγονται από χρήστες, συσκευές, αλλά και υποδομές, αποκτούν οικονομική αξία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπορικούς είτε άλλους σκοπούς. Η απουσία σαφούς πλαισίου για το ποιος έχει την ευθύνη, την ιδιοκτησία ή το δικαίωμα διαχείρισης αυτών των δεδομένων ενισχύει την ασυμμετρία ισχύος που δημιουργείται μεταξύ των παρόχων τεχνολογίας και των πολιτών [38].

Σε νομικό επίπεδο, το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο και ιδίως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (General Data Protection Regulation-GDPR), επιδιώκει να ρυθμίσει την επεξεργασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, η εφαρμογή του σε σύνθετα οικοσυστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπου εμπλέκονται πολλαπλοί πάροχοι και συστήματα, δεν είναι πάντα εύκολη και συνάμα εφικτή, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι δημιουργούνται ζητήματα ερμηνείας αναφορικά με τον υπεύθυνο επεξεργασίας, καθώς και για το αν και πότε απαιτείται συγκατάθεση, αλλά και το πώς διασφαλίζεται το δικαίωμα πρόσβασης ή διαγραφής [39].

Η κυβερνοασφάλεια συνιστά κρίσιμο πεδίο ευθύνης. Οι συνδεδεμένες συσκευές ενδέχεται να αποτελέσουν στόχους επιθέσεων, με επιπτώσεις που ξεπερνούν τα τεχνικά ζητήματα και πλέον επιδρούν στην ασφάλεια των ίδιων των πολιτών. Η νομοθεσία οφείλει να προβλέπει ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας για συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων, ενώ οι οργανισμοί καλούνται να εφαρμόζουν πολιτικές ενδυνάμωσης της ψηφιακής ανθεκτικότητας. Παράλληλα, ηθικά ζητήματα προκύπτουν και ως προς τη χρήση των δεδομένων για σκοπούς επιτήρησης ή κοινωνικής κατηγοριοποίησης, ιδίως όταν τα συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων συνδυάζονται με τεχνητή νοημοσύνη. Η ανάγκη για μη προκατελιημμένους αλγορίθμους, διαφάνεια στη λήψη αποφάσεων και προστασία από διακρίσεις γίνεται όλο και πιο αναγκαία, καθώς τα συστήματα αυτά διεκδικούν περισσότερο ενεργό ρόλο στην οικονομική και κοινωνική ζωή των ανθρώπων [39].

3.7 Επίλογος

Το κεφάλαιο αυτό ανέδειξε ότι οι προκλήσεις που συνοδεύουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την αποτελεσματική και ασφαλή αξιοποίησή του. Οι ανησυχίες που σχετίζονται με την κυβερνοασφάλεια, τη διαχείριση και προστασία των δεδομένων, καθώς και τα ζητήματα διαλειτουργικότητας, φανερώνουν ότι η τεχνολογική πρόοδος χρειάζεται να συνοδεύεται από μηχανισμούς ελέγχου, πρότυπα και πολιτικές που θα διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία των συστημάτων.

Η εξέταση των πιθανών προβλημάτων που αναδύονται από την εφαρμογή των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθιστά σαφές ότι η αξιοποίησή τους δεν μπορεί να στηρίζεται αποκλειστικά σε τεχνικές λύσεις, αλλά απαιτεί στρατηγικό σχεδιασμό, συνεργασία φορέων και συνεχή αναπροσαρμογή στις εξελισσόμενες ανάγκες και απειλές. Με βάση αυτή τη θεμελίωση, το επόμενο κεφάλαιο εστιάζει στις έξυπνες πόλεις και στη συμβολή των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη διαμόρφωση ενός περισσότερο βιώσιμου και λειτουργικού αστικού περιβάλλοντος.

Κεφάλαιο 4ο: Έξυπνες πόλεις

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στις έξυπνες πόλεις, όπου αρχικά γίνεται λόγος για την ανάγκη μετάβασης σε περισσότερο «έξυπνες πόλεις», ενώ προσδιορίζεται εννοιολογικά η έξυπνη πόλη και παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή στις έξυπνες πόλεις. Ξεχωριστή αναφορά γίνεται στα κίνητρα και τις πρωτοβουλίες που συνδέονται με την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, όπως επίσης και με την βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα που ενσωματώνεται στις έξυπνες πόλεις. Ακόμη, μελετώνται οικονομικά ζητήματα που συνδέονται με την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, καθώς επίσης και θέματα που συνδέονται με την κυβερνοασφάλεια.

4.2 Η ανάγκη μετάβασης σε περισσότερο «έξυπνες» πόλεις

Είναι γεγονός ότι η ραγδαία αστικοποίηση, η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, καθώς επίσης και οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις για αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων έχουν αναδείξει την ανάγκη μετάβασης από τις παραδοσιακές πόλεις σε πιο «έξυπνες» μορφές αστικού σχεδιασμού, αλλά και διακυβέρνησης. Στο πλαίσιο αυτό, οι «έξυπνες πόλεις» συνιστούν μια πολυδιάστατη απάντηση στα σύγχρονα προβλήματα των αστικών περιοχών, όπου ενσωματώνουν Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), επιδιώκοντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα, βιωσιμότητα, αλλά και βελτιωμένη ποιότητα ζωής [40].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραδοσιακή πόλη, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, αδυνατεί πλέον να ανταποκριθεί στις σύνθετες απαιτήσεις ενός διαρκώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ρύπανση του αέρα, η κακή διαχείριση των απορριμμάτων, οι ενεργοβόρες υποδομές και η ανεπαρκής ανταπόκριση σε φυσικές καταστροφές αποτελούν μερικά μόνο από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις. Παράλληλα, η ανάγκη για πράσινες και αειφόρες λύσεις καθιστά αναγκαία την εφαρμογή περισσότερο καινοτόμων τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν στην βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, καθώς επίσης και στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος [41].

Στο πλαίσιο αυτό, οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν δεδομένα και τεχνολογίες σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων και την παροχή προσωποποιημένων υπηρεσιών στους πολίτες. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις έξυπνων αισθητήρων μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως επίσης και παρακολούθηση της

κίνησης των οχημάτων, καθώς και άντληση δεδομένων για την πληρότητα των κάδων, αλλά και η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, γεγονός που επιτρέπει τη δυναμική διαχείριση [42].

Δεν θα πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι η μετάβαση σε περισσότερο «έξυπνες» πόλεις δεν συνιστά πολυτέλεια, αλλά αποτελεί στρατηγική αναγκαιότητα. Λαμβάνοντας υπόψη την προσέγγιση του ΟΗΕ, έως και το 2050, το 68% του παγκόσμιου πληθυσμού θα κατοικεί σε αστικές περιοχές, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η πίεση στις υφιστάμενες υποδομές. Στο πλαίσιο αυτό, οι πόλεις θα πρέπει να γίνουν περισσότερο ευέλικτες, ανθεκτικές, αλλά και διασυνδεδεμένες, έτσι ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις νέες προκλήσεις. Επομένως, η τεχνολογία αναδεικνύεται σε καταλύτη μετασχηματισμού, προσφέροντας πρακτικές λύσεις σε μια σειρά τομέων όπως είναι οι μεταφορές, η ενέργεια, η υγεία, η ασφάλεια, καθώς επίσης και η διοίκηση [43].

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στον ρόλο του έξυπνου φωτισμού, όπου αποτελεί και από τα πλέον βασικά στοιχεία του αστικού περιβάλλοντος. Ο παραδοσιακός φωτισμός είναι ενεργοβόρος και αδυνατεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις μιας δυναμικής πόλης. Επομένως, η εφαρμογή λύσεων έξυπνου φωτισμού επιτρέπει την προσαρμογή της έντασης του φωτός ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού ή την ανθρώπινη παρουσία, περιορίζοντας σημαντικά το ενεργειακό κόστος, ενώ παράλληλα ενισχύεται η ασφάλεια και η ποιότητα ζωής των πολιτών. Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων επιτρέπει τη δημιουργία ενός ενιαίου ψηφιακού οικοσυστήματος, στο οποίο όλα τα συστήματα της πόλης, όπως για παράδειγμα οι μεταφορές, η ενέργεια, η ύδρευση, καθώς και τα απορρίμματα, αλλά και ο φωτισμός, συνδέονται και συνεργάζονται. Συνεπώς, η πόλη αποκτά τη δυνατότητα πρόβλεψης γεγονότων, έγκαιρης αντίδρασης σε κρίσεις, όπως επίσης και αποδοτικής χρήσης των διαθέσιμων πόρων [44].

Η περαιτέρω ενίσχυση των έξυπνων πόλεων σχετίζεται άμεσα και με τις σχετικές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των διεθνών οργανισμών, όπου οι πολιτικές αυτές προάγουν την πράσινη ανάπτυξη, την ψηφιακή μετάβαση, καθώς επίσης και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, πρωτοβουλίες όπως είναι η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, ενισχύουν τόσο οικονομικά, όσο και θεσμικά έργα ψηφιοποίησης των αστικών περιοχών, έτσι ώστε να καταστούν αειφόρες και συνάμα τεχνολογικά αναπτυγμένες. Αξιοποιώντας τέτοιες πρωτοβουλίες δίνεται ώθηση σε έργα έξυπνου φωτισμού, όπως επίσης και σε έργα διαχείρισης της στάθμευσης, σε έργα παρακολούθησης της ποιότητας αέρα, αλλά και σε έργα βελτίωσης της κυκλοφορίας [45].

Παράλληλα, η ανάγκη για μετάβαση σε έξυπνες πόλεις ενισχύεται και από τις μεταβαλλόμενες κοινωνικές και οικονομικές απαιτήσεις των πολιτών. Πλέον, οι σύγχρονοι πολίτες αναζητούν υπηρεσίες που να είναι προσωποποιημένες, άμεσες και συνάμα προσβάσιμες μέσω ψηφιακών μέσων. Οι δήμοι και οι τοπικές διοικήσεις καλούνται πλέον να λειτουργούν ως ψηφιακοί πάροχοι υπηρεσιών, επιδιώκοντας να πετύχουν αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση των πολιτών, όπως επίσης και διαφάνεια,

αλλά και ενδυνάμωση της συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων. Οι ψηφιακές πλατφόρμες που δίνουν τη δυνατότητα στους πολίτες να αναφέρουν προβλήματα, να υποβάλλουν αιτήματα ή να λαμβάνουν πληροφορίες για την πόλη σε πραγματικό χρόνο, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα της «έξυπνης διακυβέρνησης» [46].

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι έξυπνες πόλεις συμβάλλουν στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, καθώς και στην ανάγκη για αύξηση της ανθεκτικότητας των πόλεων. Οι φυσικές καταστροφές, όπως είναι για παράδειγμα οι καύσωνες, οι πλημμύρες, αλλά και οι πυρκαγιές πλήττουν όλο και πιο συχνά τις αστικές περιοχές, γεγονός που προκαλεί απώλειες σε υποδομές και ανθρώπινες ζωές. Οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων και τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων, την αποστολή προειδοποιήσεων, την αυτόματη ενεργοποίηση σχεδίων εκκένωσης ή διαχείρισης κρίσεων, καθώς και την αποτίμηση των επιπτώσεων με ακρίβεια. Η διασύνδεση αισθητήρων με συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI) ενισχύει την πρόβλεψη και απόκριση σε κρίσιμες καταστάσεις, καθιστώντας τις πόλεις περισσότερο ανθεκτικές [47].

Σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζει το θέμα της βιωσιμότητας για την μετάβαση σε περισσότερο έξυπνα αστικά μοντέλα. Οι πόλεις είναι υπεύθυνες για το 70% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και καταναλώνουν πάνω από το 75% της παγκόσμιας ενέργειας. Ο εξορθολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας μέσω έξυπνων συστημάτων, όπως είναι ο φωτισμός LED με αισθητήρες κίνησης ή η δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας, δύναται να περιορίσει σημαντικά τις εκπομπές ρύπων. Ταυτόχρονα, η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ενεργειακή αυτονομία των πόλεων καθίσταται εφικτή, μέσω τεχνολογιών έξυπνων δικτύων, αλλά και έξυπνων μετρητών [48].

Η ανάγκη για μετασχηματισμό των πόλεων δεν περιορίζεται στις αναπτυγμένες χώρες, αλλά επεκτείνεται και στις αναδύμενες οικονομίες. Οι μεγάλες πληθυσμιακές συγκεντρώσεις σε αστικά κέντρα της Ασίας, της Αφρικής και της Λατινικής Αμερικής δημιουργούν αντίστοιχες προκλήσεις και ευκαιρίες για την εφαρμογή έξυπνων λύσεων. Στις περιοχές αυτές, ο έξυπνος σχεδιασμός δύναται να προσφέρει λύσεις χαμηλού κόστους για την παροχή βασικών υπηρεσιών, όπως είναι το νερό, ο ηλεκτρισμός, ο φωτισμός, οι συγκοινωνίες, γεγονός που οδηγεί στην μείωση του ψηφιακού χάσματος, καθώς και στην ενίσχυση της κοινωνικής συνοχής [49].

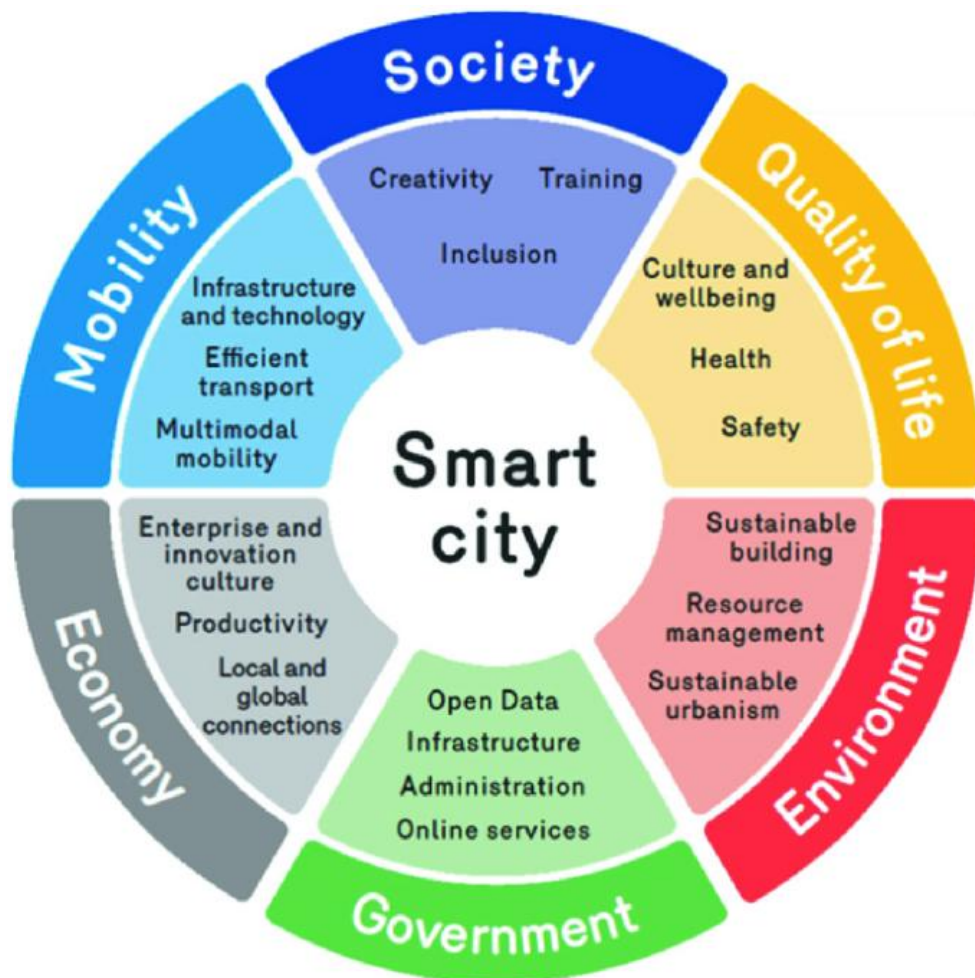
Ωστόσο, η μετάβαση σε έξυπνες πόλεις συνοδεύεται και από προκλήσεις, οι οποίες δεν πρέπει να παραμερίζονται. Ειδικότερα, οι κοινωνικές ανισότητες δύναται να ενταθούν, εφόσον οι «έξυπνες» υπηρεσίες δεν είναι προσβάσιμες για όλους. Ο ψηφιακός αναλφαβητισμός, η οικονομική δυσχέρεια, αλλά και η έλλειψη υποδομών στις φτωχότερες περιοχές των πόλεων αποτελούν εμπόδια για τη δίκαιη κατανομή των ωφελειών αυτών που μπορούν να προκύψουν από την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων. Επιπλέον, ζητήματα προστασίας της ιδιωτικότητας, ασφάλειας δεδομένων και διαφάνειας στη χρήση τεχνολογίας απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Μια πόλη δεν γίνεται «έξυπνη» μόνο με την εγκατάσταση

τεχνολογίας, αλλά και με την καλλιέργεια κουλτούρας συνεργασίας, συμμετοχής και υπευθυνότητας από το σύνολο του πληθυσμού της, αλλά και των επισκεπτών αυτής [50].

Η μετάβαση σε έξυπνες πόλεις δεν αποτελεί ένα στατικό φαινόμενο, αλλά μια διαρκής διαδικασία εξέλιξης, αξιολόγησης, αλλά και προσαρμογής. Ουσιαστικά, απαιτείται στρατηγικός σχεδιασμός, συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων, όπως είναι οι πολίτες, η διοίκηση, ο ιδιωτικός τομέας, η ακαδημαϊκή κοινότητα κτλ, καθώς και συνεχής επένδυση σε έρευνα και καινοτομία. Οι πόλεις που θα καταφέρουν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες του Διαδίκτυο των Πραγμάτων και της ψηφιακής τεχνολογίας επικεντρώνοντας στον άνθρωπο, το περιβάλλον και την κοινωνική δικαιοσύνη, θα είναι εκείνες που θα επιβιώσουν και θα μπορούν να ευημερούν [51].

4.3 Εννοιολογική προσέγγιση έξυπνης πόλης

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών η έννοια της «έξυπνης πόλης» - (Smart City) έχει εξελιχθεί σημαντικά, καθώς μελετάται σε ένα πολυδιάστατο και διεπιστημονικό πλαίσιο, επιδιώκοντας να υπάρξει αναβάθμιση της λειτουργίας των αστικών περιοχών. Ουσιαστικά, η έννοια της έξυπνης πόλης μπορεί να θεωρηθεί ως η αστική περιοχή, η οποία και αξιοποιεί προηγμένες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και το cloud computing, με σκοπό τη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών, την αποδοτικότερη χρήση των πόρων και την ενίσχυση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η έξυπνη πόλη δεν είναι απλώς μια ψηφιοποιημένη εκδοχή της παραδοσιακής πόλης, αλλά μια ριζικά νέα προσέγγιση σχεδιασμού, διακυβέρνησης και συμμετοχής των ίδιων των πολιτών. Στο επίκεντρο της έξυπνης πόλης βρίσκεται η ικανότητα να συλλέγει, να αναλύει, καθώς και να αξιοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις, βελτιώνοντας τις παρεχόμενες υπηρεσίες όπως είναι οι μεταφορές, η ενέργεια, η υγεία, η ασφάλεια, καθώς και η διοίκηση [52].



Εικόνα 4-1: Βασικές διαστάσεις μιας έξυπνης πόλης [52]

Σε κάθε περίπτωση δεν υπάρχει ένας ενιαίος και παγκοσμίως αποδεκτός για την έννοια της έξυπνης πόλης. Η έννοια αυτή προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες ανάγκες, δυνατότητες και πολιτισμικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Ορισμένες πόλεις δίνουν έμφαση στην ψηφιοποίηση των υποδομών και τη συλλογή δεδομένων, ενώ κάποιες άλλες επικεντρώνονται περισσότερο στη συμμετοχή των πολιτών, όπως επίσης και στη βιωσιμότητα. Για παράδειγμα, κάποιες πόλεις επικεντρώνεται στα ανοιχτά δεδομένα και τη συμμετοχική διακυβέρνηση, ενώ άλλες πόλεις δίνουν περισσότερη έμφαση στα προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και αυτοματοποίησης [59].

Παρά την πολυμορφία των προσεγγίσεων, κοινή συνισταμένη των έξυπνων πόλεων θεωρείται η τεχνολογία ως εργαλείο και όχι ως αυτοσκοπός. Η «έξυπνη» ιδιότητα μιας πόλης δεν απορρέει αποκλειστικά από τον αριθμό των αισθητήρων ή τη χρήση εξελιγμένων συστημάτων, αλλά από τον τρόπο με τον οποίο αυτά αξιοποιούνται προς όφελος του κοινωνικού συνόλου. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει η τεχνολογία να χρησιμοποιείται με τρόπο ανθρωποκεντρικό, συμπεριληπτικό, αλλά και συνάμα

ηθικά υπεύθυνο. Σε αντίθετη περίπτωση, δύναται να δημιουργηθεί μια πόλη όπου «παρακολουθείται» και έτσι περιορίζει τις ελευθερίες των πολιτών, αντί να τις ενισχύει [60].

Η έννοια της «έξυπνης πόλης» άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000, στο πλαίσιο του προβλήματος της αστικοποίησης, καθώς και της κλιματικής αλλαγής. Πλέον το μοντέλο της «έξυπνης πόλης» περιλαμβάνει τουλάχιστον έξι βασικές διαστάσεις. Να σημειωθεί ότι οι διαστάσεις αυτές αλληλοσυνδέονται και αλληλοτροφοδοτούνται, δημιουργώντας ένα οικοσύστημα καινοτομίας [53].



Σχήμα 4.2: Διαστάσεις έξυπνης πόλης

Η έξυπνη οικονομία συνδέεται με την ενδυνάμωση της καινοτομίας, της επιχειρηματικότητας, αλλά και της ανταγωνιστικότητας, χρησιμοποιώντας ψηφιακά εργαλεία. Οι ψηφιακές αγορές, οι online υπηρεσίες, η τηλεργασία και η κυκλική οικονομία είναι μερικά μόνο από τα πεδία που εντάσσονται σε αυτή τη διάσταση. Η ψηφιακή επιχειρηματικότητα προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας, όπως επίσης και τη δυνατότητα ενίσχυσης της τοπικής ανάπτυξης [42].

Όσον αφορά την έξυπνη κινητικότητα, αυτή αφορά τα προηγμένα συστήματα μεταφορών που στηρίζονται στην τεχνολογία για την επίτευξη ταχύτερης, ασφαλέστερης και φιλικότερης προς το περιβάλλον μετακίνησης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα έξυπνα φανάρια, οι δυναμικές πινακίδες πληροφόρησης, τα δίκτυα ποδηλατοδρόμων με αισθητήρες, αλλά και τα συστήματα κοινοχρησίας οχημάτων. Οι τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων επιτρέπουν την παρακολούθηση

της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών, περιορίζοντας τη συμφόρηση και την κατανάλωση καυσίμων [54].

Σχετικά με το έξυπνο περιβάλλον, αυτό αφορά την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας τεχνολογικές εφαρμογές. Οι έξυπνες πόλεις εγκαθιστούν αισθητήρες που καταγράφουν επίπεδα ρύπανσης, παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα και του νερού και υποστηρίζουν συστήματα ανακύκλωσης και διαχείρισης αποβλήτων. Περαιτέρω, η ενεργειακή αποδοτικότητα που εστιάζει στα «έξυπνα κτίρια», στον φωτισμό LED, αλλά και στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, συμβάλλουν στην βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης [55].

Οι έξυπνοι πολίτες θεωρούνται θεμελιώδες στοιχείο για τη λειτουργία μιας έξυπνης πόλης. Ουσιαστικά, ο όρος αυτός δεν περιορίζεται στους χρήστες της τεχνολογίας, αλλά σε ενεργούς, ενημερωμένους, αλλά και εκπαιδευόμενους πολίτες, οι οποίοι και συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, αξιοποιώντας τις ψηφιακές υπηρεσίες που προσφέρονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Προκειμένου να υπάρξει ενδυνάμωση των πολιτών απαιτείται η κατάλληλη παιδεία, αλλά και η δια βίου μάθηση, καθώς και η προσβασιμότητα στην πληροφόρηση, όπως επίσης και η καλλιέργεια ψηφιακών δεξιοτήτων [56].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διάσταση του «έξυπνου τρόπου ζωής», εστιάζει στην ευημερία, καθώς και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων της πόλης. Για παράδειγμα, η παροχή υπηρεσιών υγείας εξ' αποστάσεως, οι εφαρμογές ευεξίας, καθώς και η ασφάλεια που παρέχεται μέσω καμερών και αισθητήρων, συνιστούν παραδείγματα που οδηγούν σε βελτίωση της καθημερινότητας των πολιτών. Η δυνατότητα των πολιτών να προσαρμόζουν τον τρόπο ζωής τους μέσω των ψηφιακών εργαλείων προσφέρει ευελιξία, ενώ ενδυναμώνει τη συμμετοχική κουλτούρα [57].

Δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι η έξυπνη διακυβέρνηση αφορά τη ψηφιοποίηση της δημόσιας διοίκησης και την παροχή ανοιχτών, διαφανών, αλλά και συμμετοχικών διαδικασιών. Αξιοποιώντας τις εφαρμογές ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, οι πολίτες έχουν τη δυνατότητα να υποβάλλουν αιτήματα, να ενημερώνονται, αλλά και να συμμετέχουν ενεργά σε ψηφοφορίες ή διαβουλεύσεις, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την κοινωνική λογοδοσία. Η χρήση ανοικτών δεδομένων (open data) συμβάλλει στη διαφάνεια, την καινοτομία και τον κοινωνικό έλεγχο [58].

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει και στον διαλειτουργικό χαρακτήρα των υποδομών της έξυπνης πόλης. Οι επιμέρους τομείς (μεταφορές, ενέργεια, ύδρευση, απορρίμματα, φωτισμός) δεν λειτουργούν αποκομμένοι, αλλά ως αλληλένδετο οικοσύστημα. Η χρήση κοινών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων, όπως επίσης και η ανταλλαγή δεδομένων επιτρέπουν να υπάρχει ολιστική διαχείριση της πόλης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο έξυπνος φωτισμός, που συνδυάζεται με αισθητήρες κίνησης, δεδομένα κυκλοφορίας και περιβαλλοντικές μετρήσεις για να

προσφέρει στοχευμένες λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας και ασφάλειας, τόσο για τα οχήματα, όσο και για τους πεζούς-χρήστες της πόλης [61].

Η έξυπνη πόλη συνδέεται με την έννοια της βιωσιμότητας. Οι δύο όροι δεν ταυτίζονται, αλλά αλληλοσυμπληρώνονται. Ουσιαστικά, η έξυπνη πόλη χρησιμοποιεί την τεχνολογία, προκειμένου να πετύχει βιώσιμους στόχους, όπως είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, η ανακύκλωση, καθώς και η πράσινη κινητικότητα, αλλά και η περιβαλλοντική προστασία. Επομένως, το όραμα μιας πραγματικά έξυπνης πόλης δεν περιορίζεται στη λειτουργικότητα, αλλά επεκτείνεται και στην κοινωνική, αλλά και περιβαλλοντική υπευθυνότητα [62].

Μια ακόμη βασική συνισταμένη της έξυπνης πόλης είναι η ευφυής ανάλυση δεδομένων. Η συνεχής ροή πληροφοριών που παράγεται από τις διασυνδεδεμένες συσκευές, όπως είναι οι αισθητήρες, οι κάμερες, οι μετρητές κατανάλωσης, απαιτούν προηγμένα εργαλεία προκειμένου να υπάρξει ανάλυση, οπτικοποίηση, όπως επίσης και η αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών. Η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης (machine learning) και τεχνητής νοημοσύνης (AI) προσφέρει τη δυνατότητα πρόβλεψης γεγονότων, όπως είναι για παράδειγμα η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι βλάβες κτλ., καθώς και τη λήψη αποφάσεων που στηρίζονται σε πραγματικά δεδομένα [63].

Εξίσου σημαντικό είναι να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικότητας των πολιτών. Οι έξυπνες πόλεις στηρίζονται σε σημαντικά μεγάλες ποσότητες δεδομένων, πολλά εκ των οποίων είναι προσωπικά ή ευαίσθητα δεδομένα. Η συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων αυτών πρέπει να γίνεται με διαφανείς διαδικασίες, σύμφωνα με τις αρχές της νομιμότητας, της αναλογικότητας και του σεβασμού των δικαιωμάτων των πολιτών. Η συμμόρφωση με ρυθμίσεις όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) είναι απαραίτητη, ενώ σημαντικός είναι και ο ρόλος των πολιτών στην εποπτεία της χρήσης των τεχνολογιών [64].

Προκειμένου να μπορέσει να πετύχει ο θεσμός της έξυπνης πόλης, σημαντικοί παράγοντες θεωρούνται η διακυβέρνηση, καθώς και η συμμετοχή. Καμία πόλη δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως έξυπνη, εφόσον οι αποφάσεις λαμβάνονται χωρίς τη συμμετοχή των πολιτών, είτε χωρίς διαβούλευση. Η συμμετοχική διακυβέρνηση, η χρήση ψηφιακών εργαλείων συμμετοχής, όπως είναι οι ηλεκτρονικές ψηφοφορίες, οι πλατφόρμες σχολιασμού έργων, αλλά και η ενίσχυση της διαφάνειας συνιστούν απαραίτητα στοιχεία για τη νομιμοποίηση και την αποδοχή των έξυπνων λύσεων από την κοινωνία [65].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια της έξυπνης πόλης συνεχίζει να εξελίσσεται διαρκώς, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπως επίσης και τις μεταβολές των κοινωνικών αναγκών. Οι πόλεις του μέλλοντος καλούνται να συνδυάσουν την ψηφιακή καινοτομία με την κοινωνική ένταξη, τη βιώσιμη ανάπτυξη με τη δημοκρατική συμμετοχή και την τεχνολογική πρόοδο με τον σεβασμό στον άνθρωπο. Η εννοιολογική προσέγγιση της έξυπνης πόλης πρέπει να παραμένει

ανοιχτή, ευέλικτη και προσαρμοστική, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις πολυδιάστατες προκλήσεις του 21ου αιώνα, οι οποίες και μεταβάλλονται συνέχεια [60].

4.4 Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις έξυπνες πόλεις

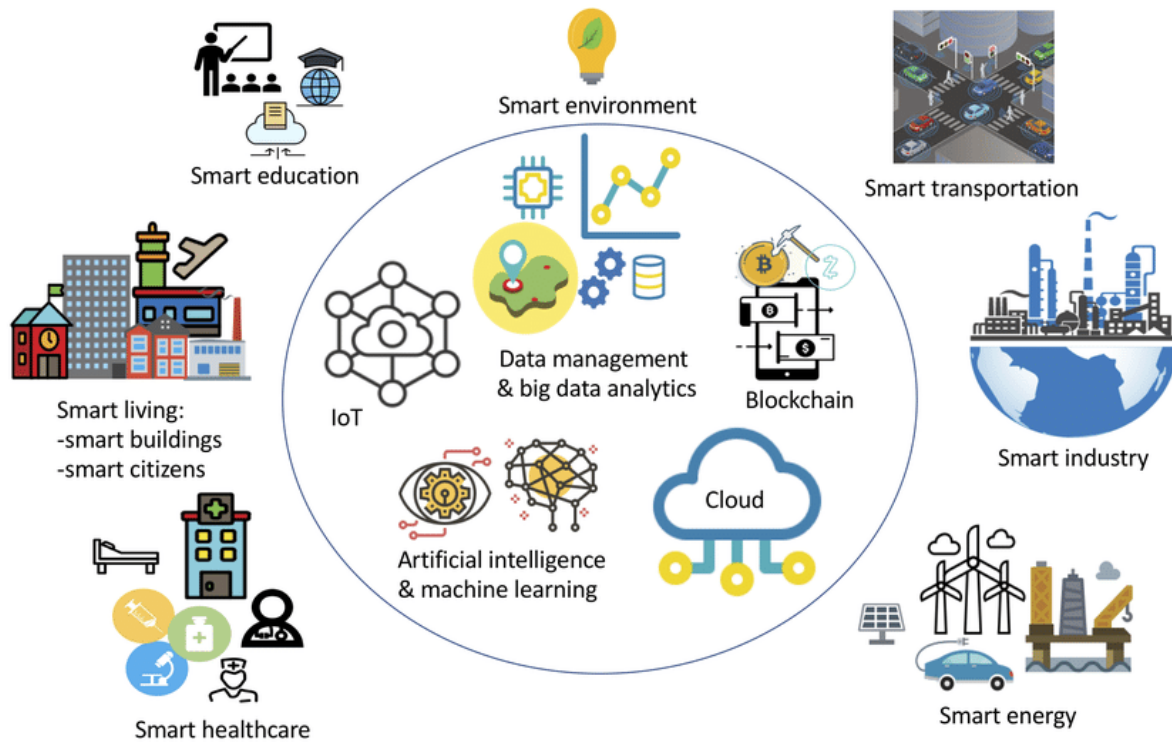
Η υλοποίηση του οράματος της έξυπνης πόλης προϋποθέτει την αξιοποίηση ενός συνόλου τεχνολογιών που δρουν διαλειτουργικά και υποστηρίζουν τη συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνολογίες αυτές δεν εφαρμόζονται αποσπασματικά, αλλά συγκροτούν ένα ενιαίο, δυναμικό οικοσύστημα που επεκτείνεται σε όλους τους τομείς της αστικής ζωής. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εν λόγω τεχνολογίες και εφαρμογές [61].



Σχήμα 4.3: Τεχνολογίες και εφαρμογές έξυπνων πόλεων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί βασική συνισταμένη των έξυπνων πόλεων. Οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων συλλέγουν πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ρύπανση της ατμόσφαιρας, η κυκλοφορία, η πληρότητα των κάδων απορριμμάτων, η κίνηση των πεζών και των οχημάτων, καθώς και η ένταση του φωτισμού, με τις

πληροφορίες αυτές να αποστέλλονται σε κεντρικά συστήματα για επεξεργασία. Μέσω αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία της πόλης, οι διαχειριστές αποκτούν τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και λήψης αποφάσεων, αξιοποιώντας τα σχετικά δεδομένα [51].



Εικόνα 4-2: Τεχνολογίες και εφαρμογές έξυπνων πόλεων [51]

Η τεχνολογία 5G προσφέρει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση, καθώς και δυνατότητα διασύνδεσης εκατομμυρίων συσκευών ταυτόχρονα. Οι δυνατότητες αυτές καθιστούν το 5G ιδανικό για εφαρμογές σε έξυπνες πόλεις που απαιτούν άμεση ανταπόκριση και μεγάλο όγκο δεδομένων, όπως τα αυτόνομα οχήματα, οι εφαρμογές ελέγχου κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο κτλ. Το 5G αποτελεί τη βάση για την υλοποίηση του edge computing – δηλαδή την επεξεργασία των δεδομένων στην «περιφέρεια» του δικτύου, κοντά στην πηγή παραγωγής τους κάτι που περιορίζει δραστικά τους χρόνους απόκρισης, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει τη λειτουργικότητα [1].

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI) και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine Learning - ML) επιτρέπουν στις έξυπνες πόλεις να «μαθαίνουν» από τα δεδομένα που συλλέγουν και να προσαρμόζουν τις λειτουργίες τους με τρόπο δυναμικό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης προβαίνουν στην ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων, προκειμένου να εντοπίσουν πρότυπα, αλλά και να προβλέψουν γεγονότα, όπως είναι για παράδειγμα η κυκλοφοριακή συμφόρηση, είτε ο κίνδυνος πλημμύρας, αλλά και να προτείνουν ή να ενεργοποιούν λύσεις αυτόματα. Για παράδειγμα, οι έξυπνοι σηματοδότες κυκλοφορίας, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να ρυθμίζουν δυναμικά τη διάρκεια των φάσεων, λαμβάνοντας υπόψη την

πραγματική ροή των οχημάτων, ενώ συνάμα ένα σύστημα έξυπνης αστυνόμευσης μπορεί να προβλέπει περιοχές με αυξημένη πιθανότητα παραβατικότητας. Η τεχνητή νοημοσύνη βρίσκει εφαρμογές στην παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης, στη διαχείριση νερού, στις υπηρεσίες υγείας, όπως επίσης και στην εξυπηρέτηση των πολιτών μέσω ψηφιακού βοηθού (chatbot) [2].

Σημαίνοντα ρόλο στη λειτουργία των έξυπνων πόλεων διαδραματίζει η ανάλυση Big Data. Ο τεράστιος όγκος, η ποικιλία και η ταχύτητα των δεδομένων που παράγονται σε καθημερινή βάση από αισθητήρες, εφαρμογές και διασυνδεδεμένες συσκευές, απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων συστημάτων αποθήκευσης, διαχείρισης και ανάλυσης. Η αξιοποίηση των μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την κατανόηση περίπλοκων φαινομένων, όπως επίσης και τη βελτιστοποίηση των παρεχόμενων υπηρεσιών και την υποστήριξη της στρατηγικής σχεδίασης. Αξιοποιώντας την ανάλυση δεδομένων, μπορούν να εντοπιστούν προβλήματα στην παροχή ύδρευσης, όπως για παράδειγμα είναι οι διαρροές, καθώς επίσης και να προβλεφθούν ανάγκες συντήρησης των οδοστρωμάτων, ενώ μπορούν να σχεδιαστούν αποτελεσματικά και βιώσιμα δίκτυα μεταφορών. Να σημειωθεί ότι οι δυνατότητες των μεγάλων δεδομένων ενισχύονται από την εφαρμογή εργαλείων οπτικοποίησης (data visualization) και dashboard παρακολούθησης, που διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων από τους αρμόδιους φορείς [61].

Οι σύγχρονες έξυπνες πόλεις βασίζονται σε κεντρικές ψηφιακές πλατφόρμες που επιτρέπουν την ολοκληρωμένη παρακολούθηση, διαχείριση και συντονισμό όλων των έξυπνων υποδομών. Οι πλατφόρμες αυτές συγκεντρώνουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές, όπως είναι δεδομένα που αφορούν τον φωτισμό, τα απορρίμματα, τις μεταφορές, την ενέργεια, την ασφάλεια, τις δημόσιες υπηρεσίες, με τα δεδομένα αυτά να παρουσιάζονται με τρόπο ενιαίο, διαλειτουργικό και ευανάγνωστο. Επομένως, με τον τρόπο αυτό καθίσταται εφικτός ο αποδοτικός συντονισμός των δημοτικών υπηρεσιών. Ορισμένες πλατφόρμες υποστηρίζουν τη λήψη αυτόνομων αποφάσεων, σύμφωνα με καθορισμένους κανόνες, είτε σύμφωνα με δυναμικά μοντέλα πρόβλεψης. Ταυτόχρονα, οι εν λόγω πλατφόρμες ενσωματώνουν εργαλεία ανοιχτών δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν την πρόσβαση των πολιτών και των επιχειρήσεων σε χρήσιμες πληροφορίες, ενισχύοντας έτσι την διαφάνεια και την καινοτομία [51].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το cloud computing δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας τεράστιου όγκου δεδομένων σε απομακρυσμένους διακομιστές, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ελαστικότητας, αλλά και κλιμάκωσης των υπηρεσιών, χωρίς να υπάρχει ανάγκη επένδυσης σε τοπικό εξοπλισμό. Ταυτόχρονα, το edge computing συμπληρώνει το cloud, μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων που γίνονται κοντά στις συσκευές, είτε είναι αισθητήρες, είτε κάμερες, είτε κινητές μονάδες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ταχύτερη απόκριση και περιορίζεται η εξάρτηση από το δίκτυο. Το μοντέλο αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές που απαιτούν άμεση ανάλυση, όπως είναι η αναγνώριση προσώπων, η διαχείριση κυκλοφορίας, είτε οι εφαρμογές δημόσιας ασφάλειας. Ο

συνδυασμός των δύο τεχνολογιών προσφέρει βέλτιστη ισορροπία μεταξύ ταχύτητας, απόδοσης και κεντρικού ελέγχου [61].

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), αποτελούν βασικό εργαλείο για τον σχεδιασμό, την διαχείριση, αλλά και την παρακολούθηση των υποδομών της έξυπνης πόλης. Μέσω των συστημάτων αυτών, είναι δυνατός ο εντοπισμός προβλημάτων, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι οι βλάβες σε δίκτυα, ενώ συνάμα επιτυγχάνεται η οπτικοποίηση δεδομένων σε διαδραστικούς χάρτες, ενώ και η λήψη αποφάσεων γίνεται με χωρική διάσταση. Τα συστήματα GIS ενσωματώνουν δεδομένα από αισθητήρες, δορυφόρους, drones, αλλά και πολίτες, δημιουργώντας ένα ζωντανό ψηφιακό αποτύπωμα της πόλης. Να σημειωθεί ότι η χρήση Geographic Information Systems-GIS υποστηρίζει επίσης δράσεις πολιτικής προστασίας, διαχείρισης καταστροφών, χωροταξικού σχεδιασμού και πράσινης ανάπτυξης [55].

Ο έξυπνος φωτισμός αποτελεί από τους πρώτους τομείς εφαρμογής της τεχνολογίας σε πλήθος πόλεων. Μέσω αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου, οι φωτεινές πηγές, συνήθως LED, ρυθμίζονται με τρόπο αυτόματο, ανάλογα με την ώρα, την παρουσία ανθρώπων ή οχημάτων, τις καιρικές συνθήκες, αλλά και ειδικά συμβάντα, όπως είναι οι σεισμοί, οι διαδηλώσεις, τα πιθανά ατυχήματα κτλ. Τα συστήματα έξυπνου φωτισμού δεν περιορίζονται μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά αξιοποιούν πρόσθετες τεχνολογίες, όπως είναι τα Wi-Fi hotspots, οι κάμερες παρακολούθησης, οι αισθητήρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης κτλ. Επιπλέον, επιτρέπουν την προληπτική συντήρηση μέσω αναφορών βλαβών και την απομακρυσμένη διαχείριση μέσω ειδικών πλατφορμών [47].

Η έξυπνη κινητικότητα συνιστά από τις πλέον βασικές συνισταμένες της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Τεχνολογίες όπως είναι τα Intelligent Transportation Systems (ITS), δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κυκλοφορίας, ενώ συμβάλλουν στη δυναμική ρύθμιση της ροής των οχημάτων, καθώς και στην παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο προς τους οδηγούς. Επιπλέον, μέσω εφαρμογών GPS, ανάλυσης δεδομένων και αισθητήρων σε οχήματα ή υποδομές, καθίσταται δυνατή η δημιουργία οικοσυστημάτων έξυπνων μεταφορών [40].

Τα συστήματα κοινοχρησίας οχημάτων, ποδηλάτων, αλλά και πατινιών, τα οποία και αναπτύσσονται σε πλήθος πόλεων κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, στηρίζονται σε τεχνολογίες IoT αλλά και GPS, προσφέροντας τη δυνατότητα πραγματοποίησης εναλλακτικών μετακινήσεων. Παράλληλα, εφαρμογές για πληροφόρηση σχετικά με τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, (θέσεις, ώρες άφιξης, πληρότητα) ενισχύουν την προσβασιμότητα και ταυτόχρονα περιορίζουν το χρόνο μετακίνησης. Να σημειωθεί επίσης ότι οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και η υποστήριξη των αυτόνομων οχημάτων εντάσσονται στις εφαρμογές της έξυπνης κινητικότητας [40].

Η ανάγκη για ασφάλεια, διαφάνεια και αξιοπιστία στις συναλλαγές και την ανταλλαγή δεδομένων οδήγησε στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain σε πλήθος πτυχών των έξυπνων πόλεων. Το blockchain επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων σε αποκεντρωμένο και μη αλλοιώσιμο μητρώο, κάτι

που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται επαλήθευση, αλλά και εμπιστοσύνη. Στο πλαίσιο των τεχνολογιών αυτών εφαρμόζονται «έξυπνες συμβάσεις» για τις δημόσιες προμήθειες, όπως επίσης και καταγραφή ενεργειακών συναλλαγών μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών (peer-to-peer energy markets), τη διαχείριση ταυτοτήτων, αλλά και την ηλεκτρονική ψήφο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του blockchain ενισχύει την κυβερνοασφάλεια, καθώς αποτρέπει την παραποίηση δεδομένων, καθώς και τη μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση [47].

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στα ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins), όπου πρόκειται για εικονικές αναπαραστάσεις φυσικών στοιχείων ή ολόκληρων συστημάτων της πόλης που στηρίζονται σε πραγματικά δεδομένα. Με τη χρήση αισθητήρων, GIS, τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και cloud computing, οι πόλεις μπορούν να δημιουργήσουν ψηφιακά αντίγραφα δρόμων, κτιρίων, υποδομών ή ακόμη και ολόκληρου του αστικού ιστού. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, επιτρέπεται η προσομοίωση σεναρίων, τα οποία για παράδειγμα μπορεί να αφορούν φυσικές καταστροφές, κυκλοφοριακές ροές, ενεργειακές απαιτήσεις κτλ, προσφέροντας πολύτιμα εργαλεία που αφορούν τον σχεδιασμό, τη συντήρηση, αλλά και την πρόβλεψη και διαχείριση [63].

Ιδιαίτερη σημασία έχει η ανάπτυξη τεχνολογιών που ενισχύουν τη συμμετοχή των πολιτών και την «έξυπνη διακυβέρνηση». Οι εφαρμογές αυτές δίνουν τη δυνατότητα στους πολίτες να βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση με τη διοίκηση, να καταγράφουν προβλήματα, να προτείνουν λύσεις, αλλά και να παρακολουθούν τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, εφαρμογές προς την κατεύθυνση αυτή είναι οι πλατφόρμες διαβούλευσης, τα συστήματα ηλεκτρονικής ψηφοφορίας, οι εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας για αναφορές βλαβών ή παραπόνων, όπως επίσης και εργαλεία ανοιχτών δεδομένων τα οποία και ενισχύουν τη διαφάνεια. Η τεχνολογία, σε αυτή την περίπτωση, λειτουργεί ως στοιχείο ενδυνάμωσης της εμπιστοσύνης μεταξύ της διοίκησης και της κοινωνίας των πολιτών [63].

4.5 Κίνητρα και πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων

Είναι γεγονός ότι η ανάπτυξη έξυπνων πόλεων συνιστά από τους πλέον βασικούς στόχους πολλών κρατών, αλλά και τοπικών διοικήσεων ανά τον κόσμο. Πέρα από την τεχνολογική της διάσταση, η έννοια της έξυπνης πόλης στηρίζεται σε ένα πλέγμα κινήτρων που καλύπτουν τις ανάγκες οικονομικής αποδοτικότητας, περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, κοινωνικής συνοχής, αλλά και ψηφιακού μετασχηματισμού της διακυβέρνησης. Ταυτόχρονα, μια σειρά από δημόσιες και ιδιωτικές πρωτοβουλίες, σε εθνικό, αλλά και διεθνές επίπεδο παρέχουν υποστήριξη στην υλοποίηση σχετικών έργων, παρέχοντας χρηματοδότηση, τεχνική υποστήριξη, όπως επίσης και άλλα θεσμικά εργαλεία [52].

Βασικό κίνητρο για την περαιτέρω ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων είναι η αύξηση της αποδοτικότητας, τόσο των δημοσίων υποδομών, όσο και των υπηρεσιών. Οι πόλεις αντιμετωπίζουν συνεχώς αυξανόμενη πίεση, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού, της κυκλοφοριακής συμφόρησης, των υψηλών ενεργειακών καταναλώσεων, αλλά και της φθοράς των δικτύων. Μέσω της ενσωμάτωσης ψηφιακών

τεχνολογιών, είναι δυνατόν να επιτευχθεί καλύτερος έλεγχος, συντήρηση και προγραμματισμός, οδηγώντας σε μείωση του κόστους λειτουργίας και βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης των πολιτών [63].

Ένα ακόμη κίνητρο είναι η προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και η προώθηση της βιωσιμότητας. Οι έξυπνες πόλεις εφαρμόζουν λύσεις που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση των εκπομπών CO₂, την ανακύκλωση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο έξυπνος φωτισμός, η διαχείριση των κτιρίων μέσω BEMS (Building Energy Management Systems), και τα πράσινα μέσα μεταφοράς είναι ορισμένες χαρακτηριστικές εφαρμογές. Οι πόλεις που εφαρμόζουν τις πρακτικές αυτές καταφέρνουν και βελτιώνουν τη δημόσια υγεία και τη γενική ποιότητα ζωής, ενώ προβάλλουν ένα περισσότερο φιλοπεριβαλλοντικό προφίλ σε διεθνές επίπεδο [40].

Ένα ακόμη κίνητρο αφορά την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και της τοπικής οικονομίας. Οι έξυπνες πόλεις προσελκύουν επενδύσεις, ταλαντούχο ανθρώπινο δυναμικό, αλλά και καινοτόμες επιχειρήσεις, δημιουργώντας ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον για ανάπτυξη. Ειδικά για πόλεις που θεωρούνται μητροπολιτικά κέντρα, η έξυπνη στρατηγική συνιστά μοχλό διαφοροποίησης, αλλά και ανάπτυξης. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών δημιουργούν νέες αγορές, υπηρεσίες, όπως επίσης και επαγγέλματα, γεγονός που ενισχύει την απασχόληση, αλλά και προωθεί τη γνώση [63].

Η βελτίωση της διακυβέρνησης και της συμμετοχής των πολιτών συνιστά ένα ακόμη βασικό κίνητρο. Οι ψηφιακές πλατφόρμες επιτρέπουν μεγαλύτερη διαφάνεια, άμεση επικοινωνία με τους πολίτες, όπως και λογοδοσία. Οι πολίτες μπορούν να συμμετέχουν πιο ενεργά σε ζητήματα που τους αφορούν, μέσω ψηφιακών διαβουλεύσεων, αιτήσεων ή εφαρμογών αναφοράς προβλημάτων. Η «έξυπνη διακυβέρνηση» ενισχύει την εμπιστοσύνη προς τη διοίκηση και προωθεί την έννοια της συν-δημιουργίας των λύσεων, δίνοντας τη δυνατότητα έκφρασης στους κατοίκους. Σημαντικό ρόλο στην προώθηση των έξυπνων πόλεων διαδραματίζουν και οι διεθνείς και εθνικές πρωτοβουλίες και στρατηγικές. Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η πρωτοβουλία “European Smart Cities”, καθώς επίσης και το πρόγραμμα “Horizon Europe”, έχουν χρηματοδοτήσει έναν σημαντικό αριθμό πιλοτικών έργων, καθώς και προγραμμάτων που αποσκοπούν στην ανταλλαγή τεχνογνωσίας. Παράλληλα, η «Ψηφιακή Πυξίδα 2030» θέτει σαφείς στόχους για τον ψηφιακό μετασχηματισμό των ευρωπαϊκών πόλεων, επικεντρώνοντας στις υποδομές, τις δεξιότητες, όπως επίσης και τη διασυνδεσιμότητα [64].

Πέρα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, σε διεθνές επίπεδο έχουν αναπτυχθεί πολλές πρωτοβουλίες, οι οποίες προωθούν την έννοια των έξυπνων πόλεων. Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), μέσω της Ατζέντας 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, έχει θέσει τον Στόχο 11 («Βιώσιμες πόλεις και κοινότητες»), ο οποίος ενθαρρύνει τη δημιουργία ασφλών, ανθεκτικών και βιώσιμων αστικών περιοχών με χρήση τεχνολογίας, όπως και συμμετοχικής διακυβέρνησης. Παράλληλα, οργανισμοί όπως η Παγκόσμια

Τράπεζα παρέχουν τεχνική βοήθεια, ενώ έχουν θεσπίσει δείκτες αξιολόγησης, καθώς και οικονομικά εργαλεία για τον σχεδιασμό, αλλά και την εφαρμογή στρατηγικών έξυπνων πόλεων [65].

Σε εθνικό επίπεδο, πλήθος χωρών έχουν προβεί στην εκπόνηση εθνικών στρατηγικών, είτε στη δημιουργία σχεδίων δράσης για τις έξυπνες πόλεις. Οι στρατηγικές αυτές ενσωματώνουν οριζόντιες πολιτικές για τον ψηφιακό μετασχηματισμό, τη βιώσιμη κινητικότητα, την καινοτομία και τη διακυβέρνηση, ενώ συχνά συνοδεύονται από εξειδικευμένα χρηματοδοτικά εργαλεία ή θεσμικές μεταρρυθμίσεις που ενισχύουν τις τοπικές αρχές, ενώ συνάμα ενθαρρύνουν τους κατοίκους των επιμέρους περιοχών να συμμετέχουν με τρόπο ενεργό στις πρωτοβουλίες αυτές [64].

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων έχει ενταχθεί στον εθνικό σχεδιασμό, κυρίως μέσω του προγράμματος «Έξυπνες Πόλεις» του Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας, το οποίο και χρηματοδοτεί την υλοποίηση ολοκληρωμένων λύσεων ψηφιοποίησης για επιλεγμένους Δήμους. Το πρόγραμμα προβλέπει παρεμβάσεις σε τομείς όπως ο έξυπνος φωτισμός, η διαχείριση απορριμμάτων, τα πληροφοριακά συστήματα εξυπηρέτησης πολιτών, η προστασία από φυσικές καταστροφές και η βιώσιμη κινητικότητα. Παράλληλα, το ΕΣΠΑ και άλλες πρωτοβουλίες ενισχύουν τη δυνατότητα συνεργασιών δημόσιου-ιδιωτικού τομέα για την υλοποίηση καινοτόμων έργων, με το επίπεδο ωριμότητας των διαφορετικών πόλεων να παρουσιάζει διαφορές [63].

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων είναι η συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα, καθώς και των νεοφυών επιχειρήσεων (startups) στο οικοσύστημα των έξυπνων πόλεων. Οι εν λόγω εταιρείες προβαίνουν στην ανάπτυξη λύσεων, οι οποίοι και καλύπτουν τις ανάγκες της πόλης, ενώ προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των κατοίκων. Η συνεργασία μεταξύ δήμων και καινοτόμων επιχειρήσεων οδηγεί συχνά στη δημιουργία πιλοτικών έργων, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως μοντέλα για άλλες πόλεις. Παράλληλα, οι δημόσιοι φορείς έχουν τη δυνατότητα να εντάξουν την τεχνολογική καινοτομία στον σχεδιασμό τους, υιοθετώντας ένα πιο ευέλικτο και επιχειρηματικό μοντέλο διαχείρισης [65].

Σημαντικό κίνητρο για την υιοθέτηση τεχνολογιών έξυπνων πόλεων είναι η ανθεκτικότητα και η διαχείριση κρίσεων. Οι πρόσφατες προκλήσεις, όπως η πανδημία COVID-19 ή τα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής, ανέδειξαν την ανάγκη ύπαρξης ευφυών υποδομών που μπορούν να ανταποκριθούν γρήγορα, αλλά και με υψηλή αποδοτικότητα σε κρίσεις. Τα συστήματα τηλεϊατρικής, η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, οι πλατφόρμες ενημέρωσης και προειδοποίησης πολιτών και οι τεχνολογίες πρόβλεψης φυσικών φαινομένων είναι μερικά παραδείγματα εργαλείων που συμβάλλουν στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας [65].

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το γεγονός ότι η πρόοδος των έξυπνων πόλεων ενισχύει και την κοινωνική συνοχή κα ένταξη, εφόσον εφαρμόζεται με έναν δίκαιο και συμμετοχικό τρόπο. Οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να περιορίσουν τις ανισότητες στην πρόσβαση σε υπηρεσίες, να

παρέχουν υποστήριξη προς τις περισσότερο ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού, αλλά και να διευκολύνουν τη καθημερινή ζωή των κατοίκων. Η ισότιμη πρόσβαση στην πληροφορία, οι υπηρεσίες εξ αποστάσεως για άτομα με αναπηρίες ή ηλικιωμένους, και η δυνατότητα συμμετοχής στις αποφάσεις της πόλης είναι ενδεικτικά πεδία όπου η τεχνολογία μπορεί να διαδραματίσει σημαίνοντα ρόλο υπέρ της κοινωνικής δικαιοσύνης [63].

4.6 Βιωσιμότητα, ανθεκτικότητα και έξυπνες πόλεις

Παρόλο που η ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων προσφέρει πολλαπλά οφέλη σε όρους αποδοτικότητας, βιωσιμότητας και ποιότητας ζωής, η εφαρμογή αυτών συνδέεται με μια σειρά προκλήσεων, αλλά και προβληματισμών, ορισμένοι εκ των οποίων αφορούν τεχνικές, κοινωνικές, αλλά και πολιτικές ή ηθικές παραμέτρους. Οι δυσκολίες αυτές συνδέονται με την πολυπλοκότητα της υλοποίησης, τη διακυβέρνηση των δεδομένων, την προστασία των δικαιωμάτων των πολιτών, τη χρηματοδότηση, όπως επίσης και τις κοινωνικές ανισότητες που μπορεί να ενισχυθούν [64].

Από τις πλέον σημαντικές προκλήσεις είναι η προστασία των προσωπικών δεδομένων και της ιδιωτικότητας. Η συνεχής συλλογή δεδομένων από αισθητήρες, κάμερες, συσκευές IoT και εφαρμογές ενέχει τον κίνδυνο παρακολούθησης και παραβίασης της ιδιωτικής ζωής των κατοίκων, αλλά και των επισκεπτών μιας πόλης. Σε κάθε περίπτωση, τίθεται το ερώτημα ποιος ελέγχει τα δεδομένα της πόλης, με το κράτος, τις δημοτικές αρχές, τις ιδιωτικές εταιρείες, αλλά και συνδυασμό αυτών [63].

Σημαντική πρόκληση συνιστά η κυβερνοασφάλεια, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι έξυπνες πόλεις στηρίζονται σε πολύπλοκα ψηφιακά οικοσυστήματα, με την παραμικρή ευπάθεια να έχει εκτεταμένες συνέπειες. Ειδικότερα, κυβερνοεπιθέσεις που στοχεύουν σε κρίσιμες υποδομές, όπως είναι τα δίκτυα ενέργειας, ύδρευσης, φωτισμού ή συγκοινωνιών, μπορούν να προκαλέσουν όχι μόνο οικονομικές ζημιές, αλλά και σοβαρούς κινδύνους για τη δημόσια ασφάλεια. Επομένως, απαιτείται διαρκής επένδυση σε τεχνολογίες προστασίας, αναβάθμιση των συστημάτων, όπως επίσης και εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού σε θέματα ψηφιακής ασφάλειας [68].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μια ακόμη σημαντική πρόκληση είναι η ψηφιακή ανισότητα. Παρόλο που οι έξυπνες πόλεις στοχεύουν στη βελτίωση της ζωής όλων των πολιτών, σε πρακτικό επίπεδο ενέχει κίνδυνος ψηφιακού αποκλεισμού. Η πρόσβαση στις ψηφιακές υπηρεσίες δεν είναι δεδομένη για όλες τις κοινωνικές ομάδες, όπως είναι οι ηλικιωμένοι, τα άτομα με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο, καθώς και οι οικονομικά ευάλωτοι πολίτες, αλλά και τα άτομα με αναπηρία, τα οποία ενδέχεται να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στη χρήση των τεχνολογικών εργαλείων. Η εφαρμογή «έξυπνων λύσεων», χωρίς να υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη και εκπαίδευση, δύναται να αφήσει πίσω ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό τις κοινωνικές ανισότητες, αντί να τις περιορίσει [63].

Ένας ακόμη προβληματισμός αφορά την εξάρτηση από τον ιδιωτικό τομέα και τις μεγάλες τεχνολογικές εταιρείες. Πολλές από τις εφαρμογές και τις υποδομές που συνθέτουν τις έξυπνες πόλεις αναπτύσσονται, εγκαθίστανται και διαχειρίζονται από ιδιωτικές επιχειρήσεις. Το γεγονός αυτό δημιουργεί ζητήματα διαφάνειας, αυτονομίας, αλλά και ελέγχου. Σημεία προβληματισμού αποτελούν ο βαθμός εξάρτησης των πόλεων από τις εμπορικές στρατηγικές των τεχνολογικών παρόχων, ενώ εξίσου σημαντικός προβληματισμός είναι ο κίνδυνος ιδιωτικοποίησης βασικών δημόσιων λειτουργιών, όπως είναι η ασφάλεια, η κυκλοφορία κτλ. [66].

Ένα εξίσου κρίσιμο ζήτημα είναι ο κοινωνικός αποκλεισμός και η απουσία συμμετοχικότητας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι κάτοικοι δεν ενημερώνονται για τις αλλαγές, δεν συμμετέχουν στο σχεδιασμό των λύσεων και δεν εκπαιδεύονται επαρκώς στη χρήση των ψηφιακών εργαλείων. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα αντί να δημιουργούνται έξυπνες και συμπεριληπτικές πόλεις, οι πόλεις να διακρίνονται από ανισότητες, αλλά και αποξένωση. Επιπλέον, σε ηθικό επίπεδο, η υπερβολική αυτοματοποίηση, η εξάρτηση από αλγόριθμους, όπως επίσης και η συλλογή τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, εγείρουν ερωτήματα για τη θέση του ανθρώπου στον αστικό σχεδιασμό. Η τεχνολογία δεν είναι ουδέτερη, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αλγόριθμοι περιλαμβάνουν προκαταλήψεις, ενώ οι αυτοματοποιημένες αποφάσεις μπορεί να στερούνται διαφάνειας και ηθικής κρίσης. Ο αστικός σχεδιασμός του μέλλοντος οφείλει να ενσωματώνει την τεχνολογία με μέτρο, με σεβασμό στις αξίες της δημοκρατίας, των ανθρωπίνων δικαιωμάτων και της κοινωνικής δικαιοσύνης. Σε κάθε περίπτωση μια έξυπνη πόλη δεν είναι απλώς μια ψηφιοποιημένη πόλη, αλλά μια πόλη που ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες των ανθρώπων, προσφέροντας λύσεις που οδηγούν στη δημιουργία προστιθέμενης κοινωνικής αξίας [66].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένας μεγάλος αριθμός πόλεων βρίσκονται αντιμέτωπες με δυσκολίες χρηματοδότησης των απαιτούμενων έργων υποδομής. Οι τεχνολογικές λύσεις των έξυπνων πόλεων απαιτούν σημαντικές επενδύσεις, όχι μόνο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού αλλά και για τη συντήρηση, την αναβάθμιση, αλλά και για την εκπαίδευση του προσωπικού. Ιδίως οι μικροί και οι μεσαίοι δήμοι δυσκολεύονται να ανταποκριθούν στο οικονομικό βάρος των έργων, χωρίς να υπάρχει η κατάλληλη χρηματοδότηση ή συνεργασίες ιδιωτικού και δημοσίου τομέα (ΣΔΙΤ). Το πρόβλημα οξύνεται συχνά εξαιτίας της αποσπασματικής ή βραχυπρόθεσμης υλοποίησης των έργων, τα οποία και δεν εντάσσονται σε ένα συνολικό στρατηγικό πλάνο [67].

Μια ακόμη πρόκληση συνδέεται με την αρχιτεκτονική της διακυβέρνησης των έξυπνων πόλεων. Η επιτυχής υλοποίηση και λειτουργία των έξυπνων υποδομών απαιτεί συντονισμό μεταξύ πλήθους εμπλεκόμενων φορέων, όπως για παράδειγμα είναι η δημοτική και περιφερειακή διοίκηση, αλλά και οι πάροχοι τεχνολογίας, οι δημόσιες επιχειρήσεις, καθώς και οι ίδιοι οι πολίτες. Ωστόσο, η έλλειψη σαφούς κανονιστικού πλαισίου, ο κατακερματισμός των αρμοδιοτήτων και η περιορισμένη θεσμική ωριμότητα πολλών δημοτικών αρχών συχνά εμποδίζουν την ανάπτυξη ενός ενιαίου και

αποτελεσματικού μοντέλου διοίκησης. Χωρίς έναν σαφή σχεδιασμό και κατανομή ευθυνών, πολλές πρωτοβουλίες είτε παραμένουν ημιτελείς είτε αποτυγχάνουν να παραγάγουν μετρήσιμα αποτελέσματα στο πέρασμα του χρόνου [66].

Να σημειωθεί ότι μεγάλος αριθμός πόλεων εφαρμόζει μεμονωμένες τεχνολογικές λύσεις, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι η τοποθέτηση αισθητήρων απορριμμάτων, είτε ο έξυπνος φωτισμός, χωρίς όμως οι εν λόγω πρωτοβουλίες να εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο μετασχηματισμού. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται κατακερματισμένα συστήματα, τα οποία είναι ασύμβατα μεταξύ τους που οδηγούν σε υψηλό λειτουργικό κόστος, περιορίζοντας την αποδοτικότητα. Σε κάθε περίπτωση, ο ψηφιακός μετασχηματισμός μιας πόλης θα πρέπει να στηρίζεται σε μια ολιστική προσέγγιση, όπου υπάρχουν στόχοι, δείκτες, αλλά και συνεχείς αξιολογήσεις [67].

4.7 Οικονομικά ζητήματα στο πλαίσιο ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία και οι κοινωνικές προκλήσεις πολλαπλασιάζονται, το μέλλον των έξυπνων πόλεων αναδιαμορφώνεται συνεχώς, προσφέροντας νέες τάσεις και προοπτικές, οι οποίες και ξεπερνούν το σημερινό επίπεδο εφαρμογής. Οι πόλεις του μέλλοντος δεν θα είναι απλώς πιο αναπτυγμένες τεχνολογικά από τις σημερινές, αλλά θα είναι περισσότερο προσαρμοστικές, ανθεκτικές, συμμετοχικές και συνάμα «έξυπνες», με την ευρεία έννοια του όρου. Στο μέλλον, τα οικοσυστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων αναμένεται να λειτουργούν έχοντας υψηλότερη αυτονομία, μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα, καθώς και ενισχυμένα επίπεδα ασφάλειας. Η υιοθέτηση του 6G, αλλά και η ενσωμάτωση νευρωνικών δικτύων θα επιτρέπουν τη δημιουργία πόλεων όπου σχεδόν κάθε αντικείμενο αυτών, θα μπορεί να συμμετέχει σε δυναμικά περιβάλλοντα ανάλυσης και πρόβλεψης [68].

Ταυτόχρονα, ενισχύεται η τάση προς τη δημιουργία περισσότερο ανθεκτικών και προσαρμοστικών πόλεων. Οι κλιματικές αλλαγές, οι υγειονομικές κρίσεις και η αύξηση του αστικού πληθυσμού ωθούν τις πόλεις να καταστούν περισσότερο έτοιμες να αντιμετωπίσουν ζητήματα που είναι απρόβλεπτα. Οι υποδομές θα σχεδιάζονται με στόχο τη δυνατότητα ταχείας προσαρμογής σε ακραία καιρικά φαινόμενα, σεισμούς ή επιδημίες, με την υποστήριξη τεχνολογιών πρόβλεψης και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Ήδη δοκιμάζονται λύσεις όπως οι ευφυείς αποχετεύσεις, τα έξυπνα καταφύγια και τα αυτόνομα συστήματα διαχείρισης κρίσεων [69].

Μια ακόμα αξιοσημείωτη τάση αφορά την αύξηση της χρήσης τεχνητής νοημοσύνης για τον σχεδιασμό πολιτικών, καθώς και για την προγνωστική ανάλυση. Οι δήμοι θα μπορούν να προσομοιώνουν κοινωνικά και περιβαλλοντικά σενάρια πριν την υλοποίηση έργων, περιορίζοντας τα ρίσκα και αυξάνοντας τα επίπεδα αποτελεσματικότητας. Μέσω αλγορίθμων, θα αναγνωρίζονται αυτόματα περιοχές υψηλής κοινωνικής ευαλωτότητας, ανάγκες σε υποδομές ή ενεργειακά φορτία, επιτρέποντας μια περισσότερο στοχευμένη κατανομή των πόρων [70].

Σημαντική προοπτική επίσης αποτελεί η περαιτέρω εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων (Digital Twins), με τις πόλεις του μέλλοντος να έχουν πλήρως ψηφιοποιημένες εκδοχές του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά και συνεχείς δυνατότητες προσομοίωσης λειτουργιών, όπως είναι η κυκλοφορία, η ροή ενέργειας, οι κίνδυνοι πλημμύρας κτλ. Έτσι, θα μπορούν να λαμβάνονται στρατηγικές αποφάσεις αξιοποιώντας ακριβή, ρεαλιστικά και δυναμικά δεδομένα. Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες μελλοντικές τάσεις είναι η μετάβαση από τις «τεχνολογικά έξυπνες» πόλεις στις ανθρωποκεντρικές έξυπνες πόλεις, όπου η τεχνολογία τίθεται πλήρως στην υπηρεσία των πολιτών και όχι το αντίστροφο. Το ζητούμενο δεν θα είναι πλέον απλώς η αυτοματοποίηση ή η αποδοτικότητα, αλλά η ευημερία, η συμμετοχή, καθώς και η ένταξη όλων των κοινωνικών ομάδων. Οι μελλοντικές πόλεις θα δίνουν έμφαση στη διαφάνεια, στην ενδυνάμωση της κοινότητας και στη δυνατότητα συν-δημιουργίας πολιτικών από τους ίδιους τους πολίτες μέσω εργαλείων συμμετοχικής διακυβέρνησης [68].

Υπό το πρίσμα αυτό διαπιστώνεται και μια σταδιακή αποκέντρωση των συστημάτων. Αντί για συγκεντρωμένα μοντέλα διοίκησης, θα προτιμώνται αποκεντρωμένα και συνεργατικά δίκτυα, όπου γειτονιές, κοινότητες και τοπικές επιχειρήσεις θα συμμετέχουν ενεργά στη διαχείριση της πόλης. Οι τεχνολογίες blockchain και οι αποκεντρωμένες εφαρμογές, αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της διαφάνειας, της εμπιστοσύνης, καθώς και της λογοδοσίας. Εξίσου σημαντική προοπτική είναι η δημιουργία κλιματικά ουδέτερων και έξυπνων πόλεων, υπό το πρίσμα της κλιματικής κρίσης. Οι πόλεις αυτές αναμένεται να ενσωματώνουν τεχνολογίες για την παρακολούθηση και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, την αποδοτική χρήση ενέργειας, την πράσινη κινητικότητα και την κυκλική οικονομία [69].

Οι πόλεις του μέλλοντος αναμένεται να προβούν στην υιοθέτηση προβλεπτικών και αυτόνομων συστημάτων λήψης αποφάσεων, τα οποία θα μπορούν να εντοπίζουν απειλές ή ευκαιρίες πριν ακόμη εκδηλωθούν, αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα, όπως επίσης και τις τεχνολογίες πρόβλεψης. Για παράδειγμα, μια πόλη θα μπορεί να προσαρμόζει αυτόματα τα δρομολόγια των ΜΜΜ με βάση την πρόβλεψη ζήτησης, να διαχειρίζεται ενεργειακά φορτία με βάση το μοντέλο κατανάλωσης ή να λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη κοινωνικών εντάσεων σε επίπεδο γειτονιάς [70].

4.8 Επίλογος

Το κεφάλαιο αυτό ανέδειξε ότι η μετάβαση στις έξυπνες πόλεις δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική επιλογή, αλλά μια στρατηγική αναγκαιότητα. Η εννοιολογική προσέγγιση της έξυπνης πόλης, σε συνδυασμό με την παρουσίαση των τεχνολογιών που την υποστηρίζουν, καταδεικνύει πως η ολοκληρωμένη ψηφιακή υποδομή αποτελεί πλέον θεμέλιο για τις σύγχρονες αστικές λειτουργίες. Επιπλέον, η κυβερνοασφάλεια και η προστασία των δεδομένων αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία και την εμπιστοσύνη των πολιτών.

Η συνολική εικόνα που διαμορφώνεται επιβεβαιώνει ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί τον βασικό πυλώνα πάνω στον οποίο στηρίζεται η λειτουργικότητα και η αποδοτικότητα των έξυπνων πόλεων. Με αυτή την κατανόηση, το επόμενο κεφάλαιο εξετάζει αναλυτικά τον ρόλο του IoT στον φωτισμό, παρουσιάζοντας τις πρακτικές εφαρμογές και τις δυνατότητες που προκύπτουν για τη σύγχρονη αστική διαχείριση.

Κεφάλαιο 5ο: Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων στον φωτισμό στις έξυπνες πόλεις

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται σε εφαρμογές IoT στον φωτισμό, στο πλαίσιο των έξυπνων πόλεων. Πιο αναλυτικά, μελετάται ο φωτισμός και το κόστος αυτού, ως ανάγκη για μια πόλη, όπως επίσης και ο αυτοματοποιημένος έλεγχος φωτισμού. Ξεχωριστή αναφορά γίνεται στον απομακρυσμένο έλεγχο και διαχείριση του φωτισμού, στην αποδοτική χρήση ενέργειας, όπως επίσης και στην αναγνώριση και ανάλυση των κινήσεων. Επιπλέον, μελετάται η προληπτική συντήρηση, όπως επίσης και η σύνδεση με άλλες υποδομές, ενώ αναδεικνύονται τα προβλήματα, οι κίνδυνοι, καθώς και οι ευκαιρίες που δημιουργούνται.

5.2 Ο φωτισμός και το κόστος ως ανάγκη για μια πόλη

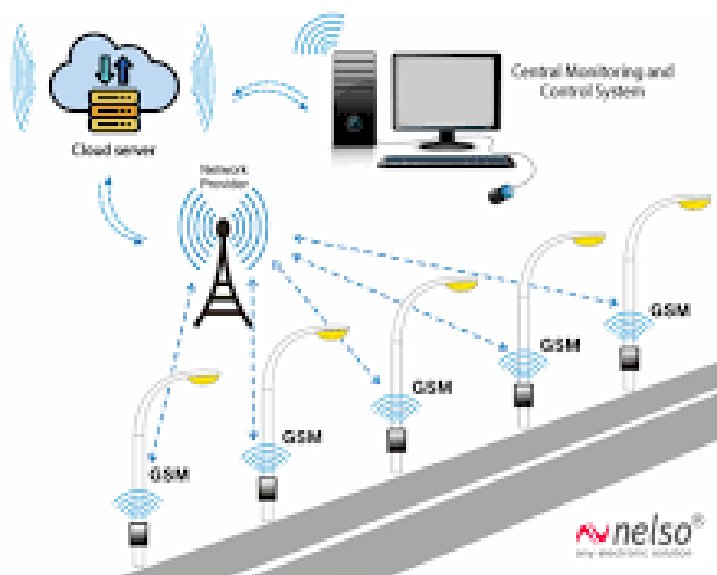
Ο δημόσιος φωτισμός αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της λειτουργίας κάθε αστικής περιοχής, καθώς αυτός επιδρά άμεσα στην ασφάλεια, στην προσβασιμότητα, όπως επίσης και στη νυχτερινή οικονομική δραστηριότητα, αλλά και στη συνολική ποιότητα ζωής των κατοίκων. Ταυτόχρονα, ο φωτισμός αποτελεί από τις πλέον σημαντικές πηγές κατανάλωσης ενέργειας, με αποτέλεσμα να συνιστά και από τα μεγαλύτερα λειτουργικά έξοδα για τους ΟΤΑ. Η ανάγκη για βελτιστοποίηση του φωτισμού στις πόλεις συνδέεται άμεσα με την οικονομική αποδοτικότητα, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αλλά και τη δημιουργία δημοσίων χώρων που θα χαρακτηρίζονται από ασφάλεια και βιωσιμότητα [71].

Παραδοσιακά, ο δημοτικός φωτισμός λειτουργεί με χρονοπρογραμματισμένα συστήματα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των φωτιστικών σωμάτων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα η λειτουργία τους να μην ανταποκρίνεται με επάρκεια στις ανάγκες φωτισμού της κάθε περιοχής. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται φαινόμενα υπερκατανάλωσης, καθώς πολλές φορές οι φωτιστικές μονάδες παραμένουν ενεργές ακόμη και όταν δεν απαιτείται, είτε λόγω χαμηλής κυκλοφορίας είτε λόγω επαρκούς φυσικού φωτισμού. Επιπλέον, η χρήση παλαιών τεχνολογιών των συστημάτων φωτισμού, συνδέεται με αυξημένα επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης, όπως και με μειωμένη διάρκεια ζωής των συσκευών, καθώς και με υψηλό κόστος συντήρησης [72].

Η εφαρμογή του «έξυπνου φωτισμού», μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων, αναδεικνύεται ως στρατηγική επιλογή για τον εκσυγχρονισμό των αστικών υποδομών και την επίτευξη εξοικονόμησης πόρων. Εγκαθιστώντας φωτιστικά LED, αισθητήρες παρουσίας και φωτεινότητας, καθώς και πλατφόρμες απομακρυσμένου ελέγχου, επιτυγχάνεται δυναμικός προγραμματισμός της φωτεινότητας, σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική μείωση της κατανάλωσης

ενέργειας, η οποία μπορεί να φθάσει στα επίπεδα 50-70%, σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα, γεγονός που περιορίζει το κόστος των δημοτικών προϋπολογισμών [73].

Diagram of GSM-based IoT Street Light System



Εικόνα 5-1: Σύστημα έξυπνου αστικού φωτισμού βασισμένο στο IoT [73]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πέραν της εξοικονόμησης ενέργειας, η εφαρμογή έξυπνου φωτισμού σχετίζεται με τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα γεγονός που συμβάλλει στον στόχο της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης και της συμμόρφωσης με τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πράσινη μετάβαση. Η δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης των φωτιστικών σωμάτων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τον άμεσο εντοπισμό βλαβών και τη στοχευμένη συντήρηση, περιορίζοντας το κόστος τεχνικών παρεμβάσεων και αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού [72].

Ο φωτισμός, εκτός από την τεχνική του διάσταση συνδέεται και με τον κοινωνικό και πολιτισμικό αντίκτυπο. Ο επαρκής και στοχευμένος φωτισμός ενισχύει την αίσθηση ασφάλειας, περιορίζει την παραβατικότητα, ενώ ενθαρρύνει την παρουσία των πολιτών στο δημόσιο χώρο κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Ιδιαίτερη σημασία έχει η προσαρμογή του φωτισμού στις χρήσεις γης και στον αστικό σχεδιασμό. Για παράδειγμα, απαιτείται ενισχυμένος φωτισμός σε πεζοδρόμους, πάρκα, είτε σε περιοχές όπου υπάρχει αυξημένη κίνηση, καθώς και σε περιορισμένες ήσυχες οικιστικές ζώνες, έτσι ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της φωτορρύπανσης [73].

5.3 Αυτοματοποιημένος έλεγχος φωτισμού

Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος φωτισμού αποτελεί έναν από τους βασικότερους άξονες εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις και ιδίως στον τομέα του αστικού φωτισμού. Ουσιαστικά, πρόκειται για αξιοποίηση αισθητήρων, λογισμικού και δικτύων επικοινωνίας με στόχο την αυτόνομη ρύθμιση της λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων, ανάλογα με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, τη χρονική στιγμή, την παρουσία ανθρώπων, είτε οχημάτων, καθώς και τις εκάστοτε ανάγκες του αστικού περιβάλλοντος. Οι αυτοματισμοί αντικαθιστούν τα συμβατικά και σταθερά χρονοπρογράμματα, επιτρέποντας την ευέλικτη και δυναμική λειτουργία του συστήματος φωτισμού [74].

Η βασική αρχή του αυτοματοποιημένου ελέγχου στηρίζεται στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αισθητήρες φωτεινότητας, κίνησης, θορύβου, θερμοκρασίας ή ακόμη και μετεωρολογικών συνθηκών αποστέλλουν διαρκώς πληροφορίες σε ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά που συλλέγονται, οι μονάδες φωτισμού μπορούν να αυξομειώνουν την ένταση του φωτός, να ενεργοποιούνται, είτε να απενεργοποιούνται επιλεκτικά, είτε να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα γεγονότα, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι τα ατυχήματα, είτε οι έκτακτες καταστάσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρξει χρήση αισθητήρων κίνησης σε δευτερεύουσες οδούς, είτε σε περιοχές χαμηλής κυκλοφορίας, όπου τα φωτιστικά σώματα παραμένουν σε μειωμένη φωτεινότητα και ενεργοποιούνται σε πλήρη ισχύ εφόσον εντοπιστεί ανθρώπινη ή οδική παρουσία. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται δραστική εξοικονόμηση ενέργειας, χωρίς να θίγεται η ασφάλεια και η λειτουργικότητα του χώρου [71].

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω του αυτοματοποιημένου ελέγχου, περιορίζονται οι ανάγκες για ανθρώπινη παρέμβαση, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζονται και τα λειτουργικά κόστη, αλλά και να ενισχύονται οι συνέπεια και η ταχύτητα αντίδρασης του συστήματος. Καταγράφονται ιστορικά δεδομένα που επιτρέπουν την ανάλυση της χρήσης και την περαιτέρω βελτιστοποίηση των ρυθμίσεων, ενώ υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη φορτίων, είτε για την πρόληψη αστοχιών [72].

Για την αποτελεσματική εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων φωτισμού είναι αναγκαίο να υπάρχει υψηλό επίπεδο σχεδιασμού, αλλά και διαλειτουργικότητας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή συνεργασία των επιμέρους υποσυστημάτων. Η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων, η σωστή παραμετροποίηση των αλγορίθμων ελέγχου, καθώς και η εξασφάλιση κυβερνοασφάλειας και προστασίας δεδομένων αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμους παράγοντες για την αξιοπιστία και την κοινωνική αποδοχή των λύσεων αυτών [71].

5.4 Απομακρυσμένος έλεγχος και διαχείριση

Ο απομακρυσμένος έλεγχος και η διαχείριση των συστημάτων φωτισμού, υπό το πρίσμα των έξυπνων πόλεων, συνιστά μια κομβική τεχνολογική δυνατότητα, η οποία και συμβάλλει στον μετασχηματισμό της σχέσης που διαμορφώνεται μεταξύ των αστικών υποδομών και των φορέων της διοίκησης. Μέσω του απομακρυσμένου ελέγχου δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης, τροποποίησης, αλλά και συντονισμού των φωτιστικών σωμάτων από κεντρικά σημεία ελέγχου, χρησιμοποιώντας ασφαλείς και διαλειτουργικές ψηφιακές πλατφόρμες. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό πολιτικών φωτισμού και επιτρέπει άμεσες παρεμβάσεις χωρίς να υπάρχει η ανάγκη επιτόπιας παρουσίας τεχνικού προσωπικού [75].

Μέσω δικτύων επικοινωνίας, όπως είναι για παράδειγμα LoRaWAN ή 5G, κάθε φωτιστική μονάδα αποκτά μοναδική ψηφιακή ταυτότητα και ενσωματώνεται σε ένα ευρύτερο σύστημα αποστολής και λήψης εντολών. Στο σύστημα αυτό, ο διαχειριστής έχει τη δυνατότητα μέσω διεπαφών χρήστη, να επιλέξει συγκεκριμένες ομάδες φωτιστικών για τροποποίηση της έντασης, να θέσει προγράμματα λειτουργίας ή να ενεργοποιήσει προφίλ φωτισμού βάσει γεωγραφικών ή χρονικών παραμέτρων. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η γενικευμένη και άκαμπτη αντιμετώπιση του φωτισμού, ενώ καλλιεργείται μια περισσότερο προσαρμοστική και συνάμα «ευφυής» λογική διαχείρισης [72].

Ο απομακρυσμένος έλεγχος δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο. Εφόσον κάποια μονάδα παρουσιάσει βλάβη ή αστοχία, το σύστημα ενημερώνει άμεσα για το είδος του προβλήματος, την ακριβή τοποθεσία και το ιστορικό λειτουργίας, διευκολύνοντας τη διαδικασία συντήρησης και περιορίζοντας τις καθυστερήσεις. Επιπλέον, οι τεχνικές ομάδες μπορούν να οργανώνουν αποστολές βάσει προτεραιοποίησης, βελτιώνοντας την απόδοση των παρεμβάσεων και περιορίζοντας τα σχετικά κόστη. Περαιτέρω, ένα ακόμη πλεονέκτημα αφορά την προσαρμογή του φωτισμού σε ειδικές περιστάσεις, όπως είναι η περίπτωση ενός τροχαίου ατυχήματος, όπου μπορεί να ενισχυθεί προσωρινά ο φωτισμός ενός συγκεκριμένου τμήματος οδού. Αντίστοιχα, σε ζώνες υψηλού πολιτιστικού ενδιαφέροντος ή σε τουριστικά σημεία, ο φωτισμός μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με την επιθυμητή αισθητική ή τη ροή επισκεπτών [76].

Η χρήση κεντροποιημένων dashboard, δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους διαχείρισης να ελέγχουν τον φωτισμό, αλλά ταυτόχρονα να συγκεντρώνουν δεδομένα για στατιστική ανάλυση, ενεργειακή αποτύπωση, όπως επίσης και σχεδιασμό μελλοντικών επενδύσεων. Μέσω της αξιοποίησης των δεδομένων αυτών, οι ΟΤΑ μπορούν να αναπτύξουν στρατηγικές μακροπρόθεσμης βελτίωσης της αποδοτικότητας, να διεκδικήσουν χρηματοδοτήσεις με τεκμηριωμένα στοιχεία και να καταρτίσουν στοχευμένες πολιτικές για την αντιμετώπιση των διαφορών μεταξύ των επιμέρους γειτονιών ή περιοχών [72].

Η απομακρυσμένη διαχείριση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την αντιμετώπιση της παρατεταμένης ενεργειακής κρίσης, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι μέσω αυτής μπορεί να υπάρξει εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας με άμεσο και συνάμα διαφανή τρόπο. Η σταδιακή μείωση της φωτεινότητας σε ώρες χαμηλής κυκλοφορίας, η διακοπή λειτουργίας σε συγκεκριμένα τμήματα χωρίς χρήση ή η δοκιμαστική εφαρμογή σεναρίων με χαμηλό κόστος, αποτελούν ορισμένες από τις διαθέσιμες επιλογές [76].

5.5 Αποδοτική χρήση ενέργειας

Η αποδοτική χρήση ενέργειας στον αστικό φωτισμό αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στο πλαίσιο λειτουργίας των έξυπνων πόλεων. Επιδιώκεται να υπάρξει προσπάθεια βελτιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης, χωρίς όμως να υπάρχει υποβάθμιση της ποιότητας του φωτισμού, όπως επίσης και χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια των χρηστών του δημοσίου χώρου. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται όχι μόνο μέσω της τεχνολογικής αναβάθμισης του εξοπλισμού, αλλά κυρίως μέσω της δυναμικής και προσαρμοστικής διαχείρισης των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων, η οποία καθίσταται εφικτή με την αξιοποίηση αισθητήρων, αλγορίθμων και αυτοματοποιημένων συστημάτων [77].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μετάβαση από συμβατικούς λαμπτήρες σε τεχνολογίες φωτισμού LED, συνιστά το πρώτο βήμα για την επίτευξη της ενεργειακής αποδοτικότητας. Τα LED προσφέρουν μεγαλύτερη φωτεινή απόδοση ανά μονάδα κατανάλωσης ενέργειας, ενώ έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και απαιτούν λιγότερη συντήρηση, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική μείωση τόσο της ενεργειακής κατανάλωσης όσο και του συνολικού λειτουργικού κόστους. Η απλή αντικατάσταση των φωτιστικών δεν αρκεί η πραγματική εξοικονόμηση προκύπτει από την ικανότητα του συστήματος να λειτουργεί βάσει πραγματικών αναγκών και όχι σταθερών, καθολικών ρυθμίσεων [48].

Στο πλαίσιο αυτό σημαντικός είναι ο ρόλος που διαδραματίζουν οι αισθητήρες φωτεινότητας και παρουσίας, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται προσαρμογή της έντασης του φωτισμού, ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και ανάλογα με τη δραστηριότητα στην περιοχή. Για παράδειγμα, κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες σε περιοχές χαμηλής κυκλοφορίας, ο φωτισμός μπορεί να μειώνεται στο ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο και να αυξάνεται μόνο σε περίπτωση ανίχνευσης ανθρώπινης παρουσίας ή κυκλοφορίας οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας και διατηρείται η λειτουργικότητα του συστήματος μόνο όπου και όταν χρειάζεται [78].

Η αποδοτική χρήση ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω της χαρτογράφησης της ενεργειακής απόδοσης ανά τοποθεσία, τύπο φωτιστικού, αλλά και χρονική περίοδο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις φωτιστικές μονάδες καταγράφουν τη συμπεριφορά κατανάλωσης και επιτρέπουν την ανάλυση μοτίβων, τη σύγκριση περιοχών και την αξιολόγηση των στρατηγικών εξοικονόμησης. Σύμφωνα με τα ευρήματα αυτά, οι διαχειριστές μπορούν να προσαρμόσουν τις πολιτικές φωτισμού, ανάλογα με τις ανάγκες,

εντοπίζοντας τα κατάλληλα σημεία, τα οποία χρήζουν επανασχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη τις διαθέσιμες βέλτιστες πρακτικές [48].

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων που επιτρέπει την αξιοποίηση των εξωτερικών δεδομένων, όπως είναι η πρόγνωση καιρού, οι ροές της κυκλοφορίας, αλλά και η πληροφόρηση που αφορά τις άλλες υποδομές της πόλης, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν στον δυναμικό προγραμματισμό του φωτισμού. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια νυκτερινών βροχοπτώσεων ή χαμηλής ορατότητας, το σύστημα μπορεί να προσαρμόσει την ένταση φωτισμού προς ενίσχυση της ασφάλειας, ενώ σε περιόδους χαμηλής κίνησης μπορεί να μεταβεί σε κατάσταση εξοικονόμησης. Περαιτέρω, σημαντική είναι και η συμβολή του έξυπνου φωτισμού στην επίτευξη των κλιματικών στόχων, καθώς η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο έξυπνος φωτισμός, ως τμήμα της πράσινης στρατηγικής των πόλεων, ενισχύει τη συμμόρφωση με διεθνείς και ευρωπαϊκές δεσμεύσεις, όπως για παράδειγμα είναι αυτές που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία ή τη Συμφωνία των Παρισίων [48].

5.6 Αναγνώριση και ανάλυση κινήσεων

Η αναγνώριση και ανάλυση κινήσεων αποτελεί μια προηγμένη λειτουργικότητα των έξυπνων συστημάτων φωτισμού στις σύγχρονες πόλεις, η οποία αξιοποιεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων για να προσφέρει δυναμική προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές συνθήκες ανθρώπινης ή οδικής δραστηριότητας. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια εφαρμογή που συνδυάζει τεχνολογίες αισθητήρων, επεξεργασίας δεδομένων και μηχανικής μάθησης, με στόχο την ενίσχυση της λειτουργικότητας, της ασφάλειας και της ενεργειακής αποδοτικότητας του αστικού φωτισμού [74].

Η λειτουργία των συστημάτων αυτών στηρίζεται σε αισθητήρες ανίχνευσης της κίνησης, οι οποίοι και έχουν εγκατασταθεί σε επιλεγμένα σημεία εντός του αστικού ιστού, όπως είναι οι οδοί, οι πλατείες, τα πάρκα, καθώς και οι διαβάσεις. Οι αισθητήρες αυτοί εντοπίζουν την παρουσία ανθρώπων, οχημάτων ή ποδηλάτων και αποστέλλουν σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα σε πλατφόρμες ελέγχου, επιτρέποντας την αυτοματοποιημένη ενεργοποίηση ή ενίσχυση του φωτισμού μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο. Η ένταση του φωτός αυξάνεται στιγμιαία στην περιοχή όπου ανιχνεύεται κίνηση και επανέρχεται σε χαμηλότερο επίπεδο σε περιόδους αδράνειας [74].

Πέραν της στιγμιαίας απόκρισης, οι έξυπνοι αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν προσωρινά ή επαναλαμβανόμενα μοτίβα κίνησης, τα οποία, μέσω ανάλυσης, προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό στρατηγικών φωτισμού. Για παράδειγμα, μπορεί να εντοπιστούν ώρες αιχμής σε συγκεκριμένες περιοχές, διαδρομές με αυξημένη χρήση πεζών κατά τις νυκτερινές ώρες ή τμήματα του οδικού δικτύου που παρουσιάζουν συχνότερη κυκλοφορία. Με βάση αυτά τα ευρήματα, οι ΟΤΑ μπορούν να προσαρμόζουν διαχρονικά το σύστημα φωτισμού στις πραγματικές ανάγκες των πολιτών. Η ανάλυση κινήσεων σχετίζεται άμεσα με την ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας. Ιδίως σε περιοχές με

ιστορικό παραβατικών συμπεριφορών, η αυξημένη παρουσία φωτισμού σε συνδυασμό με την αυτόματη ενεργοποίηση φωτεινών πηγών κατά την καταγραφή ύποπτης κίνησης ενδέχεται να λειτουργήσει αποτρεπτικά. Τα δεδομένα κίνησης μπορούν να συσχετιστούν με άλλες παραμέτρους, όπως είναι η ώρα, οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, το είδος της δραστηριότητας, συνθέτοντας ένα πολύτιμο εργαλείο για τις υπηρεσίες σχεδιασμού αστικής πολιτικής [76].

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης στις πλατφόρμες ανάλυσης επιτρέπει την πρόβλεψη συμπεριφορών ή αναγκών πριν καν αυτές εκδηλωθούν. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να προβλέψει την επικείμενη αύξηση της κυκλοφορίας λόγω κάποιας εκδήλωσης ή της λειτουργίας σχολικών μονάδων και να προσαρμόσει εγκαίρως τον φωτισμό, διασφαλίζοντας ομαλότητα, αλλά και προληπτική διαχείριση των πόρων. Ωστόσο, η αναγνώριση κινήσεων απαιτεί τεχνολογική ακρίβεια, καθώς και σεβασμό στην ιδιωτικότητα. Οι αισθητήρες δεν πρέπει να παραβιάζουν προσωπικά δεδομένα ή να δημιουργούν αίσθημα επιτήρησης. Οι λύσεις που βασίζονται σε ανώνυμα δεδομένα, χρήση θερμικών ή υπερηχητικών αισθητήρων αντί για κάμερες αναγνώρισης προσώπου, θεωρούνται καταλληλότερες για ευαίσθητους δημόσιους χώρους [74].

5.7 Προληπτική συντήρηση

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια της προληπτικής συντήρησης στον τομέα του έξυπνου φωτισμού, σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της κατάστασης του εξοπλισμού μέσω τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων, καθώς και με την ανάλυση δεδομένων που υποστηρίζει την έγκαιρη ανίχνευση ενδείξεων φθοράς ή πιθανής αστοχίας. Αντί για την κλασική προσέγγιση της συντήρησης «μετά τη βλάβη», η προληπτική μέθοδος δίνει τη δυνατότητα στο διαχειριστικό σύστημα να παρέμβει πριν η αστοχία εκδηλωθεί, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο εκτός λειτουργίας, τα κόστη αποκατάστασης και τις επιπτώσεις στην ασφάλεια ή τη λειτουργικότητα του δημόσιου χώρου. Σημαινόνα ρόλο στη διαδικασία αυτή διαδραματίζουν οι αισθητήρες κατάστασης, οι οποίοι και ενσωματώνονται στα φωτιστικά σώματα, είτε στις υποστηρικτικές υποδομές, όπως είναι οι πυλώνες. Οι αισθητήρες αυτοί παρακολουθούν συνεχώς παραμέτρους όπως η θερμοκρασία λειτουργίας, οι διακυμάνσεις στην τάση, η φωτεινή απόδοση, η υγρασία, αλλά και ο αριθμός κύκλων λειτουργίας. Με βάση τα δεδομένα αυτά, το σύστημα μπορεί να εντοπίσει αποκλίσεις από τη φυσιολογική συμπεριφορά, οι οποίες υποδηλώνουν φθορά ή επικείμενη βλάβη [77].

Η διαρκής συλλογή και αποθήκευση των ιστορικών δεδομένων επιτρέπει την ανάπτυξη αλγορίθμων πρόβλεψης, οι οποίοι στηρίζονται σε πρότυπα υποβάθμισης των επιδόσεων. Για παράδειγμα, αν καταγραφεί σταδιακή μείωση της φωτεινότητας ή αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας σε ένα συγκεκριμένο φωτιστικό σώμα, το σύστημα μπορεί να ειδοποιήσει εγκαίρως την τεχνική υπηρεσία για αντικατάσταση ή επιθεώρηση. Αντίστοιχα, μπορεί να εντοπιστούν γεωγραφικές ζώνες με αυξημένη φθορά, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι εξαιτίας της υγρασίας, των δονήσεων, είτε των

ατμοσφαιρικών ρύπων, στις οποίες απαιτείται εντατικότερη παρακολούθηση ή εναλλακτικός σχεδιασμός [78].

Η προληπτική συντήρηση σχετίζεται άμεσα με την βελτιστοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Οι τεχνικές υπηρεσίες δεν χρειάζεται πλέον να ακολουθούν αυθαίρετα ή καθολικά προγράμματα επιθεώρησης: μπορούν να κατευθύνονται στοχευμένα, σε σημεία που υπάρχει πραγματική ανάγκη. Η επιλογή των παρεμβάσεων γίνεται με βάση αντικειμενικά και επικαιροποιημένα δεδομένα, γεγονός που μειώνει τις δαπάνες προσωπικού, τα έξοδα μετακίνησης και το λειτουργικό κόστος, ενώ αυξάνεται η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, καθώς αποφεύγονται πρόωρες αντικαταστάσεις ή παρατεταμένες φθορές [79].

Μέσω της προληπτικής συντήρησης που εφαρμόζεται, ενισχύεται και η αξιοπιστία των συστημάτων φωτισμού. Οι πολίτες απολαμβάνουν σταθερή ποιότητα φωτισμού χωρίς διακοπές ή περιόδους υποβάθμισης, ενώ ενισχύεται και η εμπιστοσύνη προς τη δημοτική διοίκηση. Σε ευαίσθητους χώρους, όπως είναι τα σχολεία, οι διαβάσεις πεζών, καθώς και τα σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος, η αξιόπιστη λειτουργία του φωτισμού θεωρείται κρίσιμη για την ασφάλεια και την κοινωνική συνοχή. Η προληπτική συντήρηση ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της βιώσιμης διαχείρισης των πόρων, λαμβάνοντας υπόψη ότι περιορίζει την παραγωγή αποβλήτων, μέσω ορθότερης διαχείρισης των ανταλλακτικών, περιορίζοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκύπτει από βλάβες ή υπερκατανάλωση [78].

5.8 Σύνδεση με άλλες υποδομές

Η σύνδεση των συστημάτων έξυπνου φωτισμού με άλλες υποδομές της πόλης αποτελεί μία από τις πλέον καινοτόμες και στρατηγικές διαστάσεις των εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων στον αστικό σχεδιασμό. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή προσέγγιση, όπου ο φωτισμός λειτουργεί ως απομονωμένο τεχνικό σύστημα, η σύγχρονη τάση προωθεί πλέον τη δημιουργία διαλειτουργικών δικτύων, στα οποία τα φωτιστικά σώματα συνυπάρχουν και επικοινωνούν με συγκοινωνιακές, περιβαλλοντικές, ενεργειακές, επικοινωνιακές και κοινωνικές υποδομές. Πλέον, οι πυλώνες φωτισμού μετατρέπονται σε πολυλειτουργικές πλατφόρμες, καθώς πέρα από τις φωτεινές πηγές μπορούν να διαθέτουν αισθητήρες ποιότητας αέρα, σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, κάμερες επιτήρησης, ηχεία για έκτακτες ειδοποιήσεις, όπως επίσης και μικρές φωτοβολταϊκές μονάδες. Μέσω της συνύπαρξης αυτής επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χώρου, αλλά και καλύτερη αισθητική ενοποίηση εντός του αστικού ιστού, καθώς και μείωση του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης [47].

Από τις πιο σημαντικές διασυνδέσεις, αφορά την οδική ασφάλεια και την κυκλοφοριακή διαχείριση. Ο «έξυπνος» φωτισμός μπορεί να συγχρονίζεται με αισθητήρες κυκλοφορίας, φανάρια και πίνακες μεταβλητών μηνυμάτων, ώστε να μεταβάλλει τη φωτεινότητα ανάλογα με τις ροές οχημάτων, τις καιρικές συνθήκες ή την ανάγκη καθοδήγησης των οδηγών σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Σε περιοχές

σκολειών ή πεζών διαβάσεων, η σύνδεση με συστήματα ανίχνευσης πεζών μπορεί να ενισχύει τη φωτεινότητα προσωρινά, ενισχύοντας την ορατότητα και την ασφάλεια [64].



Εικόνα 5-2: Σύνδεση συστημάτων έξυπνου φωτισμού με άλλες υποδομές [64]

Όσον αφορά την περιβαλλοντική παρακολούθηση, τα δίκτυα φωτισμού μπορούν να λειτουργούν ως υποδομές φιλοξενίας σε συνδυασμό με αισθητήρες μέτρησης ρύπων, υγρασίας, θορύβου ή θερμοκρασίας. Οι πληροφορίες που συλλέγονται παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την κατάρτιση περιβαλλοντικών πολιτικών, τη χάραξη πράσινων διαδρομών ή τον σχεδιασμό περιοχών ήπιας κυκλοφορίας. Η διασύνδεση αυτή εντάσσει τον φωτισμό σε μια μεγαλύτερη αλυσίδα διαχείρισης του αστικού κινδύνου, δίνοντας έμφαση μεταξύ άλλων στην πρόβλεψη φαινομένων θερμικής νησίδας ή πλημμυρικών επεισοδίων [64].

Η ενσωμάτωση του φωτισμού σε ενεργειακά δίκτυα διαχείρισης, συνιστά ένα ακόμη πεδίο συνεργασίας των υποδομών. Η δυνατότητα αποθήκευσης και κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καθώς και η συμμετοχή σε μηχανισμούς εξισορρόπησης του δικτύου, δίνει στον αστικό φωτισμό τη δυνατότητα να συμμετέχει στην ενεργειακή αυτονομία της πόλης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η σύνδεση του φωτισμού με τις πλατφόρμες έξυπνης διακυβέρνησης. Οι πληροφορίες από το δίκτυο φωτισμού, όταν συνδυάζονται με τα δεδομένα άλλων συστημάτων, όπως για παράδειγμα

απορριμμάτων, στάθμευσης, ύδρευσης, προσφέρουν ένα ενιαίο υπόβαθρο ανάλυσης και λήψης αποφάσεων, σε επίπεδο Δήμου. Η οπτικοποίηση αυτών των πληροφοριών σε ψηφιακούς χάρτες ή dashboards υποστηρίζει την καλύτερη κατανομή πόρων, την ταχύτερη απόκριση σε συμβάντα, αλλά και την ενίσχυση της διαφάνειας. Στο πλαίσιο αυτό, για να μπορέσουν οι διασυνδέσεις αυτές να πετύχουν απαιτείται εφαρμογή κοινών προτύπων διαλειτουργικότητας, όπως επίσης και ύπαρξη κατάλληλων πρωτοκόλλων ασφαλούς επικοινωνίας. Η αρχιτεκτονική του Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την οριζόντια ενοποίηση ετερογενών συστημάτων, ωστόσο απαιτείται θεσμική και τεχνική ωριμότητα ώστε να διασφαλίζεται η προστασία των δεδομένων, η αξιοπιστία των επικοινωνιών και η λειτουργική συνέπεια μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων [40].

5.9 Προβλήματα, κίνδυνοι και ευκαιρίες

Παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή των τεχνολογιών του Διαδίκτυο των Πραγμάτων στον αστικό φωτισμό προσφέρει εντυπωσιακά οφέλη, συνοδεύεται και από σημαντικές προκλήσεις. Η μετάβαση σε ένα ευφυές σύστημα φωτισμού απαιτεί την αντιμετώπιση τεχνικών, οργανωτικών, νομικών και κοινωνικών ζητημάτων που δύναται να παρεμποδίσουν ή να καθυστερήσουν την αποτελεσματική υλοποίησή του. Ταυτόχρονα, η αναγνώριση των ευκαιριών που προσφέρει μπορεί να λειτουργήσει ως στρατηγικός οδηγός για τη χάραξη καινοτόμων και συνάμα βιώσιμων πολιτικών [63].

Ένα από πρώτα ζητήματα που ανακύπτουν συνδέεται με την τεχνολογική πολυπλοκότητα και την ανάγκη για εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό. Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού απαιτούν ολοκληρωμένες υποδομές αισθητήρων, δικτύων επικοινωνίας, λογισμικού και πλατφορμών διαχείρισης. Η υλοποίηση και συντήρησή τους προϋποθέτει προσωπικό με τεχνικές γνώσεις υψηλού επιπέδου, το οποίο σε πολλές περιπτώσεις απουσιάζει από τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ιδιαίτερα στην περιφέρεια. Εξίσου σημαντικός είναι ο κίνδυνος κυβερνοασφάλειας, καθώς κάθε διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελεί δυνητικό στόχο κακόβουλων επιθέσεων. Η παραβίαση της πλατφόρμας φωτισμού μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε λειτουργικά προβλήματα ή ενεργειακές απώλειες, αλλά και σε κινδύνους για τη δημόσια ασφάλεια, όπως είναι για παράδειγμα η δημιουργία σκοτεινών περιοχών, αλλά και οι εσφαλμένες εντολές. Η εξασφάλιση κρυπτογραφημένων επικοινωνιών, ο έλεγχος πρόσβασης και η συνεχής αναβάθμιση του λογισμικού αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την ανθεκτικότητα του συστήματος [73].

Ένα ακόμη πεδίο προβληματισμού αποτελούν τα ζητήματα που άπτονται της προστασίας των δεδομένων και ιδιωτικότητας, ιδίως στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αισθητήρες κίνησης ή εικόνας για την αναγνώριση παρουσίας. Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών απαιτεί αυστηρή συμμόρφωση με το νομικό πλαίσιο (όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων – GDPR), καθώς και διαφανείς διαδικασίες ενημέρωσης και συναίνεσης του κοινού. Η απουσία διαχείρισης των ανησυχιών

αυτών μπορεί να οδηγήσει σε κοινωνική αντίδραση, αλλά και σε έλλειψη αποδοχής του συστήματος [67].

Πέρα όμως των παραπάνω προκλήσεων, σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζει και ο οικονομικός παράγοντας. Η εγκατάσταση ενός πλήρως έξυπνου φωτιστικού συστήματος συνεπάγεται σημαντικές αρχικές επενδύσεις. Η απόσβεση του κόστους απαιτεί μεσομακροπρόθεσμο σχεδιασμό και δυνατότητα άντλησης χρηματοδότησης από εθνικά, είτε ευρωπαϊκά προγράμματα. Οι μικρότεροι δήμοι, με περιορισμένους πόρους, συχνά δυσκολεύονται να ανταποκριθούν, εκτός αν δημιουργηθούν συνέργειες με τον ιδιωτικό τομέα ή εφαρμοστούν πρότυπα κοινών υπηρεσιών μεταξύ ευρύτερων περιοχών [67].

Παρά τις παραπάνω προκλήσεις, η αξιοποίηση του έξυπνου φωτισμού δημιουργεί σημαντικές ευκαιρίες για τον ψηφιακό μετασχηματισμό των πόλεων, υπό το πρίσμα της βιωσιμότητας. Η εξοικονόμηση ενέργειας, η βελτίωση της ασφάλειας, η δυνατότητα στρατηγικής διαχείρισης και η δημιουργία διαλειτουργικών υποδομών αποτελούν σημαντικά οφέλη με διαχρονικό αντίκτυπο, τόσο για τις ίδιες τις πόλεις, όσο και για τους κατοίκους τους.

Πλέον, ο φωτισμός παύει να αποτελεί ένα παθητικό τεχνικό σύστημα, αλλά μετατρέπεται σε «εργαλείο» ευφυούς διακυβέρνησης. Η επιτυχής υλοποίησης τέτοιου είδους έργων ενισχύει το τεχνολογικό προφίλ μιας πόλης, προσελκύοντας επενδύσεις, προάγοντας παράλληλα την καινοτομία στην τοπική οικονομία, ενώ προσφέρει ευκαιρίες για δημιουργία θέσεων εργασίας σε νέους τομείς, όπως η συντήρηση IoT συστημάτων, η ανάλυση δεδομένων και η διαχείριση ενεργειακών υπηρεσιών [73].

5.10 Επίλογος

Από το κεφάλαιο αυτό διαπιστώθηκε ο καθοριστικός ρόλος των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον αστικό φωτισμό, παρουσιάζοντας τόσο τις βασικές λειτουργίες όσο και τις δυνατότητες βελτιστοποίησης που προσφέρουν. Η μετάβαση από τον παραδοσιακό φωτισμό σε ευφυή, διασυνδεδεμένα συστήματα επιτρέπει την αποδοτικότερη χρήση ενέργειας, τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την ενίσχυση της ασφάλειας στους δημόσιους χώρους.

Παράλληλα, η αξιοποίηση αισθητήρων, μηχανισμών αυτοματισμού και απομακρυσμένων πλατφορμών διαχείρισης καθιστά τον φωτισμό ένα δυναμικό και εύκολα προσαρμόσιμο υποσύστημα της έξυπνης πόλης.

Συνολικά, ο έξυπνος φωτισμός αποδεικνύεται μια από τις πιο ώριμες και άμεσα εφαρμόσιμες λύσεις των έξυπνων πόλεων, προσφέροντας χειροπιαστά οφέλη και ανοίγοντας τον δρόμο για περαιτέρω ψηφιακό μετασχηματισμό. Με βάση τα συμπεράσματα αυτά, το επόμενο κεφάλαιο εξετάζει καλές πρακτικές από την Ελλάδα και την Ευρώπη, φωτίζοντας παραδείγματα που επιβεβαιώνουν τις

δυνατότητες και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων Διαδικτύου των Πραγμάτων στον σύγχρονο αστικό φωτισμό.

Κεφάλαιο 6ο: Καλές πρακτικές

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται καλές πρακτικές που προέρχονται τόσο από την Ελλάδα, όσο και από άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος της ανάδειξης των καλών αυτών πρακτικών αποτελεί η μελέτη ενσωμάτωσής τους στην ελληνική πραγματικότητα.

6.2 Καλές πρακτικές-Ευρώπη

Η εφαρμογή έξυπνου φωτισμού σε ευρωπαϊκές πόλεις αποτελεί ένα από τα πιο ώριμα πεδία αξιοποίησης του Διαδικτύου των Πραγμάτων στο πλαίσιο της στρατηγικής για τις «έξυπνες πόλεις», που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων, συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου και δυναμικής διαχείρισης, πολλές ευρωπαϊκές αστικές περιοχές κατάφεραν να βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα, να περιορίσουν τις εκπομπές άνθρακα, αλλά και γενικότερα να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών τους.

Η πόλη της Βαρκελώνης (Ισπανία), αποτελεί πρωτοπόρος σε ζητήματα «έξυπνων» υποδομών, έχοντας αναπτύξει μεταξύ άλλων ένα ολοκληρωμένο σύστημα έξυπνου φωτισμού, το οποίο καλύπτει χιλιάδες σημεία εντός πόλης. Τα φωτιστικά σώματα είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες περιβαλλοντικών παραμέτρων, κίνησης και θορύβου. Το δίκτυο επικοινωνεί με την πλατφόρμα Sentilo, η οποία επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση της έντασης φωτός, την ανίχνευση δυσλειτουργιών και την προσαρμογή ανάλογα με τις συνθήκες. Η εφαρμογή έχει οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας άνω του 30%, ενώ ενισχύθηκε και η αποδοτικότητα των υπηρεσιών συντήρησης [77].

Το Άμστερνταμ (Ολλανδία), έχει προβεί στην εφαρμογή πιλοτικών έργων έξυπνου φωτισμού σε περιοχές όπου υπάρχει υψηλή τουριστική και κοινωνική δραστηριότητα. Οι υποδομές φωτισμού ανταποκρίνονται αυτόματα στην ανθρώπινη παρουσία, όπως επίσης και στην κυκλοφορία, προσαρμόζοντας τη φωτεινότητα σε πραγματικό χρόνο. Οι πυλώνες φωτισμού λειτουργούν ως «έξυπνοι κόμβοι», φιλοξενώντας αισθητήρες ποιότητας αέρα, κάμερες και σημεία πρόσβασης Wi-Fi. Η πολυλειτουργικότητα των υποδομών συνέβαλε στην καλύτερη αξιοποίηση του δημόσιου χώρου και στην ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας [78].



Εικόνα 6-1: Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων φωτισμού στο Άμστερνταμ [78]

Η Κοπεγχάγη (Δανία), επιδιώκει να καταστεί η πρώτη ουδέτερη πρωτεύουσα σε εκπομπές άνθρακα, ήδη έως το τέλος του τρέχοντος έτους (2025). Στο πλαίσιο αυτό, έχει αναπτύξει εκτεταμένο σύστημα έξυπνου φωτισμού με περισσότερα από 20.000 LED φωτιστικά που διαχειρίζονται κεντρικά μέσω Διαδίκτυο των Πραγμάτων πλατφόρμας. Οι μονάδες διαθέτουν αισθητήρες φωτεινότητας και παρουσίας, ενώ επικοινωνούν με άλλες υποδομές, όπως τα δίκτυα μεταφορών και οι μετεωρολογικοί σταθμοί. Μέσω της πρωτοβουλίας αυτής, η πόλη πέτυχε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 50% στις σχετικές υποδομές, ενισχύοντας παράλληλα την αστική αισθητική και την ασφάλεια [79].

Το Μιλάνο (Ιταλία), αξιοποιώντας το έργο «Sharing Cities», εγκατέστησε έξυπνα φωτιστικά σε επιλεγμένα αστικά σημεία, με στόχο τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων κυκλοφορίας και περιβάλλοντος. Ο φωτισμός προσαρμόζεται βάσει πραγματικών αναγκών, ενώ τα δεδομένα αξιοποιούνται και για άλλες υπηρεσίες, όπως είναι η διαχείριση απορριμμάτων και η παρακολούθηση του μικροκλίματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαλειτουργικότητα των υποδομών, αποτέλεσε βασικό πλεονέκτημα του έργου αυτού [80].

Η Γλασκόβη (Ηνωμένο Βασίλειο), στο πλαίσιο του προγράμματος Future City Glasgow, προχώρησε στην εγκατάσταση δικτύου έξυπνου φωτισμού με αισθητήρες, οι οποίοι και καταγράφουν πληροφορίες

για την κίνηση των πεζών, την ορατότητα, αλλά και τις καιρικές συνθήκες. Οι ρυθμίσεις φωτισμού μεταβάλλονται αυτόματα, βελτιώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση και τη βιωσιμότητα του δημόσιου χώρου. Η εφαρμογή του συστήματος οδήγησε σε βελτίωση της ασφάλειας σε απομονωμένες περιοχές, ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες [81].

Τα ευρωπαϊκά παραδείγματα αποδεικνύουν ότι η επιτυχής εφαρμογή έξυπνου φωτισμού προϋποθέτει πέρα από την τεχνολογική επένδυση και έναν ολοκληρωμένο στρατηγικό σχεδιασμό, όπως επίσης και διεπιστημονική προσέγγιση και συμμετοχή των πολιτών. Οι εμπειρίες αυτές μπορούν να προσφέρουν πολύτιμα διδάγματα και για τις ελληνικές πόλεις, που φιλοδοξούν να ενταχθούν δυναμικά στην ευρωπαϊκή ψηφιακή και πράσινη μετάβαση που ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη.

6.3 Καλές πρακτικές-Ελλάδα

Η εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνου φωτισμού στην Ελλάδα βρίσκεται σε ανοδική τροχιά, με αρκετούς δήμους να υιοθετούν καινοτόμες λύσεις στο πλαίσιο του ψηφιακού και ενεργειακού μετασχηματισμού τους. Παρά τις υφιστάμενες διοικητικές και χρηματοδοτικές δυσκολίες, οι ελληνικές πόλεις αρχίζουν να αξιοποιούν συστήματα IoT με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, τη βελτίωση της λειτουργικότητας του φωτισμού και την αναβάθμιση της αστικής εμπειρίας [63].

Ο Δήμος Τρικκαίων, όντας πρωτοπόρος στις ψηφιακές εφαρμογές σε επίπεδο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, έχει προβεί στην εγκατάσταση έξυπνου συστήματος φωτισμού με τη χρήση LED και αισθητήρων κίνησης, θερμοκρασίας και φωτεινότητας. Τα φωτιστικά σώματα διασυνδέονται με κεντρική πλατφόρμα ελέγχου και ρυθμίζονται δυναμικά, με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της νυχτερινής ασφάλειας. Το έργο υλοποιήθηκε με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αποτελεί παράδειγμα αξιοποίησης ευρωπαϊκών εργαλείων για ψηφιακές και πράσινες υποδομές [82].

Ο Δήμος Θεσσαλονίκης έχει ξεκινήσει την σταδιακή αναβάθμιση του δικτύου φωτισμού της, προβαίνοντας στην αντικατάσταση των παλαιών λαμπτήρων με έξυπνα LED συστήματα, καθώς και στην πιλοτική εφαρμογή αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης σε επιλεγμένες περιοχές. Η πόλη συμμετέχει σε ερευνητικά έργα συνεργασίας με ακαδημαϊκά ιδρύματα, διερευνώντας τη δυνατότητα σύνδεσης του φωτισμού με δεδομένα κυκλοφορίας, ποιότητας αέρα και περιβαλλοντικών συνθηκών [83].

Ο Δήμος Καλαμάτας, στο πλαίσιο του σχεδίου του για τον μετασχηματισμό του σε έξυπνη και συνάμα βιώσιμη πόλη έχει προβεί σε έργο αντικατάσταση του δημοτικού φωτισμού με τεχνολογία LED, εφαρμόζοντας ταυτόχρονα σύστημα τηλεδιαχείρισης. Η λειτουργία στηρίζεται σε απομακρυσμένο έλεγχο και επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης, την άμεση ανίχνευση βλαβών, αλλά και την εφαρμογή προφίλ φωτισμού κατά περιοχή. Το σύστημα συνδέεται με άλλες αστικές υποδομές, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητα στις τοπικές ανάγκες [84].

Αντίστοιχες πρωτοβουλίες έχουν υλοποιηθεί και από τον Δήμο Ρεθύμνου, ο οποίος προχώρησε στην εφαρμογή πιλοτικού έργου έξυπνου φωτισμού στο ιστορικό κέντρο της πόλης. Οι φωτιστικές μονάδες συνδυάζουν αισθητήρες κίνησης με δυναμική ρύθμιση φωτεινότητας, λαμβάνοντας υπόψη την τουριστική δραστηριότητα, τις εποχικές ανάγκες και τον σεβασμό στο παραδοσιακό αρχιτεκτονικό περιβάλλον. Η προσέγγιση του Δήμου συνδυάζει την τεχνολογία με την πολιτιστική διαχείριση του δημόσιου χώρου [84].

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει και στον Δήμο Αθηναίων, ο οποίος υλοποιεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό βελτίωσης, αναβάθμισης και εκσυγχρονισμού του αστικού φωτισμού, έτσι ώστε να υπάρξει κάλυψη όλου του δικτύου με LED δημιουργώντας δίκτυο απομακρυσμένου ελέγχου μέσω Διαδικτύου των Πραγμάτων. Το έργο αυτό περιλαμβάνει καινοτόμα χαρακτηριστικά όπως η σύνδεση του φωτισμού με πλατφόρμες έξυπνης διακυβέρνησης και η δυνατότητα διαλειτουργικότητας με δίκτυα κινητικότητας και πολιτικής προστασίας [63]. Τα παραδείγματα αυτά αποδεικνύουν ότι η Ελλάδα διαθέτει τις τεχνολογικές, θεσμικές, αλλά και κοινωνικές προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή λύσεων έξυπνου φωτισμού. Η εμπειρία των ελληνικών δήμων επιβεβαιώνει τη σημασία του συνδυασμού τεχνολογικής καινοτομίας, συνεργασιών με φορείς έρευνας και στρατηγικού σχεδιασμού για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος.

6.4 Παράγοντες επιτυχίας και προϋποθέσεις εφαρμογής

Η επιτυχής εφαρμογή συστημάτων έξυπνου φωτισμού βασισμένων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων προϋποθέτει τη συνύπαρξη τεχνολογικών, θεσμικών, οργανωτικών και κοινωνικών παραγόντων. Η εγκατάσταση των τεχνολογικών υποδομών είναι αναγκαία, αλλά σε κάθε περίπτωση απαιτείται μια ολιστική προσέγγιση, η οποία συνδυάζει τον σχεδιασμό, την διοικητική ικανότητα, όπως επίσης και την κοινωνική αποδοχή [64].

Βασικός παράγοντας επιτυχίας είναι η ύπαρξη στρατηγικού σχεδιασμού και σαφούς οράματος από την Τοπική Αυτοδιοίκηση. Οι Δήμοι που έχουν θέσει ως προτεραιότητα τη μετάβαση σε έξυπνες πόλεις και έχουν εντάξει τον φωτισμό σε ευρύτερα σχέδια βιώσιμης ανάπτυξης επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα. Ο σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει ρεαλιστικά χρονοδιαγράμματα, σαφείς στόχους εξοικονόμησης, σταδιακή υλοποίηση και ευελιξία προσαρμογής στις τεχνολογικές εξελίξεις. Εξίσου κρίσιμη είναι η εξασφάλιση χρηματοδότησης και βιώσιμου μοντέλου επένδυσης. Τα έργα έξυπνου φωτισμού απαιτούν αρχικά υψηλό κεφαλαιουχικό κόστος, που συχνά υπερβαίνει τις δυνατότητες μικρότερων δήμων. Η πρόσβαση σε εθνικά και ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά εργαλεία, όπως για παράδειγμα είναι το ΕΣΠΑ, το Ταμείο Ανάκαμψης, τα προγράμματα Horizon, αλλά και η σύναψη Συμπράξεων Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα μπορεί να επιτρέψει τη σταδιακή απόσβεση της επένδυσης μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας [63].

Απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλου ανθρώπινου δυναμικού, αλλά και τεχνική επάρκεια αυτού. Η διαχείριση και η συντήρηση των έξυπνων υποδομών απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, ικανό να διαχειρίζεται συστήματα πληροφορικής, επικοινωνιών και αυτοματισμών. Η συνεχής επιμόρφωση των τεχνικών υπηρεσιών των δήμων και η συνεργασία με πανεπιστήμια μπορούν να καλύψουν αυτό το κρίσιμο κενό. Είναι αναγκαίο να υπάρχει διαλειτουργικότητα και συμβατότητα με υφιστάμενα συστήματα. Η επιλογή ανοικτών προτύπων και κοινών πρωτοκόλλων επικοινωνίας επιτρέπει τη συνεργασία διαφορετικών τύπων συσκευών και τη μελλοντική αναβάθμιση ή επέκταση του συστήματος. Ένα απομονωμένο και κλειστό τεχνολογικά σύστημα ενέχει τον κίνδυνο τεχνικής απαξίωσης ή εξάρτησης από έναν μόνο προμηθευτή, γεγονός που αυξάνει την ευαλωτότητα του.

Σημαντικός είναι επίσης ο παράγοντας ασφάλειας και προστασίας δεδομένων. Τα συστήματα έξυπνου φωτισμού, ως τμήμα του ευρύτερου IoT οικοσυστήματος, πρέπει να πληρούν ελάχιστες προδιαγραφές κυβερνοασφάλειας, να προστατεύουν την ακεραιότητα και εμπιστευτικότητα των δεδομένων, και να συμμορφώνονται με το θεσμικό πλαίσιο περί ιδιωτικότητας (GDPR).

Καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία είναι η κοινωνική αποδοχή, αλλά και η ενεργή συμμετοχή των πολιτών. Η έλλειψη διαφάνειας ή πληροφόρησης μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις, ιδίως όταν πρόκειται για αισθητήρες παρακολούθησης ή αλλαγές στη χρήση του δημόσιου φωτισμού. Η υιοθέτηση συμμετοχικών μοντέλων σχεδιασμού, η διαρκής ενημέρωση και η ενσωμάτωση των αναγκών των κατοίκων ενισχύουν την αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα των παρεμβάσεων [63].

6.5 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν αντιπροσωπευτικές καλές πρακτικές εφαρμογής έξυπνου φωτισμού τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο οι τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά στο αστικό περιβάλλον. Τα παραδείγματα που εξετάστηκαν καταδεικνύουν ότι ο επιτυχημένος ψηφιακός μετασχηματισμός δεν εξαρτάται μόνο από την υιοθέτηση σύγχρονου εξοπλισμού, αλλά από μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει στρατηγικό σχεδιασμό, θεσμική προετοιμασία και ενεργό συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων.

Η συγκριτική ανάλυση των πρακτικών υπογραμμίζει ότι ο έξυπνος φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει ως αφετηρία για ευρύτερες παρεμβάσεις στις έξυπνες πόλεις, καθώς αποτελεί ένα ώριμο και αποδεδειγμένα αποδοτικό πεδίο εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, το επόμενο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη διατύπωση συνολικών συμπερασμάτων και προτάσεων, συνοψίζοντας τα βασικά σημεία της έρευνας και

προσδιορίζοντας κατευθύνσεις για τη μελλοντική αξιοποίηση των τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων στον αστικό φωτισμό και πέραν αυτού.

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα-Προτάσεις

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη δυναμική και τις πολυεπίπεδες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στο πλαίσιο των έξυπνων πόλεων, με ιδιαίτερη έμφαση στον τομέα του αστικού φωτισμού. Μέσω της ανάλυσης αυτής, διαπιστώθηκε ότι δεν πρόκειται απλώς για μια τεχνολογική καινοτομία, αλλά για μια στρατηγική επιλογή μετάβασης σε περισσότερο βιώσιμες, αποδοτικές και συνάμα ανθρωποκεντρικές πόλεις.

Τα συστήματα έξυπνου φωτισμού αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα αξιοποίησης του Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, της λειτουργικότητας των υποδομών και της ποιότητας ζωής των πολιτών. Μέσα από τεχνολογίες όπως οι είναι αισθητήρες κίνησης, οι πλατφόρμες απομακρυσμένης διαχείρισης, η προληπτική συντήρηση και η δυναμική προσαρμογή της φωτεινότητας, οι πόλεις αποκτούν τη δυνατότητα να περιορίσουν δραστικά την ενεργειακή τους κατανάλωση, να ενισχύσουν την ασφάλεια, αλλά και να βελτιστοποιήσουν την εμπειρία του δημοσίου χώρου.

Τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν από την Ευρώπη και την Ελλάδα έδειξαν ότι, παρότι η τεχνολογία είναι ώριμη και διαθέσιμη, η επιτυχία των έργων εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι η πολιτική βούληση, ο στρατηγικός σχεδιασμός, η διαλειτουργικότητα, η εξασφάλιση χρηματοδότησης, η τεχνική επάρκεια, αλλά και η ίδια η συμμετοχή των πολιτών. Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί στις ηθικές και νομικές προκλήσεις που προκύπτουν, όπως είναι η προστασία της ιδιωτικότητας, η κυβερνοασφάλεια, αλλά και η διαφανής χρήση των δεδομένων. Από την εργασία αυτή συνάγεται ότι ο έξυπνος φωτισμός μπορεί να αποτελέσει ιδανικό σημείο εκκίνησης για την σταδιακή ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγματικών στο αστικό περιβάλλον, καθώς συνδυάζει χαμηλό κοινωνικό ρίσκο, ορατά αποτελέσματα, καθώς και δυνατότητες άμεσης εξοικονόμησης. Αποτελεί, επίσης, πλατφόρμα υποδοχής και άλλων λειτουργιών, όπως αισθητήρων περιβάλλοντος, σταθμών φόρτισης και σημείων ψηφιακής πληροφόρησης.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν, προτείνεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής για την εφαρμογή IoT στον αστικό φωτισμό, όπου θα υπάρχουν ενιαίες προδιαγραφές, κατευθύνσεις, αλλά και πρότυπα διαλειτουργικότητας, προκειμένου να αποφεύγονται αποσπασματικές και ασύμβατες εφαρμογές μεταξύ των δήμων. Προτείνεται να υπάρξει χρηματοδοτική ενίσχυση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ιδίως μέσω ευρωπαϊκών προγραμμάτων και «πράσινων» επενδυτικών εργαλείων, μέσω των οποίων θα μπορέσει να υπάρξει υλοποίηση έργων έξυπνου φωτισμού, επιδιώκοντας μακροχρόνια εξοικονόμηση. Εξίσου σημαντικό είναι να γίνουν οι κατάλληλες επενδύσεις στην εκπαίδευση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού, προκειμένου οι τεχνικές υπηρεσίες των ΟΤΑ να μπορούν να διαχειριστούν τα νέα συστήματα με επάρκεια, αλλά και αυτονομία. Απαιτείται θεσμική ενίσχυση της προστασίας των δεδομένων, επιδιώκοντας αυστηρή συμμόρφωση προς τον GDPR και σαφείς πολιτικές

διαχείρισης των πληροφοριών που συλλέγονται από τις υποδομές του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Σημαντικός είναι ο ρόλος της συμμετοχής των πολιτών στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των έργων, μέσω δημόσιας διαβούλευσης, ψηφιακών εργαλείων αναφοράς, καθώς και διαφανών δεικτών απόδοσης.

Ο έξυπνος φωτισμός μέσω του Διαδίκτυο των Πραγμάτων δεν αποτελεί μια τεχνοκρατική προσθήκη, αλλά έναν πυρήνα αστικής καινοτομίας με πολιτική, κοινωνική και περιβαλλοντική διάσταση. Η αξιοποίησή του μπορεί να λειτουργήσει ως υπόδειγμα για τον τρόπο με τον οποίο οι νέες τεχνολογίες μπορούν να ενσωματωθούν δημιουργικά στον αστικό ιστό, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα, αλλά και τη δημοκρατία στην πόλη του μέλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bunz, M., & Meikle, G. (2017). *The internet of things*. John Wiley & Sons.
- [2] Färber, M., Svetashova, Y., & Harth, A. (2021). Theories of Meaning for the Internet of Things. *Concepts in Action: Representation, Learning, and Application*, 37-61.
- [3] Motlagh, H. N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, 13(2), 494.
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] Cofta, P., Karatzas, K., & Orłowski, C. (2021). A conceptual model of measurement uncertainty in iot sensor networks. *Sensors*, 21(5), 1827.
- [7] Ait Mouha, R. A. R. (2021). Internet of things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9(02), 77.
- [8] Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(1), 41-44.
- [9] Laghari, A. A., Wu, K., Laghari, R. A., Ali, M., & Khan, A. A. (2021). A review and state of art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-19.
- [10] Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173
- [11] Saqlain, J. (2018). *IoT and 5G: History evolution and its architecture their compatibility and future*.
- [12] Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I. (2019). The history, present and future with IoT. *Internet of things and big data analytics for smart generation*, 27-51.
- [13] Darmois, E., Radócz, R., Malo, P., Presser, M., & Ziegler, S. (2023). IoT Brief History. In *Springer Handbook of Internet of Things* (pp. 3-31). Cham: Springer International Publishing.
- [14] Jabraeil Jamali, M. A., Bahrami, B., Heidari, A., Allahverdzadeh, P., Norouzi, F., Jabraeil Jamali, M. A., ... & Norouzi, F. (2020). IoT architecture. *Towards the Internet of Things: Architectures, Security, and Applications*, 9-31
- [15] Al-Qaseemi, S. A., Almulhim, H. A., Almulhim, M. F., & Chaudhry, S. R. (2016, December). IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization. In *2016 Future technologies conference (FTC)* (pp. 731-738). IEEE.
- [16] Gowda, V. D., Annepu, A., Ramesha, M., Kumar, K. P., & Singh, P. (2021, November). IoT enabled smart lighting system for smart cities. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2089, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.

- [17] Uviase, O., & Kotonya, G. (2018). IoT architectural framework: connection and integration framework for IoT systems. *arXiv preprint arXiv:1803.04780*.
- [18] Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017, May). Internet of Things (IoT) communication protocols. In *2017 8th International conference on information technology (ICIT)* (pp. 685-690). IEEE.
- [19] Wukkadada, B., Wankhede, K., Nambiar, R., & Nair, A. (2018, July). Comparison with HTTP and MQTT in Internet of Things (IoT). In *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 249-253). IEEE.
- [20] Naidu, G. A., & Kumar, J. (2019). Wireless protocols: Wi-fi son, bluetooth, zigbee, z-wave, and wi-fi. In *Innovations in Electronics and Communication Engineering: Proceedings of the 7th ICIECE 2018* (pp. 229-239). Springer Singapore.
- [21] Konduru, V. R., & Bharamagoudra, M. R. (2017, August). Challenges and solutions of interoperability on IoT: How far have we come in resolving the IoT interoperability issues. In *2017 international conference on smart technologies for smart nation (SmartTechCon)* (pp. 572-576). IEEE.
- [22] Ugwuanyi, S., Paul, G., & Irvine, J. (2021). Survey of IoT for developing countries: Performance analysis of LoRaWAN and cellular NB-IoT networks. *Electronics*, *10*(18), 2224.
- [23] Gupta, B. B., & Quamara, M. (2020). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, *32*(21), e4946.
- [24] Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, *13*(2), 494
- [25] Kumar, M., Kumar, A., Verma, S., Bhattacharya, P., Ghimire, D., Kim, S. H., & Hosen, A. S. (2023). Healthcare Internet of Things (H-IoT): Current trends, future prospects, applications, challenges, and security issues. *Electronics*, *12*(9), 2050
- [26] Shafique, K., Khawaja, B. A., Sabir, F., Qazi, S., & Mustaqim, M. (2020). Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios. *IEEE access*, *8*, 23022-23040.
- [27] Kirillova, E. A., Bogdan, V. V., Larina, O. G., Filippov, P. M., & Tkachev, V. N. (2021). The Internet of things: Trends and development prospects. *Management*.
- [28] Alnumay, W. S. (2024). The past and future trends in IoT research. *National journal of antennas and propagation*, *6*(1), 13-22.
- [29] Abdullahi, M., Baashar, Y., Alhussian, H., Alwadain, A., Aziz, N., Capretz, L. F., & Abdulkadir, S. J. (2022). Detecting cybersecurity attacks in internet of things using artificial intelligence methods: A systematic literature review. *Electronics*, *11*(2), 198.
- [30] Admass, W. S., Munaye, Y. Y., & Diro, A. A. (2024). Cyber security: State of the art, challenges and future directions. *Cyber Security and Applications*, *2*, 100031.
- [31] Cremer, F., Sheehan, B., Fortmann, M., Kia, A. N., Mullins, M., Murphy, F., & Materne, S. (2022). Cyber risk and cybersecurity: a systematic review of data availability. *The Geneva papers on risk and insurance. Issues and practice*, *47*(3), 698.

- [32] Florackis, C., Louca, C., Michaely, R., & Weber, M. (2023). Cybersecurity risk. *The Review of Financial Studies*, 36(1), 351-407.
- [33] Diène, B., Rodrigues, J. J., Diallo, O., Ndoye, E. H. M., & Korotaev, V. V. (2020). Data management techniques for Internet of Things. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106564
- [34] Ahad, M. A., Tripathi, G., Zafar, S., & Doja, F. (2020). IoT data management—Security aspects of information linkage in IoT systems. *Principles of internet of things (IoT) ecosystem: Insight paradigm*, 439-464.
- [35] Albouq, S. S., Abi Sen, A. A., Almashf, N., Yamin, M., Alshantqi, A., & Bahbouh, N. M. (2022). A survey of interoperability challenges and solutions for dealing with them in IoT environment. *IEEE Access*, 10, 36416-36428.
- [36] Zhang, W., Fang, W., Zhao, Q., Ji, X., & Jia, G. (2020). Energy Efficiency in Internet of Things: An Overview. *Computers, Materials & Continua*, 63(2).
- [37] Mao, W., Zhao, Z., Chang, Z., Min, G., & Gao, W. (2021). Energy-efficient industrial internet of things: Overview and open issues. *IEEE transactions on industrial informatics*, 17(11), 7225-7237.
- [38] Naik, N., Hameed, B. M., Shetty, D. K., Swain, D., Shah, M., Paul, R., ... & Somani, B. K. (2022). Legal and ethical consideration in artificial intelligence in healthcare: who takes responsibility?. *Frontiers in surgery*, 9, 862322.
- [39] Dhirani, L. L., Mukhtiar, N., Chowdhry, B. S., & Newe, T. (2023). Ethical dilemmas and privacy issues in emerging technologies: A review. *Sensors*, 23(3), 1151
- [40] Χαραλαμπίδης, Ι., Λαχανά, Ζ., Θεοχαροπούλου, Χ., Βογιατζής, Ν. (2022). Ψηφιακή Διακυβέρνηση στην Τοπική Αυτοδιοίκηση. Αθήνα: Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΙΤΑ).
- [41] Anthopoulos, L. (2019). *Smart City Emergence: Cases From Around the World*, Eslevier: Amsterdam, The Netherlands.
- [42] Anthopoulos, L. (2019). *Smart City Emergence: Cases From Around the World*, Eslevier: Amsterdam, The Netherlands.
- [43] Barriga, J.J., Sulca, J., Leon, J.L., Ulloa, A., Portero, D., Andrade, R., Yoo, S.G. (2019). Smart Parking: A Literature Review from the Technological Perspective. *Applied Sciences*, 1-34.
- [44] Castelnovo, W., Misuraca, G., Savoldelli, A. (2015). Smart Cities Governance-the Need for a Holistic Approach to Assessing Urban Participatory Policy Making. *Social Science Computer Review*, 34(6), 724-739.
- [45] Kiritat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE access*, 8, 86448-86467.
- [46] Mennella, C., Maniscalco, U., De Pietro, G., & Esposito, M. (2024). Ethical and regulatory challenges of AI technologies in healthcare: A narrative review. *Heliyon*, 10(4).
- [47] Οικονόμου, Δ. (2021). *Έξυπνες Πόλεις και Αστική Αναγέννηση*. Πειραιάς: Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων-Διάλεξη στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής & Επικοινωνιών».

- [48] Sharingcities (2020). *Smart booklet-Sustainable Energy Management System-Towards an energy positive district*. Διαθέσιμο στο: https://sharingcities.eu/wp-content/uploads/sites/6/2022/07/2020_Booklets_SEMS_Final2.pdf [Πρόσβαση 11 Ιουνίου 2025].
- [49] Liu, L., & Zhang, Y. (2021). Smart environment design planning for smart city based on deep learning. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101425.
- [50] Achmad, K., Nugroho, L., Djunaedi, A., Widyawan, W. (2018). Smart City Readiness based on Smart City Council's Readiness Framework. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(1), 271-279.
- [51] Anthopoulos, L. (2017). Understanding Smart Cities: A tool of Smart government or and Industrial Trick? *Public Administration and Information Technology 22*, The Rise of the Smart City, Chapter 2,3,5, Springer International Publishing AG 2017.
- [52] Albino, V., Berardi, U., Dangelico, R.M. (2015). "Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives", *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21.
- [53] Alexopoulos, C., Charalabidis, Y., Vogiatzis, N., Kolokotronis, D.E. (2018). *A Taxonomy for Analysing Smart Cities Developments in Greece*. ICEGOV '18: Proceedings of the 11th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance April 2018. 537–549.
- [54] Deloitte (2023). *Define Your Smart City Strategy*. Διαθέσιμο στο: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/solutions/smart-cities-strategies.html> [Πρόσβαση 1 Ιουνίου 2025].
- [55] Deloitte-ΣΕΒ (2022). *Από το Κράτος 0.2. στο Κράτος 2.0-Τα οφέλη του ψηφιακού μετασχηματισμού του Δημοσίου Τομέα*. Αθήνα: Deloitte-ΣΕΒ. Διαθέσιμο στο: https://www.sev.org.gr/wp-content/uploads/2022/06/State_2.0.pdf [Πρόσβαση 1 Ιουνίου 2025].
- [56] Escobar, F., Almeida, W., Varajao, J. (2023). Digital transformation success in the public sector. *Information Polity*, 28(1), 61-81.
- [57] IBM (2010). *Institute for Business Value*. "Smarter cities for smarter growth", Executive Repot.
- [58] Kola-Bezka, M., Czupich, M., Ignasiak-Szulc, A. (2016). Smart cities in Central and Eastern Europe: Viable future or unfulfilled dream? *Journal of International Studies*, 9(1), 76-87.
- [59] Manoharan, A.P., Melitski, J., Holzer, M. (2022). Digital Governance: An Assessment of Performance and Best Practices. *Public Organization Review*, 23, 265-283.
- [60] Meijer, A. & Bolivar, M.P.R. (2016). Governing the Smart City: a Review of the Literature on Smart Urban Governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392-408.
- [61] Przebylłowicz, E., Cunha, M.A., Tomor, Z. (2017). Identifying Essential Organizational Characteristics for Smart Urban Governance. *Proceedings of the 18th Annual International Conference on "Digital Government Research"*, 416-425.
- [62] Smith, A. & Martin, P.P. (2022). Going beyond the smart city? Implementing technopolitical platforms for urban democracy in Madrid and Barcelona. *Sustainable Smart City Transitions*.
- [63] Καθρέπτης, Μ. & Κωνσταντινίδης, Σ. (2022). *Έξυπνες πόλεις ως εργαλείο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων-Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Κλιματική-Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (MSc

in Climate Crisis and Information and Communication Technologies)-Μάθημα: Έξυπνο Δημόσιο-Ψηφιακή Διακυβέρνηση.

[64] Πανεπιστήμιο Αιγαίου-ΕΛΙΑΜΕΠ (2022). *Ψηφιακή Διακυβέρνηση στην Τοπική Αυτοδιοίκηση-Μελέτη των δικτυακών τόπων των Δήμων της Ελλάδας*. Αθήνα: Παρατηρητήριο Περιφερειακών Πολιτικών-Πανεπιστήμιο Αιγαίου-ΕΛΙΑΜΕΠ.

[65] Ojo, A. & Millard, J. (Eds.) (2017). *Government 3.0-Next Generation Government Technology Infrastructure and Services: Roadmaps, Enabling Technologies & Challenges (Vol, 32)*, Springer.

[66] Ateş, M. (2024). The Relationship between Smart Cities, Urban Resilience and Sustainability: Implications for Urban Planning. *Journal of Planning Architecture and Design*, 2(1-2), 1-19.

[67] Visvizi, A., & Troisi, O. (Eds.). (2022). *Managing smart cities: Sustainability and resilience through effective management*. Springer Nature.

[68] Masik, G., Sagan, I., & Scott, J. W. (2021). Smart City strategies and new urban development policies in the Polish context. *Cities*, 108, 102970.

[69] Esposito, G., Clement, J., Mora, L., & Crutzen, N. (2021). One size does not fit all: Framing smart city policy narratives within regional socio-economic contexts in Brussels and Wallonia. *Cities*, 118, 103329.

[70] Lee, J., Babcock, J., Pham, T. S., Bui, T. H., & Kang, M. (2023). Smart city as a social transition towards inclusive development through technology: A tale of four smart cities. *International Journal of Urban Sciences*, 27(sup1), 75-100.

[71] Bachanek, K. H., Tundys, B., Wiśniewski, T., Puzio, E., & Maroušková, A. (2021). Intelligent street lighting in a smart city concepts—A direction to energy saving in cities: An overview and case study. *Energies*, 14(11), 3018.

[72] Zielinska-Dabkowska, K. M. (2022). Healthier and environmentally responsible sustainable cities and communities. A new design framework and planning approach for urban illumination. *Sustainability*, 14(21), 14525.

[73] Zisis, G., Dupuis, P., Canale, L., & Pigenet, N. (2022). Smart lighting systems for smart cities. In *Holistic Approach for Decision Making Towards Designing Smart Cities* (pp. 75-92). Cham: Springer International Publishing.

[74] Chiradeja, P., & Yoomak, S. (2023). Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (IoT) technologies for smart city. *Energy Reports*, 10, 3355-3372.

[75] Ahmed, M. A., Chavez, S. A., Eltamaly, A. M., Garces, H. O., Rojas, A. J., & Kim, Y. C. (2022). Toward an intelligent campus: IoT platform for remote monitoring and control of smart buildings. *Sensors*, 22(23), 9045.

[76] Khemakhem, S., & Krichen, L. (2024). A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. *Franklin Open*, 8, 100142.

[77] Chen, Z., Sivaparthipan, C. B., & Muthu, B. (2022). IoT based smart and intelligent smart city energy optimization. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49, 101724.

[78] Al-Obaidi, K. M., Hossain, M., Alduais, N. A., Al-Duais, H. S., Omrany, H., & Ghaffarianhoseini, A. (2022). A review of using IoT for energy efficient buildings and cities: A built environment perspective. *Energies*, 15(16), 5991.

- [79] Sumartojo, S. (Ed.). (2022). *Lighting design in shared public spaces*. London, UK: Routledge.
- [80] Kanani Khameneh, L. (2023). The state of the art of Smart City projects in Europe and Italy.
- [81] Chesher, C., Hanchard, M., Humphry, J., Merrington, P., Gangneux, J., Joss, S., ... & Wessels, B. (2023). Discovering smart: Early encounters and negotiations with smart street furniture in London and Glasgow. *Digital Geography and Society*, 4, 100055
- [82] Δήμος Τρικκαίων (2016). *Συστήματα Έξυπνου Φωτισμού*. Διαθέσιμο στο: <https://trikalacity.gr/systima-exypnoy-fotismoy/> [Πρόσβαση 30 Ιουνίου 2025].
- [83] Kapiki, S. (2021). Smart city and IoT technologies enabling smart tourism: the case of Greece. *Book" Higher Education in Smart City Technologies: European, Kazakh, Mongolian, Russian Universities Approach*.
- [84] Glaroudis, D., Sampsonidou, A., & Papaioannou, E. (2025, May). Smart Cities, IoT, and e-Government: Applications in Greek Municipalities. In *Proceedings* (Vol. 111, No. 1, p. 26). MDPI.

