



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**Η μετάβαση από το 5G στο 6G και η εφαρμογή του στις
έξυπνες πόλεις με σκοπό την μείωση εκπομπών διοξειδίου
του άνθρακα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαδοπούλου Βασιλεία
icsdm522016

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Κορμέντζας

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής: Κορμέντζας Γεώργιος
Σκιάνης Χαράλαμπος
Σκούτας Δημήτριος

Σάμος, [01/2024]

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η πορεία της τεχνολογίας εξελίσσεται με εκπληκτικό ρυθμό, διαμορφώνοντας τον τρόπο που ζούμε και αλληλεπιδρούμε με το περιβάλλον μας. Με την εμφάνιση του 5G, μπήκαμε σε μια νέα εποχή επικοινωνίας, ανοίγοντας τον δρόμο για εξελίξεις που θα επηρεάσουν την καθημερινότητά μας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην αναζήτηση της επόμενης φάσης της εξέλιξης, με τη μελέτη της μετάβασης από το 5G στο 6G. Ενδιαφερόμαστε, όχι μόνο για το πώς αυτή η τεχνολογική πρόοδος επηρεάζει την κοινωνία μας, αλλά και για το πώς μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε για τη δημιουργία βιώσιμων, έξυπνων πόλεων.

Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία 6G μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της εφαρμογής της σε έξυπνες πόλεις. Μέσα από την εξερεύνηση αυτής της θεματολογίας, επιδιώκουμε να συνεισφέρουμε στην κατανόηση του πώς η επόμενη γενιά των επικοινωνιακών δικτύων μπορεί να διαμορφώσει ένα πιο βιώσιμο και έξυπνο αύριο.

Με αυτόν τον τρόπο, η παρούσα έρευνα ελπίζει να προσφέρει μια προοπτική για το πώς η τεχνολογία μπορεί να γίνει ένα ισχυρό εργαλείο για την προώθηση της πράσινης ανάπτυξης και της προοπτικής μιας πιο βιώσιμης κοινωνίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με τίτλο “Πληροφοριακά και επικοινωνιακά συστήματα” του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας μου, κύριο Κορμέντζα Γεώργιο για την εξαιρετική συνεργασία καθώς και όσους βοήθησαν για την ολοκλήρωση της.

© 2024

Βασιλεία Παπαδοπούλου

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	13
1.1	Έξυπνες πόλεις: Αειφόρος ανάπτυξη και μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	13
1.2	Μείωση εκπομπών CO ₂ στις έξυπνες πόλεις: Προκλήσεις και ευκαιρίες με την εφαρμογή του 6G	13
1.3	Σκοπός και σημασία της έρευνας	14
1.4	Δομή της εργασίας	14
2	Η εξέλιξη από το 1G στο 5G	15
2.1	Επισκόπηση των γενεών κινητής τηλεφωνίας	15
2.2	Τεχνολογικές καινοτομίες και προκλήσεις κάθε γενιάς	16
2.2.1	Η 4 ^η γενιά, 4G	19
2.2.2	Η 5 ^η γενιά, 5G	21
2.2.3	Η 6 ^η γενιά, 6G	23
2.3	Το 5G ως τελευταία εξέλιξη και οι δυνατότητες που προσφέρει	26
3	Μετάβαση από το 5G στο 6G	30
3.1	Ανάλυση αναγκών και προκλήσεων που οδηγούν στην ανάπτυξη του 6G	30
3.2	Κύριες τεχνολογικές προδιαγραφές και χαρακτηριστικά του 6G	36
3.3	Εφαρμογές και προοπτικές του 6G στις έξυπνες πόλεις	38
3.4	Πλεονεκτήματα και προκλήσεις της μετάβασης από το 5G στο 6G	38
4	Αρχές και τεχνολογίες του 6G	42
4.1	Εξήγηση των βασικών αρχών και χαρακτηριστικών του 6G	42
4.2	Ανασκόπηση των πιθανών τεχνολογιών που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο 6G	48
4.3	Πώς οι τεχνολογίες του 6G μπορούν να εφαρμοστούν στις έξυπνες πόλεις για τη μείωση των εκπομπών CO ₂	53
5	Έξυπνες πόλεις και μείωση εκπομπών CO₂	65
5.1	Τι είναι οι έξυπνες πόλεις και πώς λειτουργούν	65
5.2	Industry 4.0 και Έξυπνες πόλεις	67
5.3	Ανάλυση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι έξυπνες πόλεις στη μείωση των εκπομπών CO ₂	68
5.4	Ψηφιακές Λύσεις για την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση και Αειφορία στις Κτηματομεσιτικές Υπηρεσίες: Προκλήσεις και Προοπτικές	71

5.5	Εξέταση προηγμένων τεχνολογιών, πιλοτικών έργων ή πρακτικών παραδειγμάτων που μπορούν να υιοθετηθούν για τη μείωση των εκπομπών CO ₂ στις έξυπνες πόλεις.....	75
5.6	Ο Ρόλος των δικτύων 5G και 6G στη δημιουργία βιώσιμων και ενεργειακά αποδοτικών έξυπνων πόλεων	88
5.7	Επίδραση των Δικτύων 6G στις Έξυπνες Πόλεις: Μια Προσέγγιση προς τη Βιωσιμότητα.....	100
5.8	Oktett64.....	105
6	Ανάλυση περιπτώσεων μελέτης.....	111
6.1	Εφαρμογή του IoT χρησιμοποιώντας το Arduino.....	111
7	Συμπεράσματα	116
	Βιβλιογραφία	118

Ακρωνύμια

0G	0 Generation	Kbps	Kilobits per second
1G	1 Generation	ML	Machine Learning
2G	2 Generation	M2M	Machine-to-Machine
3G	3 Generation	mMTC	Massive Machine Type Telecommunications
4G	4 Generation	MHz	Megahertz
5G	5 Generation	MEC	Mobile Edge Computing
AP	Access Point	GSM	Mobile Switching Center
AMTS	Advanced Mobile Telephone Service	MIMO	Multiple Input Multiple Output
AI	Artificial Intelligence	NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
AI	Artificial Intelligence	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
BSC	Base Station Controller	ITU	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
BCI	Brain Computer Interface	QoS	Quality of Service
CO ₂	Carbon Dioxide	SMS	Short Message Service
CDMA	Code Division Multiple Access	SaaS	Software as a Service
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	SDG	Sustainable Development Goals
XR	Extended Reality	THz	Terahertz
FTTB	Fiber to the Building	TDMA	Time Division Multiple Access
Gbps	Gigabits per second	ULBC	Ultra-Low Brightness Control
GHz	Gigahertz	URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communication
GSM	Global System for Mobile Communications	UAVs	Unmanned Aerial Vehicles
GRND	Ground	V2D	Vehicle-to-Device
HD	High Definition	V2X	Vehicle-to-Everything
HD	High Definition	V2N	Vehicle-to-Network
IMTS	Improved Mobile Telephone Service	V2P	Vehicle-to-Pedestrian
IIoE	Industrial Internet of Things (IIoT) Edge	V2V	Vehicle-to-Vehicle
MSC	International Telecommunication Union	VR	Virtual Reality
IoE	Internet of Everything	VR	Virtual Reality
IoT	Internet of Things	Wifi	Wireless Fidelity
KPI	Key Performance Indicator	SP	Επεξεργασία σήματος
		IRS	Σύστημα Ανακλαστικών Επιφανειών

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία ρίχνει φως στο παρελθόν και το μέλλον των ασύρματων τεχνολογιών, ακολουθώντας την πορεία από τη γέννηση της 1G έως την προσεχή 6G. Επικεντρώνεται στον κόσμο των έξυπνων πόλεων και τη σημασία της μείωσης των εκπομπών CO₂. Παρουσιάζει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του 6G και αναδεικνύει τον ρόλο του στη βιώσιμη ανάπτυξη. Μελετά τη μετάβαση από το 5G στο 6G, εστιάζοντας σε προκλήσεις, ανάγκες και πλεονεκτήματα. Εξετάζει τις αρχές και τις τεχνολογίες του 6G, δίνοντας έμφαση στη συμβολή τους στις έξυπνες πόλεις και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Αναλύει προκλήσεις και ψηφιακές λύσεις για την ενεργειακή βελτιστοποίηση, ενώ υπογραμμίζει τον σημαντικό ρόλο των δικτύων 5G και 6G στη δημιουργία βιώσιμων πόλεων. Τέλος, παρουσιάζει μελέτες περίπτωσης, συνοψίζει τα συμπεράσματα και προτείνει κατευθύνσεις για την επόμενη έρευνα.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Abstract

The thesis focuses on the evolution from the inception of wireless technology through the commercialization of 1G to the upcoming 6G, emphasizing the perspective of smart cities and the reduction of CO₂ emissions. It presents the technological specifications of 6G and its role in sustainable development. The analysis of the transition from 5G to 6G centers on needs, challenges, and advantages. It discusses the principles and technologies of 6G, highlighting their contribution to smart cities and CO₂ emission reduction. Challenges and digital solutions for energy optimization are examined, emphasizing the significant role of 5G and 6G networks in creating sustainable cities. Finally, case studies are analyzed, conclusions are summarized, and suggestions for future research directions are proposed.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

1 Εισαγωγή

1.1 Έξυπνες πόλεις: Αειφόρος ανάπτυξη και μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι πόλεις δέχονται τεράστιες πιέσεις εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού, των οικονομικών μεταρρυθμίσεων και της κλιματικής αλλαγής. Συνειδητοποιώντας την ανάγκη να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις, αναλαμβάνονται ισχυρές πρωτοβουλίες σε όλο τον κόσμο, για να γίνουν οι πόλεις έξυπνες και βιώσιμες¹.

Οι έξυπνες πόλεις αντιπροσωπεύουν μια προοπτική για την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης και βελτιστοποίησης της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Ένα σημαντικό ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι έξυπνες πόλεις είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

1.2 Μείωση εκπομπών CO₂ στις έξυπνες πόλεις: Προκλήσεις και ευκαιρίες με την εφαρμογή του 6G

Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στις έξυπνες πόλεις αποτελεί έναν κρίσιμο στόχο για την αειφόρο ανάπτυξή τους. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν μία από τις κύριες αιτίες της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας. Οι έξυπνες πόλεις, χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνολογίες και την προηγμένη υποδομή, μπορούν να παίξουν ζωτικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών και την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

Η μετάβαση από το 5G στο 6G προσφέρει νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η εφαρμογή του 6G στις έξυπνες πόλεις μπορεί να προωθήσει τη χρήση αποδοτικών και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων, την ανάπτυξη έξυπνων μεταφορικών λύσεων, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της διαχείρισης των πόρων. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών, όπως το

¹ Mishra Ram K., Kumari Lakshmi Ch., Chachra S., Krishna Janaki P. S., Dubey A., Singh R. B. (2022). Smart Cities for Sustainable Development, Ανακτήθηκε από <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-7410-5>

Internet of Things (IoT) και το data analytics, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να επιτύχουν αποτελεσματικότερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στις έξυπνες πόλεις επηρεάζει θετικά το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Αποτελεί επίσης έναν σημαντικό στόχο για τις παγκόσμιες προσπάθειες καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής και της βιώσιμης ανάπτυξης.

1.3 Σκοπός και σημασία της έρευνας

Η διπλωματική έρευνα αποσκοπεί στην εξέταση της μετάβασης από το 5G στο 6G και της εφαρμογής του στις έξυπνες πόλεις ως ένα πολλά υποσχόμενο μέσο για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την προαγωγή της βιωσιμότητας. Μελετώντας την εφαρμογή του 6G στις έξυπνες πόλεις, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα το δυναμικό και τις προκλήσεις που προκύπτουν από αυτήν τη μετάβαση, και να προτείνουμε βέλτιστες λύσεις για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης στις έξυπνες πόλεις.

1.4 Δομή της εργασίας

Η διπλωματική εργασία υποδιαιρείται σε κεφάλαια, καθένα επικεντρωμένο σε σημαντικά θέματα. Στο κεφάλαιο 1 παρέχεται μια σύντομη επισκόπηση του πεδίου της έρευνας, των στόχων και της σημασίας της εργασίας. Ακολουθεί το κεφάλαιο 2 όπου αναλύεται η εξέλιξη των γενεών κινητής τηλεφωνίας, εστιάζοντας στις τεχνολογικές καινοτομίες και προκλήσεις κάθε γενιάς. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 3 αναλύεται η ανάγκη και η δυναμική της μετάβασης από το 5G στο 6G, εξετάζοντας πλεονεκτήματα και προκλήσεις. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και τεχνολογίες του 6G, εστιάζοντας στον ρόλο του στις έξυπνες πόλεις και στη μείωση των εκπομπών CO₂. Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η έννοια των έξυπνων πόλεων, εξετάζοντας προκλήσεις και ψηφιακές λύσεις για την ενεργειακή βελτιστοποίηση και τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται περιπτώσεις μελέτης που αναδεικνύουν τις εφαρμογές των τεχνολογιών 6G στις έξυπνες πόλεις. Η εργασία ολοκληρώνεται με το κεφάλαιο 7 όπου συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα και παράγονται συμπεράσματα από τη διερεύνηση. Αυτή η δομή επιτρέπει μια συνολική κατανόηση της έρευνας, καθοδηγώντας τον αναγνώστη μέσα από τα βήματα της ανάλυσης και των ευρημάτων.

2

Η εξέλιξη από το 1G στο 5G

2.1 Επισκόπηση των γενεών κινητής τηλεφωνίας

Με την εισαγωγή των αναλογικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας τη δεκαετία του 1980, η τεχνολογία ασύρματων δικτύων γνώρισε μία ταχεία και πολυδιάστατη εξέλιξη. Στη συνέχεια, τα ψηφιακά ασύρματα συστήματα (1G...4G, 5G και τώρα 6G) βρίσκονται σε μια συνεχή προσπάθεια να καλύψουν τις ανθρώπινες ανάγκες². Παρόλο που η ανάπτυξη του 5G βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, ακούμε τώρα για κάτι νέο που ονομάζεται τεχνολογία 6G.

Η χρήση σχετικά νέων τεχνολογιών, όπως η χρήση νέων διαστάσεων μπλοκ σε υψηλότερες περιοχές συχνοτήτων, η εκτεταμένη ανάπτυξη μικρών κυψελών σε εξωτερικούς χώρους, η μη επίγεια υποδομή SATCOM, οι σταθμοί βάσης μαζικής MIMO τεχνολογίας (Multiple-Input Multiple-Output) (mMIMO), καθώς και η συμπίεση των μακροκυψελών και του ασύρματου δικτύου backhaul, είναι απαραίτητες για την επίτευξη των βασικών δεικτών επιδόσεων (KPIs) του 5G που είχαν αρχικά οριστεί το 2015 στο πλαίσιο του IMT-2020³.

Σχεδόν άμεση συνδεσιμότητα αναμένεται να επιτευχθεί με το 6G, το οποίο είναι μόνο ένα σκαλοπάτι, για την υποστήριξη μελλοντικών, απαιτητικών σε εύρος ζώνης διαδικασιών με τρισδιάστατα μέσα, τεχνητή νοημοσύνη (AI)/μηχανική μάθηση (ML), φορητή τεχνολογία, αυτόνομα οχήματα, ρεαλιστικές συσκευές μετακίνησης, αισθητήρες και τρισδιάστατη χαρτογράφηση. Κάνοντας μία σύντομη επισκόπηση των γενεών κινητής τηλεφωνίας ξεκινάμε από την παραγωγή, γνωστή ως 0G και φτάνουμε στην τελευταία γενιά που βρίσκεται σε χρήση, το 5G. Η παραγωγή ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1940 με την εμφάνιση του 0G. Καθώς αντιμετώπισε σημαντικές δυσκολίες και προκλήσεις προχωρήσαμε στην πρώτη γενιά, 1G, η οποία εμφανίστηκε το 1979. Το 1991 εμφανίζεται η δεύτερη γενιά κινητών τηλεπικοινωνιών 2G, οποία χρησιμοποιούσε την ψηφιακή διαμόρφωση. Το 1998 παραδίδεται το 3G με την

² Chen, H., Yuan, L., & Jing, G. (2020). 5G boosting smart cities development. In 2nd international conference on artificial intelligence and advanced manufacture (AIAM). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/AIAM50918.2020.00038>

³ Kim, J., Jang, S., Jee, D., Ko, E., Choi, S. H., & Han, M. K. (2020). 5G based smart city convergence service platform for data sharing. In International conference on information and communication technology convergence (ICTC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ICTC49870.2020.9289155>

εμφάνιση της καινοτομίας για χρήση διαδικτύου στα κινητά τηλέφωνα. Η 4η γενιά κινητής τεχνολογίας, 4G, αναπτύχθηκε το 2004 και κυκλοφόρησε εμπορικά το 2009. Η σημαντική καινοτομία και διαφορά του με όλες τις προηγούμενες γενιές είναι η προηγμένη τεχνολογία δικτύου IP (Internet Protocol). Τέλος, η πέμπτη γενιά 5G, εμφανίζεται το 2019, αν και σε πρώιμο ακόμα στάδιο παρέχει πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και υποστήριξη για τεράστια αύξηση συνδεδεμένων συσκευών.

2.2 Τεχνολογικές καινοτομίες και προκλήσεις κάθε γενιάς

Η παραγωγή, 0G

Η μετάβαση από τη χρήση επικοινωνίας μέσω καλωδίων σε ασύρματη επικοινωνία μέσω Wifi ήταν ένα σημαντικό άλμα που αρχικά αποκαλούνταν κινητή τηλεφωνία, αλλά καθώς εμφανίστηκαν νέες γενιές Wifi, ονομάστηκε προ-κυψελοειδής ή πρωτοπόρος 0G. Στη δεκαετία του 1940, η Motorola και η Bell Systems συνεργάστηκαν για τη δημιουργία της τεχνολογίας "0G" (προ-κινητής) με τη μορφή "Push-to-talk", αλλά αυτή η τεχνολογία δεν αξιοποιήθηκε πλήρως. Στη συνέχεια, η τεχνολογία εξελίχθηκε σε "Mobile Telephone Service" (Υπηρεσία Κινητής Τηλεφωνίας), IMTS (Improved Mobile Telephone Service), και AMTS (Advanced Mobile Telephone Service). Αυτές οι τεχνολογίες προσέφεραν τη δυνατότητα πλήρους διπλής κατεύθυνσης επικοινωνίας και βελτιωμένη ποιότητα φωνής. Τα τηλέφωνα ήταν πολύ μεγάλα για να μεταφέρονται με τον συνηθισμένο τρόπο. Οι κεραίες και οι πομποδέκτες τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου, ενώ το τηλέφωνο τοποθετήθηκε στο μπροστινό μέρος. Αργότερα, αναπτύχθηκε μία πιο φορητή έκδοση σε μορφή βαλίτσας, αλλά και αυτή ήταν δύσκολο να χρησιμοποιηθεί από τον οποιονδήποτε⁴.

⁴ Sharma, M., Choudhary, N., Ahuja, R., & Malhotra, S. (2021). A compact multiband 2x2 MIMO antenna For 5G 28GHz/38GHz IoT and smart city applications. In International conference on computing, communication and green engineering (CCGE). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/CCGE50943.2021.9776458>





Η 1η γενιά, 1G

Το 1979, καθιερώθηκε η πρώτη γενιά των κινητών επικοινωνιών, επιτρέποντας σε κάθε άτομο να έχει πρόσβαση στην τεχνολογία Wifi. Το φθινόπωρο του ίδιου έτους, ξεκίνησε η διεθνής περιαγωγή, επιτρέποντας σε ανθρώπους από διάφορες χώρες να επικοινωνούν ασύρματα. Τα σήματα που διαμορφώνονταν στην 1G μπορούσαν να διαμορφωθούν ψηφιακά ή αναλογικά. Οι πληροφορίες στην 1G μεταφέρονταν μέσω αναλογικών σημάτων. Αυτό περιορίζονταν σε φωνητικές συνομιλίες με τη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης 2,4 Kbps και συχνότητα 150 MHz, με αποτέλεσμα υψηλή κάλυψη αλλά και υψηλή καθυστέρηση και κατανάλωση ενέργειας. Η ποιότητα φωνής ήταν επίσης ανεπαρκής⁵.

⁵ Mehta, S., Bhushan, B., & Kumar, R. (2022). Machine learning approaches for smart city applications: Emergence, challenges and opportunities. In V. E. Balas, V. K. Solanki, & R. Kumar (Eds.), Recent advances in Internet of Things and machine learning (Intelligent systems reference library) (Vol. 215). Springer. Ανακτήθηκε από https://doi.org/10.1007/978-3-030-90119-6_12

Η 2η γενιά, 2G

Το 1991, εμφανίζεται η δεύτερη γενιά κινητών τηλεπικοινωνιών, η οποία περιλάμβανε το GSM (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας). Αντί για αναλογική διαμόρφωση, η 2G χρησιμοποίησε ψηφιακή διαμόρφωση. Για την πολυπλεξία, χρησιμοποίησε τεχνικές TDMA και CDMA, για πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου και πολλαπλή πρόσβαση με κωδικοποίηση. Είχε συχνότητα 900 MHz. Επέτρεπε την προσθήκη SMS στις φωνητικές κλήσεις, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των κλήσεων.

Στη δεύτερη γενιά κινητών τηλεπικοινωνιών εάν ένα κινητό τηλέφωνο θέλει να μεταδώσει δεδομένα σε ένα άλλο κινητό τηλέφωνο, πρέπει να στείλει τα δεδομένα σε ένα BTS (Βάση Τηλεπικοινωνιών) που ελέγχεται από ένα BSC (Ελεγκτής Βάσης Τηλεπικοινωνιών), που αποτελεί μια υψηλότερη στρώση στο δίκτυο GSM. Το MSC (Κέντρο Συναλλαγών Κινητής Τηλεφωνίας), που είχε την ευθύνη για ολόκληρο το δίκτυο, ήταν υπεύθυνο για όλα τα BSC⁶.

Η 3η γενιά, 3G

Το 1998, εισήχθη η τεχνολογία 3G με στόχο τη βελτίωση της ταχύτητας των δικτύων. Η τεχνολογία WCDMA-UMTS χρησιμοποιήθηκε ως το πρώτο πρότυπο 3G. Το CDMA και η βασική μετάδοση εφαρμόστηκαν στην πρώτη έκδοση, με τρεις βασικές ζώνες συχνοτήτων στα 850, 1900 και 2100 MHz. Παρόλο που το WCDMA βασιζόταν στο GSM, το UMTS αποτελούσε ένα νέο πρότυπο. Η ταχύτητα κυμάνθηκε από 384 Kbps έως 2 Mbps, ανάλογα με την χρήση. Οι χρήστες του 3G δεν πλήρωναν για τον χρόνο, αλλά για τα δεδομένα που μεταφέρονταν. Αργότερα, εισήχθησαν περισσότερα πρότυπα, τα HSPA και HSPA+⁷. Η υποστήριξη του 3G σταμάτησε από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας σταδιακά το 2021.

2.2.1 Η 4η γενιά, 4G

Η 4η γενιά κινητής τεχνολογίας, που συχνά αναφέρεται ως LTE, αναπτύχθηκε μέσω της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) το 2004 και κυκλοφόρησε εμπορικά το 2009. Το LTE και το WiMAX είναι τα δύο κύρια πρότυπα. Το LTE κάνει χρήση OFDM/MIMO (Το OFDMA-MIMO αναφέρεται στη συνδυασμένη χρήση των τεχνικών OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) και MIMO (Multiple Input Multiple Output) στις ασύρματες επικοινωνίες). Ο συνδυασμός των δύο τεχνικών, OFDMA και MIMO, επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών φορέων συχνότητας και πολλαπλών κεραιών για την αποστολή και λήψη σήματος. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της χωρητικότητας, μείωση των παρεμβολών και βελτίωση της απόδοσης των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας, όπως των κινητών δικτύων 4G και 5G αργότερα.

⁶ Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional smart city development focus: The South Korean national strategic smart city program. IEEE Access. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047139>

⁷ Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional smart city development focus: The South Korean national strategic smart city program. IEEE Access. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047139>

Η τεχνολογία OFDMA-MIMO είναι καίρια για την υποστήριξη υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, την αποτελεσματική ανταπόκριση σε πολλαπλούς χρήστες και τη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών σε ασύρματες επικοινωνίες. Στην τεχνολογία αυτή η μεταγωγή των πακέτων γίνεται αποκλειστικά μέσω IP. Λειτουργεί με ποικιλία ταχυτήτων από 100Mbps έως 1Gbps και ποικιλία συχνοτήτων από δύο έως οκτώ GHz. Η μετάδοση δεδομένων έχει γίνει ταχύτερη λόγω της ταχύτητας χαμηλής καθυστέρησης. Τα κινητά δίκτυα έχουν καταστεί η βασική και η μέγιστη γενικά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία επικοινωνιών, με πάνω από 9,5 δισεκατομμύρια συνδέσεις⁸. Τα κινητά δίκτυα, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται ευρέως εκτός από τους ανθρώπους και από πολλές άλλες συσκευές που αποτελούν το Internet of Things (IoT). Τα επόμενα δέκα χρόνια, αναμένεται να συνδεθούν δισεκατομμύρια συσκευές IoT σε παγκόσμιο επίπεδο, δημιουργώντας ένα ολοκαίνουργιο κατακευματισμένο περιβάλλον που ονομάζεται Internet of Everything (IoE). Η μεγάλη αλληλεπίδραση ανθρώπων και πραγμάτων θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της ροής δεδομένων, πιέζοντας τα υπάρχοντα συστήματα Wifi και κινητών επικοινωνιών. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις και οι ακαδημαϊκοί επικέντρωσαν την προσοχή τους στην εξέλιξη των προδιαγραφών για την 5η γενιά (5G) κινητής επικοινωνίας μέσω Wifi, καθώς υπάρχει εξαιρετική αύξηση στον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών, της κίνησης δεδομένων μέσω κινητών και των περιορισμών της τεχνολογίας 4G. Πάνω από χίλιες πόλεις σε όλο τον κόσμο έχουν πληθυσμό άνω των 500.000 ανθρώπων, ενώ οι πόλεις φιλοξενούν σχεδόν το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού, το οποίο αναμένεται να αυξηθεί στο 68%. Με την αυξανόμενη μετανάστευση των ανθρώπων προς τις αστικές περιοχές, νέα προβλήματα ανακύπτουν, που απαιτούν από τις πόλεις να τα αντιμετωπίσουν. Αυτό έχει οδηγήσει σε παγκόσμιες προσπάθειες για τη χρήση τεχνολογικών καινοτομιών ώστε να καταστήσουν τις πόλεις πιο βιώσιμες. Αυτές οι προσπάθειες αποβλέπουν στην κατασκευή έξυπνων πόλεων και οδηγούν στον όρο "Έξυπνες Πόλεις". Μέσω της διαχείρισης των δημόσιων πόρων και της έμφασης στην άνεση, τη συντήρηση και τη βιωσιμότητα, οι έξυπνες πόλεις επιδιώκουν να βελτιώσουν την ποιότητα των υπηρεσιών. Το Internet of Things (IoT) είναι ένα μοντέλο επικοινωνίας που επιτρέπει σε καθημερινά πράγματα να συνδέονται μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Κατασκευαστές, φροντίδα υγείας, διαχείριση ενέργειας, δημόσιες υπηρεσίες, αυτοκίνητα, δημόσια συγκοινωνία, καθώς και πολλοί άλλοι κλάδοι χρησιμοποιούν το παράδειγμα του IoT⁹. Το Internet of Things θα προωθήσει πολλές εφαρμογές που θα προσφέρει νέες υπηρεσίες σε ανθρώπους, επιχειρήσεις και οργανισμούς. Επιπλέον, η εφαρμογή του IoT σε μια αστική περιοχή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ανταποκρίνεται στην ανάγκη πολλών

⁸ Li, C., Yang, H., Bao, B., Guo, H., Jiang, Y., & Zhang, J. (2020). Spearman correlation coefficient abnormal behavior monitoring technology based on RNN in 5G network for smart city. International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/IWCMC48107.2020.9148469>

⁹ El-Dessouki, I., & Saeed, N. (2021). Smart grid integration into smart cities. In IEEE international smart cities conference (ISC2). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ISC253183.2021.9562769>

κυβερνήσεων να υιοθετήσουν λύσεις που βασίζονται στις ΤΠΕ στη διαχείριση των δημοσίων υποθέσεων, με αποτέλεσμα την υλοποίηση της έννοιας της "Έξυπνης Πόλης". Οι έξυπνες πόλεις, οι συνδεδεμένες βιομηχανίες και τα συνδεδεμένα κτίρια ήταν οι τρεις κορυφαίες πρωτοβουλίες IoT το 2018, σύμφωνα με την IoT Analytics. Επιπλέον, αναμένεται η παγκόσμια αγορά των έξυπνων πόλεων να αυξηθεί κατά 14,8% ετησίως από τα 410,8 δισ. δολάρια το 2021 στα 820,7 δισ. δολάρια το 2025.

2.2.2 Η 5^η γενιά, 5G

Η νέα γενιά κινητής τηλεφωνίας προγραμματίστηκε να παραδοθεί το 2020 και να χρησιμοποιεί μια ραδιοφωνική μετάδοση που προτιμάται ως διεπαφή Air. Στις 16 Δεκεμβρίου του 2020 ολοκληρώθηκε ο διαγωνισμός για την παραχώρηση του φάσματος για τα δίκτυα 5G και η Ελλάδα εισήλθε επισήμως στη νέα εποχή.

Βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου 5G είναι:

- Η βελτιωμένη Απόδοση Δικτύου

Οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, πολύ χαμηλές καθυστερήσεις, αξιόπιστες υπηρεσίες, υψηλή συνδεσιμότητα, πυκνότητα κίνησης δεδομένων και υψηλή κινητικότητα στα δίκτυα 5G¹⁰. Αυτό βελτιώνει επίσης την φασματική απόδοση των δικτύων, μειώνοντας το κόστος των υπηρεσιών και τη συντήρηση του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του δικτύου.

- Η Προσαρμοστική Λειτουργία Δικτύου

Η έξυπνη ανίχνευση και η λήψη αποφάσεων ενισχύονται σημαντικά χάρη στην τεχνολογία 5G. Οι καινοτόμες λύσεις της τεχνολογίας 5G, όπως η αντίληψη πραγματικού χρόνου και η δυνατότητα ανάλυσης χαρακτηριστικών των χρηστών (όπως προτιμήσεις, γεωγραφική τοποθεσία, περιβάλλον δικτύου και κατάσταση τερματικού), βοηθούν σε μεγάλο βαθμό τις επιχειρήσεις να δημιουργήσουν τεχνολογικές λύσεις που να εξασφαλίζουν την αποτελεσματική αξιοποίηση των δικτύων δεδομένων και πόρων.

- Μεγαλύτερη Ευελιξία των Λειτουργιών του Δικτύου

Η εξέλιξη των δικτύων 5G επηρεάζεται σημαντικά από τα σχόλια των χρηστών. Δημιουργήθηκε με σκοπό να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών κινητού διαδικτύου καθώς και των επιχειρήσεων IoT. Σχετικά με τα δίκτυα πρόσβασης, η τεχνολογία 5G επιτρέπει τόσο το plug-and-play όσο και τα «αυτο-οργανωμένα» δίκτυα βάσεων¹¹. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία μιας

¹⁰ Joshi, H., & Joshi, S. (2022). A decision support framework to conceptualize the impact of 5G on smart city ecosystem. In International conference on decision aid sciences and applications (DASA). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/DASA54658.2022.9765185>

¹¹ Tealab, M., Hassebo, A., Dabour, A., & Abdel Aziz, M. (2020). Smart cities digital transformation and 5G – ICT architecture. In 11th IEEE annual ubiquitous computing, electronics & mobile communication conference (UEMCON). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/UEMCON51285.2020.9298156>

ελαφριάς δομής πρόσβασης στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας ότι το σύστημα είναι εύκολο στη χρήση και τη συντήρηση. Σχετικά με τα κεντρικά δίκτυα, οι νέες υπηρεσίες δικτύου που χρησιμοποιούν δίκτυα κέντρων πακέτων αναμορφώνονται και απλοποιούνται για να καθορίσουν εάν το σύστημα και οι λειτουργίες επεξεργασίας είναι βέλτιστες και η διαχείριση του δικτύου είναι προσαρμόσιμη.

- Το Οικοσύστημα του Δικτύου Είναι Περισσότερο Φιλικό προς το Περιβάλλον

Οικονομικοί κλάδοι και αναδυόμενα επιχειρηματικά οικοσυστήματα θα ενισχυθούν από τα δίκτυα 5G, προσφέροντας ένα πιο φιλικό προς τον χρήστη και ανοικτό δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών τους. Οι τρίτες οντότητες θα παρέχονται με τέτοιου είδους ευέλικτες, αναπτυσσόμενες και εκκινούμενες υπηρεσίες. Στόχος είναι να διευκολυνθεί η σύνδεση με εφαρμογές τρίτων με φιλικό τρόπο. Μέσω των δικτύων 5G, οι εξατομικευμένες υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται κατά παραγγελία. Επιπλέον, τα επιχειρηματικά δίκτυα μπορούν να ενισχυθούν, να δημιουργηθούν νέα περιβάλλοντα και να αυξηθούν οι υπηρεσίες του δικτύου¹².

- Σύγκριση Αξιοπιστίας

Στα αυτοματοποιημένα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου, η μέθοδος μεταφοράς δεδομένων είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη. Τα ενσύρματα συστήματα επικοινωνίας, όπως το Ethernet και τα hub, υπάρχουν εδώ και καιρό και έχουν αποδειχθεί αρκετά αξιόπιστα. Η τεχνολογία 5G μπορεί επίσης να ανιχνεύσει οποιαδήποτε δεδομένα χάθηκαν μετά τη μετάδοση και να ελέγξει εάν κάποια από τα δεδομένα που προστέθηκαν είναι εσφαλμένα. Το πρόβλημα διορθώνεται αυτόματα σε τέτοιες περιπτώσεις.

- Σύγκριση Εξόδων

Τα δεδομένα στα δίκτυα επικοινωνιών 5G είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμα, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να τροποποιούνται και να προσαρμόζονται εύκολα. Δεν χρειάζονται αγωγοί για την ενσωμάτωση ούτε να κατασκευαστούν ασταθείς γέφυρες, και δεν υπάρχουν καλώδια που πρέπει να τοποθετηθούν. Αυτό εξοικονομεί αρκετά χρήματα στο τέλος της γραμμής για την καλωδίωση, την εγκατάσταση, την κατασκευή και τη συντήρηση του δικτύου¹³. Επιπλέον, λόγω της ευελιξίας του συστήματος 5G, μπορεί ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης να γίνουν τροποποιήσεις ώστε να ανταποκριθεί στις αλλαγές συνθηκών. Το σύστημα είναι αρκετά προσαρμόσιμο για να ανταποκρίνεται στις αλλαγές στη ζήτηση ή στις προκλήσεις που προκύπτουν από τις διαφορετικές επαγγελματικές δραστηριότητες. Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης, δεν χρειάζονται υπόγεια μονοπάτια ή γέφυρες, και δεν απαιτούνται σύνθετες

¹² Al Ridhawi, I., Aloqaily, M., Boukerche, A., & Jararweh, Y. (2021). Enabling intelligent IoCV services at the edge for 5G networks and beyond. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3053095>

¹³ Ibrahim, K., & Sadkhan, S. B. (2021). Radio access network techniques beyond 5G network: A brief overview. In International conference on advanced computer applications (ACA). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACA52198.2021.9626804>

εργασίες καλωδίωσης. Καθώς τα έξοδα μειώνονται σημαντικά, η διαδικασία είναι απλή, προσαρμόσιμη και οικονομικά αποδοτική.

- Σύγκριση Ασφάλειας

Για να συνδεθεί ένας μη εξουσιοδοτημένος χρήστης σε ένα ενσύρματο δίκτυο, πρέπει πρώτα να συνδεθεί με τη φυσική γραμμή και στη συνέχεια να συνδεθεί με το δίκτυο χρησιμοποιώντας την κάρτα δικτύου. Στη συνέχεια, πρέπει να ολοκληρωθεί επιτυχώς η διαδικασία επαλήθευσης της ταυτότητας του δικτύου. Ένα τείχος προστασίας εγκαθίσταται στο ενσύρματο δίκτυο για να παρέχει αυξημένη ασφάλεια στο σύστημα.

2.2.3 Η 6^η γενιά, 6G

Η 6^η γενιά, γνωστή για την εποχή των ασύρματων επικοινωνιών Wifi, χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη και την ευρεία χρήση της τεχνολογίας Wifi για τις ασύρματες επικοινωνίες, που επιτρέπουν στις κινητές συσκευές να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο και στα δεδομένα μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας και είναι προς το παρόν υπό ανάπτυξη. Για να φέρει επανάσταση η 6G, προγραμματίζεται η κατασκευή και σύνδεση εκατοντάδων τρισεκατομμυρίων συσκευών στο διαδίκτυο μέχρι το τέλος του 2030. Αυτό θα απαιτήσει μια μείωση κατά χίλιες φορές του κόστους παραγωγής, προκειμένου να προσφέρει μια μακροπρόθεσμη έξυπνη κοινωνία.

Παρά το γεγονός ότι η 5G ακόμα αναπτύσσεται, οι ειδικοί επικεντρώνονται πλέον στην εποχή της 6G επικοινωνίας. Τα μελλοντικά κινητά δίκτυα αναμένεται να διαχειρίζονται πληθώρα υπηρεσιών IoT, γεγονός που σημαίνει ότι οι αρχιτεκτονικές και οι δυνατότητες των δικτύων πρέπει να είναι ικανές να προσαρμοστούν σε συνεχώς εξελισσόμενες λειτουργίες και απαιτήσεις υπηρεσιών¹⁴. Ως αποτέλεσμα, το μελλοντικό δίκτυο πρέπει να είναι πρώτα έξυπνο αλλά και ικανό να μάθει και να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά της κάθε υπηρεσίας από μόνο του. Πρέπει επίσης να είναι ανοιχτό, έτσι ώστε η αρχιτεκτονική και οι δυνατότητες να μπορούν να αλλάξουν εύκολα καθώς εμφανίζονται αλλαγές. Κάθε κόμβος χρειάζεται να συμβάλει στην εισαγωγή μιας έξυπνης, καθώς και ανοικτής κοινότητας 6^{ης} γενιάς (6G). Πρέπει να υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα επικοινωνίας σε κάθε κόμβο. Οι πόροι για υπολογιστική ισχύ και κρυφή μνήμη πρέπει να διευκολύνουν την έξυπνη «αυτο-εξέλιξη» και λειτουργία στο 6G, και η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων θα τετραπλασιαστεί. Πρόκειται για ταχύτητα πενήντα φορές πιο γρήγορη από το πιο γρήγορο δίκτυο πέμπτης γενιάς, με το ένα δέκατο της καθυστέρησης, που είναι δέκα φορές τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών και εκατό φορές πιο αξιόπιστο. Το 6G θα έχει τη δυνατότητα να συνδέει τα πάντα. Πρέπει να ενσωματωθούν όλα, συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών τεχνολογιών και εφαρμογών. Θα μπορεί ακόμα και να διαχειρίζεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων με ολόγραμμα, υψηλής απόκρισης, διαστημική και υποβρύχια υποστήριξη.

¹⁴ Fourati, H., Maaloul, R., & Chaari, L. (2020). A survey of 5G network systems: Challenges and machine learning approaches. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 385–431.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν το Διαδίκτυο των Πάντων, το Διαδίκτυο των Nano-Πραγμάτων και το Διαδίκτυο των Σωμάτων.

Σε συνδεδεμένα drones και ρομπότ, αυτές οι συσκευές IoT θα επιτρέπουν βελτιωμένες υπηρεσίες, όπως έξυπνη κυκλοφορία, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση, εικονική πραγματικότητα (VR)/ψηφιακή πλοήγηση, τηλεϊατρική, ψηφιακή ανίχνευση, υψηλής ευκρίνειας (HD) και πλήρη HD μετάδοση βίντεο. Για παγκόσμια κάλυψη, το 6G θα ασχοληθεί επίσης με δορυφορικά δίκτυα. Τα δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών, δορυφορικά δίκτυα πλοήγησης και δορυφορικά δίκτυα εικόνας της Γης είναι οι τρεις κατηγορίες δορυφορικών δικτύων. Το 6G δίκτυο θα είναι ένα υψηλής ταχύτητας δίκτυο Wifi που χρησιμοποιεί συνδυασμό τεχνολογίας ραδιοκύματος και οπτικών ινών. Σε ένα 6G δίκτυο, η απευθείας μεταφορά σημαίνει ότι η ταχύτητα του διαδικτύου δεν επηρεάζεται από την απόσταση μεταξύ της επιχείρησής και του κεντρικού κόμβου. Υπάρχουν τρεις κύριοι παράγοντες που κινούν το 6G: η ηγεσία κάλυψης (κυβερνητική πολιτική), τεχνολογικές πρόοδοι (τεχνικά επαναστατικά επιτεύγματα) και η ζήτηση (κοινωνική απαίτηση). Για την προώθηση του 6G, οι παραπάνω τρεις παράγοντες θα συνεργαστούν και θα παίξουν ένα συμπληρωματικό ρόλο μεταξύ τους. Τα δεδομένα από απόσταση είναι μέρος μιας πρωτοβουλίας πολιτικής για την αντιμετώπιση κοινωνικών προβλημάτων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Όσον αφορά την τεχνολογική ώθηση, οι κυβερνήσεις έχουν μόλις προωθήσει το έκτο σχέδιο GRND, και ορισμένες έχουν καταθέσει προτεινόμενες ερευνητικές προτάσεις στο εσωτερικό λευκών χαρτιών. Βασιζόμενοι σε αυτά, παρουσιάζεται η έκτη γενιά, όπου άνθρωποι και μια μεγάλη ποικιλία αυτόνομων και έξυπνων μηχανών συνυπάρχουν σε φυσικό και εικονικό χώρο. Για την προώθηση της 6G, οι παραπάνω τρεις κινητήρες θα αλληλεπιδράσουν και θα εκτελέσουν μια συμπληρωματική λειτουργία ο ένας με τον άλλο. Τα δεδομένα από απόσταση είναι μέρος μιας πρωτοβουλίας πολιτικής για την αντιμετώπιση κοινωνικών ζητημάτων και τη βελτίωση του βασικού πληθυσμού. Όσον αφορά το τεχνολογικό-τράβηγμα, οι κυβερνήσεις έχουν ήδη κυκλοφορήσει το σχέδιο 6th GRND και έχουν υποβάλει προτεινόμενα 60 συνεχείς ζωές σε λευκά χαρτιά και προτάσεις έρευνας και ανάπτυξης. Βασισμένο σε αυτά, παρουσιάζουμε το 6th life, όπου οι άνθρωποι και μια μεγάλη ποικιλία υψηλά αυτόνομων και έξυπνων μηχανών συνυπάρχουν σε φυσικό και εικονικό χώρο¹⁵.

Το πρώτο σημαντικό χαρακτηριστικό φυσικής τοποθεσίας είναι μια πλήρως αφοσιωμένη υπηρεσία που συνδέει τις εμπειρίες του πραγματικού κόσμου με τους ανθρώπους, όπως βελτιωμένη αίσθηση της αφής. Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι αυτόματα συστήματα αλληλεπιδρούν με τους ανθρώπους με ακρίβεια και ταχύτητα. Θα διαιρέσουμε την τεχνολογία 6g σε 4 κατηγορίες. Η πρώτη είναι η μη-κυψελική τοπολογία με αυξημένη κάλυψη. Περιλαμβάνει δορυφορικά, εναέρια και αυτόνομα αεροσκάφη (UAVs). Θα έχει μεγαλύτερο εύρος και

¹⁵ Jamil, S. U., Arif Khan, M., & Sabih ur Rehman (2020). Intelligent task off-loading and resource allocation for 6G smart city environment. In IEEE 45th conference on local computer networks (LCN). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/LCN48667.2020.9314819>

κινητικότητα για να εξασφαλίσει καλύτερη συνδεσιμότητα και συνέχεια των υπηρεσιών. Ένα από τα βασικά επαναστατικά στοιχεία στη μελλοντική τεχνολογία θα είναι η νέα τεχνολογία φάσματος και κεραίας. Η ανίχνευση και η επικοινωνία σε εξαιρετικά απαιτητικά περιβάλλοντα καθώς και η μέτρηση και η έξυπνη χρήση υπηρεσιών, είναι εφικτές επιλογές για αξιόπιστη επικοινωνία, καθώς και έξυπνες υπηρεσίες. Μια επιλογή θα μπορούσε να είναι η οπτική μετάδοση μέσω αέρα ή απευθείας οπτική επαφή μεταξύ δύο συσκευών για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων. Η τεχνολογία πρόσβασης μέσου θα βελτιωθεί με τη χρήση δεδομένων αισθητήρων σχετικά με τον εντοπισμό και την εξάπλωση. Όταν οι κινητές συσκευές στέλνουν και συλλέγουν δεδομένα, το 0,33 είναι ένα τοπικό AI με συνδεδεμένη νοημοσύνη. Τα δεδομένα θα διαιρεθούν για συσκευή ή υπολογισμό στο cloud πριν ρέουν στο δίκτυο και το MEC. Τα δεδομένα θα διαχωριστούν για το tool ή το cloud computing πριν ρέουν στο δίκτυο και το MEC (Mobile Edge Computing). Τέλος, η τεχνολογία πρόσβασης μέσω ραδιοκυμάτων είναι η τελευταία αλλά εξίσου σημαντική¹⁶. Όταν οι κινητές συσκευές στέλνουν και συλλέγουν δεδομένα, το τρίτο είναι πράγματι ένα τοπικό AI με συνδεδεμένη νοημοσύνη. Τα δεδομένα θα διαιρεθούν για τη συσκευή ή το cloud computing πριν ρέει στο δίκτυο και στο MEC. Μπορούμε να αυτοματοποιήσουμε την πραγματικού χρόνου βελτιστοποίηση της εκχώρησης των πόρων από τον μοριακό αισθητήρα στον τρόπο MEC προς τον πλήρη AI. Η τεχνολογία πρόσβασης στο ραδιόφωνο είναι τελικά, αλλά όχι άσχημη.

Στο 6G, μπορούμε να οραματιστούμε τρεις κύριες περιπτώσεις υπηρεσιών. Αυτές είναι η υπερ-ευρυζωνική, το μεγάλο Internet of Things (IoT) με μηδενική κατανάλωση ενέργειας, και η μαζική υπερ-ευρυζωνική URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communication). Στον κόσμο του 6G, προβλέπεται αυξανόμενη ζήτηση για αυτήν τη μαζική υπερ-ευρυζωνική URLLC με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών πρόσβασης, όπως κωδικοποίησης καναλιού, οι πολλαπλοί τύποι μεταφοράς, οι μορφές κυμάτων και η πλήρης δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων ταυτόχρονα σε δύο κατευθύνσεις (duplex). Οι κύριοι στόχοι, καθώς και οι τεχνολογικές απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά που πιστεύεται ότι απαιτούνται στο 6G, περιλαμβάνουν την ελάχιστη πολυπλοκότητα, χαμηλή καθυστέρηση επεξεργασίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι έξι κύριες μετρικές απόδοσης περιλαμβάνουν την εμπειρία των χρηστών, την ρυθμό δεδομένων, τον υψηλό ρυθμό bit, την πυκνότητα συνδέσεων 3D, την αξιοπιστία, την καθυστέρηση στον αέρα, την αποδοτικότητα φάσματος και την ενεργειακή απόδοση. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη επεκτεινόμενες μετρικές απόδοσης για τις τεχνολογίες ενεργοποίησης, όπως την κάλυψη και κινητικότητα 3D, την ακρίβεια 3D εντοπισμού και τις αρχιτεκτονικές και χαρακτηριστικές καθυστερήσεις μεταφοράς δεδομένων. Οι βασικές προοπτικές φαίνονται να είναι η ανοικτή αυτόματη πραγματική ποιοτική ενεργειακή χρήση, η πλήρως αφοπλιστική κατανομημένη υποδομή που

¹⁶ Petrović, N., Al-Azzoni, I., & Blank, J. (2021). Model-driven multi-objective optimization approach to 6G network planning. In 15th international conference on advanced technologies, systems and services in telecommunications (TELSIKS). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/TELSIKS52058.2021.9606345>

ενισχύει την πραγματική αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικού και εικονικού κόσμου, καθώς και η πλήρως κατανεμημένη υποδομή που ενισχύει την πραγματική αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικού και εικονικού κόσμου¹⁷.

2.3 Το 5G ως τελευταία εξέλιξη και οι δυνατότητες που προσφέρει

Η τεχνολογία πέμπτης γενιάς, γνωστή και ως "συνδεσιμότητα πέραν του 2020", αποτελεί σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των παγκόσμιων τηλεπικοινωνιών. Έχει ήδη αποδειχθεί επωφελής σε διάφορες περιοχές σε όλο τον κόσμο. Οι τρεις κύριες πτυχές των δικτύων 5G είναι το ενισχυμένο ευρυζωνικό δίκτυο, οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες εξαιρετικά χαμηλού εύρους ζώνης και οι τεράστιες αλληλεπιδράσεις τύπου μηχανής¹⁸. Η τεχνολογία 4G που προηγήθηκε έχει ορισμένους περιορισμούς όσον αφορά τις δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων, με ταχύτητες λήψης που περιορίζονται στα 100 Bits/s. Η τεχνολογία 5G, από την άλλη πλευρά, εξελίσσεται προς πιο περίπλοκες και έξυπνες χρήσεις της τεχνολογίας.

Επιπλέον, το 5G μπορεί πράγματι να προσαρμοστεί δυναμικά, ώστε να εγγυηθεί ότι το σχετικό επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιείται από μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Πολλοί διαφορετικοί οργανισμοί θα μπορέσουν να υιοθετήσουν την τεχνολογία 5G λόγω της μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας που παρέχει. Η τεχνολογία 5G ενσωματώνει αυστηρά πρότυπα καθυστέρησης ≤ 1 ms για εφαρμογές ευαίσθητες στο χρόνο. Για μη ευαίσθητες στον χρόνο εφαρμογές, περιλαμβάνει επίσης χαμηλότερους περιορισμούς καθυστέρησης. Επιπλέον, το 5G θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες καταστάσεις όπου απαιτούνται αυστηροί έλεγχοι διαδικασιών και, κατά συνέπεια, μεγάλη αξιοπιστία του δικτύου. Εναλλακτικά, η αξιοπιστία του δικτύου μπορεί να χαλαρώσει για υπηρεσίες που δεν είναι ευαίσθητες στο χρονισμό.

Η τεχνολογία 5G μπορεί δυναμικά να εφαρμοστεί σε καταστάσεις όπου απαιτούνται μαζικές ποσότητες δεδομένων που πρέπει να αναλυθούν σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό μπορεί να ζητηθεί σε καταστάσεις όπου χρειάζεται να επεξεργαστούν μόνο περιορισμένες ποσότητες δεδομένων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) έχει εξελιχθεί στις πιο σημαντικές εφαρμογές της τεχνολογίας 5G, με εφαρμογές σε μια ευρεία γκάμα βιομηχανιών και κλάδων. Η δημοτικότητα του έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Καθώς το Διαδίκτυο των

17 Malik, A., & Bhushan, B. (2022). Challenges, standards, and solutions for secure and intelligent 5G Internet of Things (IoT) Scenarios. In Smart and sustainable approaches for optimizing performance of wireless networks: Real-time applications (pp. 139–165). Wiley. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1002/9781119682554.ch7>

18 Rusti, B., Stefanescu, H., Iordache, M., Ghenta, J., Brezeanu, C., & Patachia, C. (2019). Deploying smart city components for 5G network slicing. In European conference on networks and communications (EuCNC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/EuCNC.2019.8802054>

Πραγμάτων εξελίσσεται, θα απαιτηθεί αυξανόμενος αριθμός τοποθεσιών για την πρόσβαση σε δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων έχει βοηθηθεί κατά κύριο λόγο από την κεντρική αποθήκευση δεδομένων (όπως το νέφος). Οι χρήστες, από την άλλη πλευρά, συχνά δεν κατανοούν για τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που έχουν δώσει στο σύστημα, καθιστώντας το ένα «μαύρο κουτί»¹⁹. Οι ειδικοί συζητούν τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) κυρίως για διάφορες εφαρμογές, όπως συνδεδεμένα αυτοκίνητα και έξυπνες μετρήσεις. Αυτό θα επιτρέψει την εφαρμογή του IoT σε μια σειρά λειτουργιών επιχειρήσεων σε διάφορους κλάδους βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής και της παραγωγής πρώτων υλών. Το 5G ανοίγει το δρόμο για νέες εφαρμογές Έξυπνων Πόλεων. Επιπλέον, ένας αυξανόμενος αριθμός προϊόντων θα μπορεί πραγματικά να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο οπουδήποτε και αν βρίσκεται. Αυτό θα καταστήσει πιο εύκολη τη συνδυασμένη χρήση διαφορετικών εφαρμογών σε διάφορους κλάδους.

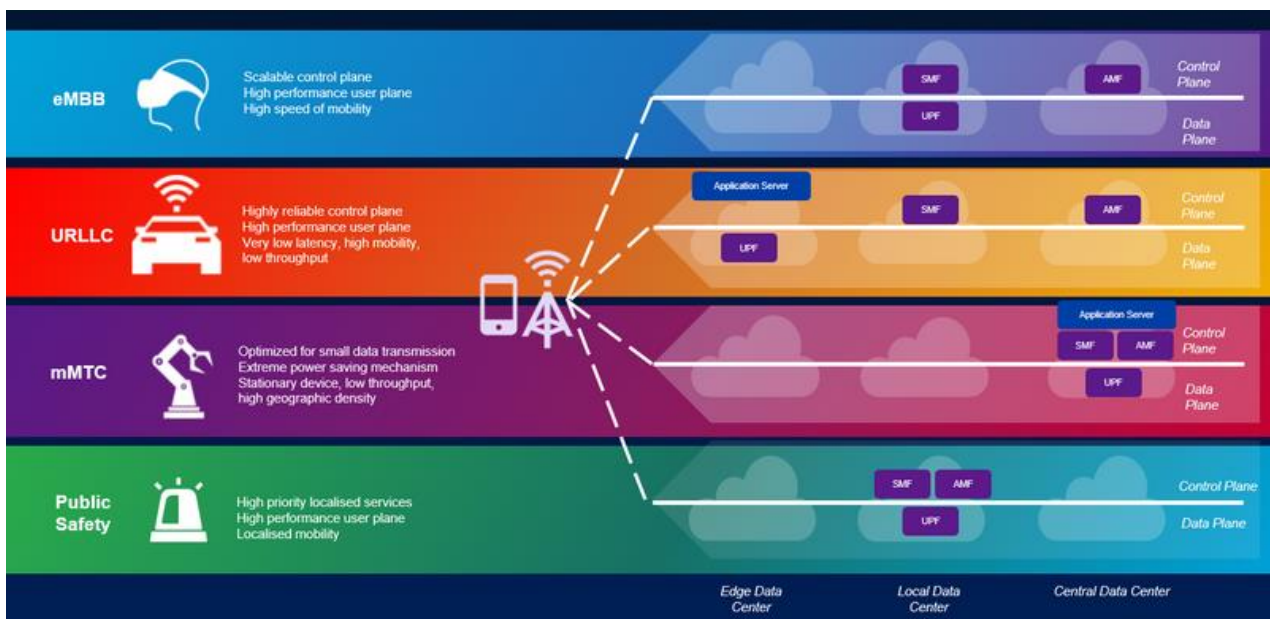
Οι τεχνολογικές πρόοδοι θα υποστηρίξουν το δίκτυο 5G, το οποίο φέρνει επανάσταση στον πυρήνα των δικτύων επικοινωνίας. Παρέχοντας εντελώς νέα αρχιτεκτονική δικτύου, το 5G δίνει τη δυνατότητα για μια ποικιλία εφαρμογών. Καινοτομίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η δυνατότητα πρόσβασης στο Edge Computing, καθώς και η ιδέα της κοινοτικής μείωσης και της τεχνολογίας λογισμικού όπως οι Software-Defined Networking και Network Function Virtualization, θα παίξουν κρίσιμο ρόλο στην δημιουργία επιλογών προτίμησης όπως και στη δημιουργία τεχνολογίας με συνεχή παρουσία. Η Mobile Edge Computing (MEC) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Η MEC μειώνει τη δικτυακή καθυστέρηση επιτρέποντας την ανάλυση των δεδομένων κοντά στην πηγή τους. Οι δικτυακοί τύποι όπως το massive MIMO, η υβριδική πυκνοποίηση, η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση και το Millimeter Wave (mmWave) είναι όλες κρίσιμες τεχνολογίες στην ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G.

Σε σύγκριση με το 4G, το 5G μπορεί να χειριστεί 10 έως 100 φορές μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και συνδεδεμένες συσκευές. Επιπλέον, το 5G προσφέρει σχεδόν πλήρη διαθεσιμότητα και γεωγραφική κάλυψη, καθώς και βελτιωμένη ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Επιπλέον, το 5G χρησιμοποιεί δέκα φορές λιγότερη ενέργεια ενώ διπλασιάζει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών των συσκευών. Το μαζικό Multiple Input Multiple Output, η υβριδική αύξηση πυκνότητας, η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση, καθώς και τα κύματα Millimeter (mmWave) είναι όλες κρίσιμες τεχνολογίες για την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G.

Το 2035, αναμένεται η αλυσίδα αξίας του 5G να δημιουργήσει προϊόντα και υπηρεσίες ύψους 12,3 τρισεκατομμυρίων δολαρίων σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας, υποστηρίζοντας έως 22 εκατομμύρια θέσεις εργασίας. Το 5G παρέχει τη βάση για μια αποτελεσματική επιχείρηση,

19 Haque, A. K., Bhushan, B., & Dhiman, G. (2021). Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends. Expert Systems. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1111/exsy.12753>

έξυπνες τεχνολογίες και νέες μεθόδους επικοινωνίας. Επιπλέον, το 5G λειτουργεί ως δίκτυο επικοινωνίας για τις ειδικές ομάδες του IoT των έξυπνων πόλεων. Το 5G καλύπτει τις ανάγκες μιας ευρείας γκάμας βιομηχανικών κλάδων, όπως η ενέργεια, οι ιατρικές υπηρεσίες, η κατασκευή, ο τομέας ψυχαγωγίας και τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Η έννοια της τμηματοποίησης δικτύου (network slicing) δημιουργήθηκε για να καλύψει τις διάφορες ανάγκες επικοινωνιών των κάθετων κλάδων της βιομηχανίας. Η τμηματοποίηση είναι μια συλλογή λογικά διαμορφωμένων δικτυακών λειτουργιών που ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις επικοινωνίας για συγκεκριμένες εφαρμογές ή μοντέλα επιχείρησης²⁰. Η εικόνα δείχνει πώς τα δίκτυα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, βασισμένες στο σύνολο χαρακτηριστικών των υπηρεσιών που υποστηρίζουν.



Το Third Generation Partnership Project (3GPP) έχει αναγνωρίσει 4 κατηγορίες τμηματοποίησης του δικτύου:

- Ενισχυμένος κινητός ευρυζωνικός διακομιστής (EMB Enhanced Mobile Broadband) : Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει επιταχυνόμενες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και απαιτήσεις για καλύτερη κάλυψη.
- Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Massive IoT): Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πολλές συσκευές που ενσωματώνονται σε μικρό χώρο. Οι οικονομικές, χαμηλής

²⁰ Arif Khan, M. (2019). Fog computing in 5G enabled smart cities: Conceptual framework, overview and challenges. In IEEE international smart cities conference (ISC2). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ISC246665.2019.9071695>

κατανάλωσης συσκευές που μεταφέρουν μικρά πακέτα δεδομένων, όπως για παράδειγμα το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις έξυπνες πόλεις, αποτελούν παραδείγματα εφαρμογών mIoT. Άλλοι θεσμοί της αγοράς αναφέρονται σε αυτήν την κατηγορία υπηρεσιών ως Massive Machine Type Telecommunications (mMTC).

- Κρίσιμες Επικοινωνίες (uRLLC): Αυτή η κατηγορία προσφέρει εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία με πολύ χαμηλές καθυστερήσεις. Χρησιμοποιείται κυρίως για συσκευές που έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε θέματα καθυστέρησης και αξιοπιστίας.
- Επικοινωνία V2X (vehicle-to-everything): Αυτή η κατηγορία επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων και του περιβάλλοντος.

3 *Μετάβαση από το 5G στο 6G*

3.1 **Ανάλυση αναγκών και προκλήσεων που οδηγούν στην ανάπτυξη του 6G**

Λόγω των αυξανόμενων αναγκών για αυτοματισμό και μέτρηση δεδομένων, η τρέχουσα λειτουργικότητα του 5G αναμένεται να εξαντληθεί έως το 2030. Αν συγκρίνουμε τις γνώσεις του 2010 με την αναμενόμενη ζήτηση του 2030, μπορούμε να υπολογίσουμε ότι η παγκόσμια κάλυψη κινητής τηλεφωνίας θα αυξηθεί κατά 700 φορές²¹. Ως αποτέλεσμα, οι επιστήμονες έχουν ήδη ξεκινήσει να εργάζονται πάνω στο 6G, το οποίο αναμένεται να αλλάξει τον ψηφιακό κόσμο. Το περιορισμένο εύρος ζώνης και η υψηλή κατανάλωση ενέργειας του 5G αναφέρονται ως περιορισμοί. Ακόμη κι αν τα δοκιμαστικά του 5G έχουν δείξει τη δυνατότητα επίτευξης ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων 8 Gbps²² και 1 Gbps σε απόσταση 6,5 χλμ.²³, αυτές οι ταχύτητες είναι ακόμη κάτω από τη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων των 20 Gbps που έχει προταθεί στη βιβλιογραφία. Ως αποτέλεσμα, εφαρμογές υψηλής ταχύτητας και εντατικής χρήσης όπως η ολογραφική επικοινωνία, που απαιτούν 1 Tbps για απρόσκοπτη επικοινωνία²⁴, δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από τα υπάρχοντα δίκτυα 5G. Υψηλά επίπεδα παρεμβολών ως αποτέλεσμα της εκτεταμένης αλληλοσύνδεσης, ανεπαρκής ισχύς υπολογιστή και η έλλειψη πανταχού παρουσίας συνδεσιμότητας είναι επιπλέον μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων 5G. Βαδίζουμε προς μια πλήρως δικτυωμένη κοινωνία, όπου πολλές πολιτικές και ανθρώπινες

²¹ Shehab, M., Khattab, T., Kucukvar, M., & Trinchero, D. (2022). The role of 5G/6G networks in building sustainable and energy-efficient smart cities. In IEEE 7th international energy conference (ENERGYCON). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830364>

²² Nokia, "Elisa and Qualcomm Achieve 5G Speed Record in Finland," 2020. Ανακτήθηκε από <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2020/11/18/nokia-elisa-and-qualcomm-achieve-5g-speed-record-in-finland/#:~%7B%7D:text=Espoo%2CFinland--Nokiahttps%2CElisa,5GmmWave>.

²³ "Qualcomm TIM, Ericsson and Qualcomm Set World Record for Long Distance Speed with 5GmmWave Applied to FWA.," 2020. Ανακτήθηκε από <https://www.qualcomm.com/news/releases/2020/12/04/tim-ericsson-and-qualcomm-set-world-recordlong-distance-speed-5g-mmwave> (accessed on 8 December 2020)

²⁴ S. Nayak and R. Patgiri, "6G Communication: A Vision on the Potential Applications," in Edge Analytics, Springer, 2022, pp. 203–218.

ευθύνες ελέγχονται από έξυπνες μηχανές και διαδικασίες. Το 6G θα πρέπει να παρέχει ένα πλαίσιο στο οποίο προηγμένες διεργασίες και διεπαφές θα λειτουργούν με ελάχιστη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Τεχνητή νοημοσύνη, εικονική πραγματικότητα, μεγαλύτερη λειτουργικότητα των μηχανημάτων, υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, υψηλά αξιόπιστα δίκτυα με χαμηλή καθυστέρηση, επικοινωνία με μεγάλη ποικιλία συσκευών και αυξημένη προστασία και εμπειρία χρήστη είναι μερικές από τις κύριες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα 6G. Άλλες σχετικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν έξυπνες φορητές συσκευές, ιατρικά εμφυτεύματα, έξυπνα οχήματα χωρίς οδηγό και drones. Θα απαιτείται μια άνευ προβλημάτων μεταφορά δεδομένων έως και 10 GBPS για συσκευές που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα. Εκτιμάται ότι το δίκτυο 6G θα είναι 1.000 φορές πιο αποδοτικό σε σχέση με το 5G όσον αφορά τις εγκαταστάσεις με βάση την τεχνολογία. Όλα αυτά μπορούν να συμβάλλουν στη δημιουργία μιας καλά σχεδιασμένης κοινωνίας που προσέχει και προστατεύει το περιβάλλον, καθώς και της μείωσης των κινδύνων και της διαχείρισης καταστροφών. Η επόμενη γενιά αναμένεται να προκύψει ανταποκρινόμενη στην εμφάνιση του 6G. Πιο κάτω παρουσιάζονται μερικές από τις δυνατότητες που θα προκύψουν.

- Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή (Brain Computer Interface - BCI)

Ο έλεγχος μηχανών από ανθρώπους με το μυαλό τους μπορεί να φαίνεται σαν σενάριο επιστημονικής φαντασίας, αλλά γίνεται πραγματικότητα χάρη στις διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή. Η κατανόηση αυτής της αναδυόμενης τεχνολογίας θα διευκολύνει την θέσπιση αποτελεσματικών κανόνων πριν η BCI γίνει μέρος της καθημερινής ζωής. Η τεχνολογία BCI επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ της σκέψης ενός ατόμου και ενός εξωτερικού συστήματος, μετατρέποντας σήματα και δεδομένα. Προσφέρει στους ανθρώπους τη δυνατότητα να ελέγχουν και να διαχειρίζονται μηχανές απευθείας χωρίς την ανάγκη φυσικών περιορισμών. Εφαρμογές της BCI περιλαμβάνουν ασύρματες ακουστικές, εμφυτεύσιμες συσκευές και καθώς και άλλα εμφυτεύματα σώματος. Χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες BCI, το ανθρώπινο μυαλό θα μπορεί να επικοινωνεί με εξωτερικές συσκευές, οι οποίες θα αναλύουν και θα ερμηνεύουν τα δεδομένα. Η τεχνολογία 6G θα υποστηρίξει τη ροή δεδομένων από τις 5 ανθρώπινες αισθήσεις, επιτρέποντας στους χρήστες να κινούνται μέσα στο περιβάλλον με μια έξυπνη και απομακρυσμένη προσέγγιση. Η ασύρματη τεχνολογία BCI, βασισμένη στην τεχνολογία εικονικοποίησης, θα επιτρέπει στους χρήστες να συνδεθούν με το δικό τους περιβάλλον και με άλλους ανθρώπους, χρησιμοποιώντας ποικίλες ξεχωριστές φορητές συσκευές – wearables και ενσωματωμένα "έξυπνα" εμφυτεύματα σε ένα αναδυόμενο περιβάλλον 6G, έχοντας υπόψιν απόλυτα διαφορετικούς αλλά και «πλουσιότερους» τύπους συνδεσιμότητας. Η αύξηση των εξελιγμένων τεχνολογιών αυτού του είδους περιλαμβάνει τις επικοινωνίες αφής ή τακτιλικές επικοινωνίες, που προσομοιώνουν την αφή και τις αντιλήψεις που σχετίζονται με τον υπολογισμό, όπου μια συσκευή μπορεί να ανιχνεύσει και να ανταποκριθεί ακριβώς στα

συναισθήματα του χρήστη χρησιμοποιώντας αισθητήρες, μικρόφωνα, κάμερες και λογική κώδικα²⁵.

- Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης παρέχουν σημαντική δυνατότητα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ενεργειακής απόδοσης στο πράσινο μέλλον του 6G. Οι διαδικασίες βαθιάς μάθησης και ενίσχυσης μάθησης είναι μερικά παραδείγματα AI διαδικασιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής και του δικτύου 6G με οικονομικό τρόπο. Η τεχνητή νοημοσύνη θα ομαλύνει την πολυπλοκότητα του δικτύου για τον σχεδιασμό των ασύρματων διεπαφών 6G με την μάθηση της πολύπλοκης τοπολογίας του δικτύου και των μοτίβων κίνησης των χρηστών. Έξυπνες πόλεις, έξυπνα δίκτυα, αυτοκίνητα χωρίς οδηγό και αυτοματοποίηση βιομηχανίας είναι μόνο μερικές από τις διάφορες εφαρμογές που μπορούν να καταστήσουν την AI πιο ευρεία και κρίσιμη για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, οι διαδικασίες της AI και της μηχανικής μάθησης συχνά απαιτούν μεγάλο όγκο υπολογιστικών και επικοινωνιακών πόρων. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει μεγάλο πρόβλημα όσον αφορά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενεργειακά αποδοτικών αλγορίθμων μάθησης για τα μελλοντικά συστήματα 6G. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι η ταχύτητα μετάδοσης σε επίπεδο Gb (γιγαμπίτ) της έκτης γενιάς μπορεί να φέρει μια σημαντική παραδοχή παραδείγματος για την Τεχνητή Νοημοσύνη, με τη χρήση συστήματος καταμετρημένης μάθησης καθώς και μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης σε συσκευές και συστήματα που λειτουργούν κοντά στον τόπο παραγωγής ή χρήσης των δεδομένων, για να επωφεληθεί η «πανταχού παρούσα» Τεχνητή Νοημοσύνη. Η τεχνητή νοημοσύνη θα επιτρέπει στις μηχανές να σκέφτονται έξυπνα, επιτρέποντας τη λειτουργία ενός μεγάλου αριθμού διαδικασιών στο παρασκήνιο με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Η απλή μεταφορά δεδομένων μπορεί να τροποποιηθεί και να βελτιωθεί με την τεχνητή νοημοσύνη. Μεταλλικά υλικά, έξυπνα δίκτυα, ανεξάρτητα και ασύρματα δίκτυα και συστήματα ενσωματωμένης μάθησης θα συμβάλλουν όλα στην επιτυχία της. Οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις έχουν γίνει εφικτές στον τομέα της υγείας χάρη στη χρήση ρομπότ και τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι, η σύνθεση της τεχνητής νοημοσύνης με το 6G υπόσχεται να επιλύσει το πρόβλημα της πολυπλοκότητας του δικτύου και να ανοίξει τον δρόμο για ένα πιο βιώσιμο και αποτελεσματικό περιβάλλον.

- Το Διαδίκτυο των Πάντων στην Βιομηχανία (IIoE)

Παρά το γεγονός ότι οι φορητές συσκευές 5G μπορούν να υποστηρίξουν εκατοντάδες υπηρεσίες IoT, μπορεί να μην είναι ικανές να ικανοποιήσουν πλήρως τις ανάγκες και τις απαιτήσεις νέων εφαρμογών του IIoE. Για τον λόγο αυτό, οι λύσεις κινητής τηλεφωνίας 6G περιγράφονται ώστε να λειτουργούν πέρα από τα όρια της υποδομής Wifi 5G. Οι υπηρεσίες IIoE βασίζονται σε

²⁵ Osorio, D. P. M., Ahmad, I., Sánchez, J. D. V., Gurtov, A., Scholliers, J., Kuttila, M., & Porambage, P. (2022). Towards 6G-enabled Internet of vehicles: Security and privacy. IEEE Open Journal of the Communications Society. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3143098>

διασυνδεδεμένες έξυπνες υπηρεσίες, οι οποίες περιλαμβάνουν δεδομένα, αντικείμενα, ανθρώπους και διαδικασίες που συνδέονται έξυπνα. Περιγράφει έναν κόσμο όπου σε δισεκατομμύρια αντικείμενα είναι ενσωματωμένοι αισθητήρες για να αναγνωρίζουν τη θέση και την κατάστασή τους. Επιπλέον, το IIoE είναι ένας όρος που επικεντρώνει τη σημασία του IoT στις συνδέσεις μηχανής προς μηχανής (M2M) για τη δημιουργία ενός πιο σύγχρονου συστήματος που περιλαμβάνει ανθρώπους και διαδικασίες που επικοινωνούν μέσω δημόσιων ή ιδιωτικών δικτύων με τη χρήση πρωτοκόλλων ιδιοκτησίας. Εφαρμογές IIoE περιλαμβάνουν αισθητήρες, καλύτερες κινητές συσκευές, συστήματα μηχανής μάθησης, διεπαφές για απομακρυσμένες συσκευές με συστήματα μάθησης, και διάφορους τύπους διανεμημένου έξυπνου οδηγούμενου υλικού, όπως για παράδειγμα, στο πλαίσιο των έξυπνων πόλεων, μπορεί να αναφέρεται σε έξυπνα δρομολογητές ή αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία της πόλης και συνδέονται μεταξύ τους μέσω έξυπνων δικτύων.. Το Σύστημα Βιομηχανικού Ελέγχου (ICS), που συνδέεται στενά με τη ζωή των ανθρώπων, είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη του IIoE, καθώς η ασφάλειά του επηρεάζει ολόκληρο το IIoE. Το ICS, που συνδέεται με το διαδίκτυο, είναι μη ασφαλές στο κυβερνοχώρο. Τα συστήματα ανίχνευσης παρεισδύσεων (IDS) έχουν κερδίσει πολλή προσοχή ως μέσο προστασίας αυτών των πολύτιμων περιουσιακών στοιχείων²⁶.

Το CII είναι ο συνδυασμός των 6G, IoE και μιας μοναδικής αναπτυσσόμενης σχετικής τεχνολογίας που εξασφαλίζει νέες δυνατότητες, ευκαιρίες, υπηρεσίες και καθηλωτικές αναθεωρήσεις περιβάλλοντος μέσω της παροχής έξυπνων βιομηχανικών εφαρμογών, όπως περιλαμβανομένων των εργοστασίων που πραγματικά υπάρχουν και λειτουργούν (CIF), έξυπνων υπηρεσιών μεταφοράς (CIT), έξυπνων πόλεων (CIC), έξυπνων ρομπότ και drones (CIRD), έξυπνων τροφίμων και ποτών (CIFB). Το CIIW έχει ως στόχο να επανασχεδιάσει την ψηφιοποίηση προς την εξατομίκευση για κάθε είδος επιχειρησιακής δραστηριότητας προκειμένου να αναπτυχθούν μεγάλα οφέλη, βασιζόμενο στο όραμα σύνδεσης 6G, με προγράμματα 6GIIoE²⁷.

- Τεχνολογία Block Chain

Για να καλυφθούν οι ανάγκες αναπτυσσόμενων υπηρεσιών και προγραμμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν multi-gigabit ταχύτητες μετάδοσης, επιπλέον ακρίβεια και αυθεντικότητα, χαμηλή καθυστέρηση κάτω του 1 ms και διαδεδομένη συνδεσιμότητα για το Internet of Everything, η έκτη γενιά συνδεσιμότητας (6G) πρέπει να προσφέρει ακόμα υψηλότερες και καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τις προηγούμενες εποχές (IoE). Ωστόσο, λόγω της έλλειψης

²⁶ Lopez, M. A., Barbosa, G. N. N., & Mattos, D. M. F. (2022). New barriers on 6G networking: An exploratory study on the security, privacy and opportunities for aerial networks. In 1st international conference on 6G networking (6GNet). <https://doi.org/10.1109/6GNet54646.2022.9830402>

²⁷ Bhowmik, T., Bhadwaj, A., Kumar, A., & Bhushan, B. (2022). Machine learning and deep learning models for privacy management and data analysis in smart cities. In V. E. Balas, V. K. Solanki, & R. Kumar (Eds.), Recent advances in Internet of Things and machine learning (Intelligent systems reference library) (Vol. 215). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90119-6_13

πόρων συχνοτήτων, οικονομικός και αποδοτικός σχεδιασμός και κατανομή πόρων είναι κρίσιμοι για την επίτευξη όλων αυτών των υψηλών στόχων. Η τεχνολογία Block Chain είναι μια τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει σε όλα αυτά. Η Block Chain έχει αποκτήσει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο λόγω των ενσωματωμένων χαρακτηριστικών της, τα οποία είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για το δίκτυο 6G και άλλα δίκτυα. Συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση της Block Chain στο 6G θα ωθήσει το δίκτυο να διαχειρίζεται τη χρήση και κατανομή πόρων με μέγιστη αποδοτικότητα. Μέσω της συνδεσιμότητας με οικονομικές εφαρμογές για βιομηχανική χρήση, όπως απομακρυσμένη συντήρηση ή δικτύωση μεγάλης κλίμακας βιομηχανικών συστημάτων παραγωγής, θα επιτρέψει πολλές εφαρμογές και επιλογές υπηρεσιών που περιλαμβάνουν επιχειρηματικές εφαρμογές πέραν της Βιομηχανίας 4.0. Επιπλέον, η τεχνολογία Block Chain επιτρέπει την συνεχή παρακολούθηση του περιβάλλοντος μέσω της υλοποίησης αποκεντρωμένων προγραμμάτων συνεργατικής ανίχνευσης περιβαλλοντικών στοιχείων σε παγκόσμια κλίμακα, χρησιμοποιώντας το 6G. Η βελτιστοποίηση του τομέα της υγείας και η εφαρμογή έξυπνων συσκευών υγείας έχουν γίνει όλο και πιο σημαντικές παγκοσμίως, και ως αποτέλεσμα, τα δίκτυα 5G πρέπει να προχωρήσουν ένα βήμα παραπέρα για να αντιμετωπίσουν τις υφιστάμενες προκλήσεις. Χωρίς έναν κεντρικό εμπιστευτικό τρίτο φορέα, η αυτοδιαχείριση της ιδιωτικότητας και η ασφαλής αποθήκευση δεδομένων γίνονται εφικτές με τη χρήση της τεχνολογίας Block Chain²⁸.

- Επεκτεινόμενη Πραγματικότητα (XR)

Η επεκτεινόμενη πραγματικότητα θα επωφεληθεί σημαντικά από το 5G, αλλά δεν θα δούμε κάτι πραγματικά εντυπωσιακό μέχρι το 6G. Η λειτουργία έξυπνων δικτύων στη φιλοξενία πόρων επεκτεινόμενης πραγματικότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Όταν αυτές οι τεχνολογίες συνδυάζονται, έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν απίστευτα ισχυρές εφαρμογές XR. Πολυαισθητηριακές εμπειρίες, τηλεϊατρική και εμφυτεύματα είναι μερικές από τις δυνατότητες. Στο 6G, κινούμαστε μακριά από συσκευές με μπαταρίες και πηγαίνουμε προς δικτυοκεντρικές συσκευές που τροφοδοτούνται απομακρυσμένα και έξυπνα, εξαλείφοντας την ανάγκη για μπαταρίες²⁹.

Η επεκτεινόμενη πραγματικότητα, ή XR, μπορεί να υλοποιηθεί και να εμπορευματοποιηθεί σε διάφορες μορφές, συμπεριλαμβανομένων της εικονικής, ενισχυμένης και μικτής πραγματικότητας. Αποτελεί μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας που δημιουργείται από υπολογιστές. Η XR αποτελεί ουσιαστικά ένα υβριδικό μείγμα του πραγματικού και του εικονικού

²⁸ Le, T.-V., Lu, C.-F., Hsu, C.-L., Do, T. K., Chou, Y.-F., & Wei, W.-C. (2022). A Novel Three-Factor Authentication Protocol for Multiple Service Providers in 6G-Aided Intelligent Healthcare Systems. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158756>

²⁹ Hewa, T., Gür, G., Kalla, A., Ylianttila, M., Bracken, A., & Liyanage, M. (2020). The role of blockchain in 6G: Challenges, opportunities and research directions. In 2nd 6G wireless summit (6G SUMMIT). <https://doi.org/10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083784>

κόσμου· οι υπολογιστικές παιχνιδομηχανές μπορούν να παρέχουν μια 3D εμπειρία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση προηγμένων παιχνιδιών, προσομοίωσης και άλλων εφαρμογών. Η επεκτεινόμενη πραγματικότητα (XR) έχει πολλές αναξιοποίητες δυνατότητες, και αυτό οφείλεται στα όρια της ασύρματης τεχνολογίας. Αυτό είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους οι υποστηρικτές της είναι τόσο ενθουσιώδεις για το 5G και πέραν αυτού. Αισθητήρες ήχου-εικόνας, GPS ραντάρ και συστήματα μέτρησης αναμένεται να χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα χωρίς οδηγό. Τα UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν τη ναυτική ευφυία, τη γεωργία, την επιβολή του νόμου, την παράδοση προϊόντων, την αεροφωτογραφία και τη διαχείριση καταστροφών. Ενώ πολλοί ανέμεναν ότι το 5G θα κάνει επιτέλους δυνατή την επεκτεινόμενη πραγματικότητα (XR), θεωρούμε ότι το 6G θα είναι απαραίτητο για να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητές της. Παρ' όλα αυτά, με την εξέλιξη νέων τεχνολογιών, η επεκτεινόμενη πραγματικότητα θα πρέπει να συνεχίσει να βελτιώνεται όσον αφορά την ισχύ και τις δυνατότητες της.

- Η ασύρματη επικοινωνία με υποστήριξη Tera-Hertz

Παρά την οικονομικά αποδοτική χρήση του φάσματος των μικροκυμάτων (mm Wave) για την ανάπτυξη του 5G, υπάρχει η ανάγκη για ακόμη υψηλότερες ρυθμίσεις μεταφοράς δεδομένων. Αποτελεί μια προηγμένη τεχνολογία που αναπτύσσεται για τις δικτυακές συνδέσεις μετά την πέμπτη γενιά (5G) ασύρματων δικτύων.

Οι υψηλότερες συχνότητες στην περιοχή των THz (0.1-10 THz) είναι πιθανόν να αποτελέσουν το επόμενο βήμα στις ασύρματες επικοινωνίες για τις δικτυακές συνδέσεις μετά το 5G, ή για τις συνδέσεις της έκτης γενιάς (6G). Οι συχνότητες THz υπόσχονται επαρκές φάσμα, ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που υπερβαίνουν τα εκατό gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps), πιο αποδοτική συνδεσιμότητα, πυκνότερα δίκτυα και ιδιαίτερα σταθερές και αξιόπιστες επικοινωνίες. Μέσω της υποστήριξης των νανοαισθητήρων, τα δεδομένα στις συχνότητες THz μπορούν να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο νανοσυσκευών εντός και εκτός του σώματος, με δυνατότητα διαχείρισης απομακρυσμένων εντολών.

Το THz ως γενική έννοια, αναφέρεται στις συχνότητες που κυμαίνονται από 0.1 έως 10 THz, και αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική περιοχή στην έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ειδικότερα, η γενιά THz συνδυάζει την προηγμένη έρευνα σε διάφορους τομείς, όπως η ασύρματη επικοινωνία, η νανοτεχνολογία, η υγειονομική τεχνολογία και άλλες, με σκοπό να αναπτύξει και να εκμεταλλευτεί νέες ευκαιρίες και εφαρμογές που προκύπτουν από τις υψηλές συχνότητες.

Το US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), το Ερευνητικό Συμβούλιο των Ηνωμένων Πολιτειών και το consortium Semiconductor Research Consortium (SRC) το 2014 αναγνώρισαν το THz ως μία από τις τέσσερις κύριες και πλέον ζωτικές αναλυτικές περιοχές που θα μπορούσαν να έχουν πιο έντονη επίδραση στην κοινωνία ακόμα και από το Ίντερνετ. Οι έρευνες και οι καινοτομίες που έχουν συνδεθεί με την τεχνολογία THz αναμένεται να επηρεάσουν και να επαναπροσδιορίσουν τον τρόπο ζωής, τις επικοινωνίες, την υγεία, την

παραγωγή και πολλούς άλλους τομείς, προσφέροντας νέες δυνατότητες και προοπτικές για το μέλλον³⁰.

3.2 Κύριες τεχνολογικές προδιαγραφές και χαρακτηριστικά του 6G

Σε σύγκριση με την τεχνολογία 5G, η μελλοντική τεχνολογία 6G αναμένεται να επιτρέπει ακόμα υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης, ακόμα μικρότερους χρόνους καθυστέρησης, μεγαλύτερη πυκνότητα συστατικών και τη μαζική ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε όλα τα τμήματα που απαρτίζουν το δίκτυο. Καθώς προχωράμε προς την επόμενη γενιά της κινητής τηλεφωνίας 6G, πολλές προκλήσεις θα πρέπει να επιλυθούν πλήρως όσον αφορά τα μεμονωμένα συστατικά και τις αλληλεπιδράσεις τους. Για παράδειγμα, το μελλοντικό ασύρματο δίκτυο 6G θα αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό μικρών κυψελών κινητής τηλεφωνίας, εντός των οποίων μπορούν να μεταδοθούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων με ταχύτητα και ενεργειακή αποδοτικότητα³¹. Επομένως, οι συνδέσεις αυτών των κυψελών θα απαιτούν συνδέσεις που μπορούν να μεταδίδουν δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες γιγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο σε ένα μόνο κανάλι. Έως τότε, οι συχνότητες στη νέα ζώνη Τερα헤ρτζ που δεν έχουν ακόμα εξερευνηθεί για τις τηλεπικοινωνίες είναι ιδανικές για αυτόν τον σκοπό. Ένα άλλο καθήκον είναι να συνδέονται με διαφάνεια οι ασύρματοι σύνδεσμοι με τα δίκτυα οπτικών ινών προκειμένου να συνδυαστούν πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών, ιδιαίτερα όσον αφορά τη χωρητικότητα, την αξιοπιστία, την κινητικότητα και την ευελιξία³². Η μελλοντική τεχνολογία 6G θα ενσωματώνει το διαστημικό τμήμα για να διασφαλίσει την παγκόσμια κάλυψη. Θα ενσωματώσει επίσης τον θαλάσσιο χώρο. Το κινητό σύστημα 6G για παγκόσμια κάλυψη θα ενσωματώσει ένα ασύρματο κινητό σύστημα 5G και δορυφορικό δίκτυο. Ένα δορυφόρος μπορεί να καθοριστεί ως ένας ραδιοηλεκτρικός επαναλήπτης που βρίσκεται στο διάστημα, ο οποίος λαμβάνει σήματα που παράγονται στη γη, τα ενισχύει και τα στέλνει πίσω στη γη, είτε στο ίδιο σημείο από όπου

³⁰ Sonia Chhabra, Manpreet Kaur Aiden, Shweta Mayor Sabharwal & Mustafa Al-Asadi 2023 5G and 6G Technologies for Smart City Διαθέσιμο στο: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-22922-0_14

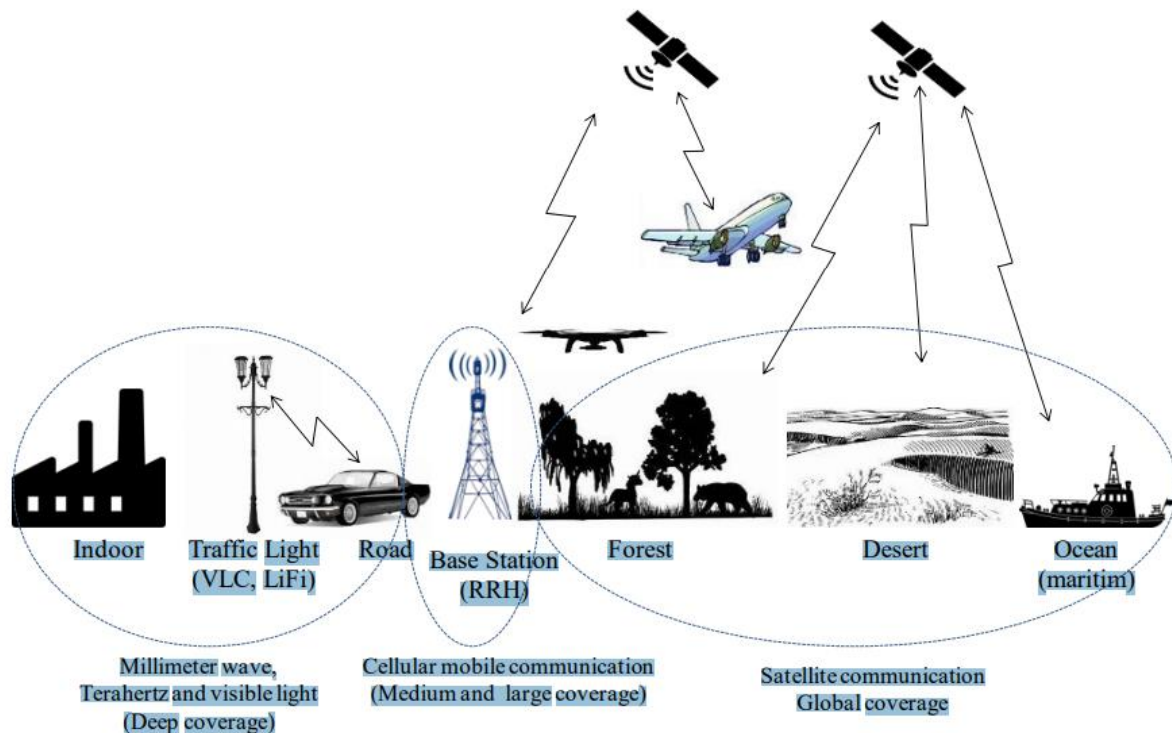
³¹ FG-NET-2030, Network 2030, "A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond", (2019) M.Katz, M.Matinmikko, M.L.Aho, "6Genesis Flagship Program Building the Bridges towards 6G-Enabled Wireless Smart Society and Ecosystem", IEEE, 10th Latin-American Conference on Communications (LATICOM), pp. 1-9, (2018)

³² Nishith D. Tripathi and Jeffrey H. Reed, "5G Cellular Communications-Journey and Destination", Multimedia eBook, Ανακτήθηκε από <https://thewirelessuniversity.com/>, (2019)

Farhadi Zavleh A, Bakhshi H. Resource allocation in sparse code multiple access-based systems for cloud-radio access network in 5G networks. Trans Emerging Tel Tech. ;e4153. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1002/ett.4153> (2020)

προήλθε το σήμα, είτε σε διαφορετική θέση³³. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει ένα παράδειγμα αρχιτεκτονικής 6G.

Το Σχήμα 5 δείχνει ότι η τεχνολογία 6G επιτρέπει διάφορους τύπους κάλυψης, από την εμβάθυνση της κάλυψης μέχρι την παγκόσμια κάλυψη. Η τεχνολογία 6G χρησιμοποιεί μπάντες υπέρυθρων κυμάτων (mmWave), Τεραχερτζ και ορατού φωτός για να επιτρέψει την εμβάθυνση της κάλυψης. Για μεσαία και εκτενή κάλυψη, η 6G χρησιμοποιεί κυψελοειδείς κινητές επικοινωνίες, και για παγκόσμια κάλυψη, η 6G χρησιμοποιεί δορυφορικές επικοινωνίες³⁴.



³³ Y.Zhou, L.Liu, L.Wang, N.Hui, X.Cui, J.Wu, Y.Peng, Y.Qi, C.Xing, "Service aware 6G : An intelligent and open network based on convergence of communication, computing and caching", Digital Communications and Networks, Elsevier, (2020)

³⁴ Slalmi A. Chaibi H. "Toward 6G : Understanding network requirements and key performance

Indicators", ResearchGate, 2021, Διαθέσιμο στο:

https://www.researchgate.net/publication/347990078_Toward_6G_Understanding_network_requirements_and_key_performance_indicators

3.3 Εφαρμογές και προοπτικές του 6G στις έξυπνες πόλεις

Οι εφαρμογές και προοπτικές του 6G στις έξυπνες πόλεις είναι πολλές και ποικίλες. Ο προβλεπόμενος εξελισσόμενος χαρακτήρας του 6G δημιουργεί νέες δυνατότητες για τη σύνδεση και επικοινωνία σε περιβάλλοντα πόλεων με πολύ υψηλή ευκρίνεια, ταχύτητα και αξιοπιστία. Ορισμένες από τις εφαρμογές και προοπτικές του 6G στις έξυπνες πόλεις περιλαμβάνουν την υπερσυνδεσιμότητα (Hyperconnectivity), τις ευφυείς μεταφορές, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την υγεία και ευεξία, την εκπαίδευση και τον πολιτισμό καθώς και την ασφάλεια, την προστασία και τον αυτοματισμό των πόλεων. Το 6G θα επιτρέπει τη σύνδεση ενός πολύ μεγάλου αριθμού συσκευών και αισθητήρων, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διάφορων πτυχών της πόλης, όπως η κυκλοφορία, η ενεργειακή κατανάλωση και η ασφάλεια. Επίσης, θα επιτρέπει την ανάπτυξη εξελιγμένων συστημάτων μεταφορών, όπως αυτόνομα οχήματα και έξυπνα δίκτυα μεταφοράς, βελτιώνοντας την κυκλοφορία και μειώνοντας τις εκπομπές. Οι τεχνολογίες του 6G θα βοηθήσουν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πόλεων, με την επικοινωνία μεταξύ συσκευών που απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Οι εφαρμογές του 6G μπορούν να υποστηρίξουν την παρακολούθηση της υγείας των κατοίκων, με τη συνεχή συλλογή και ανάλυση δεδομένων υγείας. Το 6G μπορεί να επιτρέψει νέες μορφές εκπαίδευσης και πρόσβασης στον πολιτισμό μέσω εξελιγμένων τεχνολογιών πραγματικότητας εικονικής πραγματικότητας. Μπορεί ακόμα να συμβάλει στη βελτίωση των συστημάτων ασφαλείας, παρέχοντας πιο γρήγορη και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων για την αντιμετώπιση κινδύνων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Τέλος, οι τεχνολογίες του 6G μπορούν να συμβάλουν στον αυτοματισμό και την έξυπνη λειτουργία διάφορων υποδομών της πόλης, όπως τα φωτιστικά σώματα και τα συστήματα κλιματισμού.

Αυτές είναι μόνο μερικές από τις πολλές δυνατότητες που προσφέρει το 6G για τις έξυπνες πόλεις. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, αναμένεται να δημιουργηθούν καινοτόμες λύσεις που θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής στις πόλεις.

3.4 Πλεονεκτήματα και προκλήσεις της μετάβασης από το 5G στο 6G

Μετά από σχεδόν οκτώ χρόνια εντατικής ακαδημαϊκής έρευνας και βιομηχανικών δοκιμών στο 5G, τα διδάγματα που φανερώνουν ότι το 5G μπορεί πράγματι να υποστηρίξει νέες εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων (π.χ. εξαιρετικά ευρυζωνική ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας), κυρίως μέσω προόδων στην τεχνολογία massive multiple-input multiple-output (mMIMO). Το 5G ακόμα δυσκολεύεται να υποστηρίξει το λεγόμενο Internet of Everything (IoE), όπου μυριάδες συσκευές σε ένα γεωγραφικό κύβο απαιτούν είτε χαμηλή καθυστέρηση, εξαιρετικά αξιόπιστη συνδεσιμότητα είτε ασύρματη πρόσβαση στο Internet με ταχύτητες gigabit-

per-second εκμεταλλευόμενες το φάσμα των υπερύψηλών συχνοτήτων (mmWave)/THz³⁵. Σε μια νέα δεκαετία, η ιδέα του 6G άρχισε προσωρινά να κυκλοφορεί στην ασύρματη κοινότητα, και το συμπέρασμα είναι ότι το 6G θα προσπαθήσει να αντιμετωπίσει τα ελαττώματα του 5G με τρεις επιστημονικούς πυλώνες, ψηλαφώντας την επικοινωνία σε υψηλότερες συχνότητες (mmWave και THz), δημιουργώντας έξυπνα περιβάλλοντα ραδιοφωνικής επικοινωνίας μέσω αναδιαμορφώσιμων επιφανειών και καταργώντας τις συμβατικές δομές κυττάρων, επίσης γνωστές ως cell-free mMIMO.

Αναλυτικά οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει το 6G είναι στο σχεδιασμό μονάδας απορρόφησης (Unit Cell Design), όπου η πρόκληση έγκειται στη δύσκολη εξισορρόπηση για επίτευξη επιθυμητής απόδοσης και πολυπλοκότητας μονάδας κυττάρου. Έπειτα ο σχεδιασμός ευέλικτων και αποδοτικών λύσεων IRS με χαμηλό κόστος, η καταπολέμηση προβλημάτων συνόρων, επίτευξη αποδοτικότητας ενέργειας και φάσματος (Cell-Free mMIMO) με τον σχεδιασμό κλιμακούμενων πρωτοκόλλων μετάδοσης και ελέγχου ισχύος. Καλείται επίσης να ανταπεξέλθει στο σχεδιασμό πρακτικών προσεγγίσεων πελάτη με αύξηση του αριθμού των APs και χρηστών, στην αντιμετώπιση προβλημάτων αποστολής πακέτων και σχεδιασμού πομποδέκτη σε υψηλές συχνότητες, καθώς και στον σχεδιασμό πομποδέκτη με μικρό μέγεθος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε υψηλές συχνότητες. Βελτιωμένη κανονικοποίηση για μετρήσεις σε υψηλές συχνότητες και πρότυπα. Μία άλλη πρόκληση είναι η ροή σήματος στην εποχή του 6G, όπου πρέπει να γίνει επανεξέταση των μεθόδων εκτίμησης καναλιού και φίλτρων προσαρμογής για υψηλή διάσταση και συνθήκες κινητικότητας. Τέλος η ανάπτυξη φίλτρων προσαρμογής που είναι ανθεκτικά στις απαιτήσεις του 6G, λαμβάνοντας υπόψη υψηλή διάσταση και ανομοιογενή σήματα, αποτελεί μία πρόκληση. Αναλύοντας σύντομα τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι παρά το γεγονός ότι οι συμβατικές ανακλαστικές επιφάνειες είναι στατικές και προγραμματίζονται σκληρά κατά τη σχεδιάσή τους, ένα Σύστημα Ανακλαστικών Επιφανειών (IRS) μπορεί να προσαρμόσει δυναμικά την ανακλαστική του απόκριση με εντελώς ηλεκτρονικό τρόπο. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς τα χαρακτηριστικά των επικοινωνιακών περιβαλλόντων έχουν δυναμικά χαρακτηριστικά, όπως ο αριθμός των συνδεδεμένων χρηστών και η μη στατική κατανομή της τοποθεσίας. Έτσι, η δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής των χαρακτηριστικών του αντικατοπτριζόμενου μετώπου κύματος παίζει κρίσιμο ρόλο στα μελλοντικά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας. Η δυναμική ρύθμιση ενός IRS μπορεί να επιτευχθεί με χρήση υλικών με μεταβλητές ηλεκτρικές ιδιότητες (όπως τα υγρά κρυστάλλια) ή τη φόρτωση των μονάδων κυψελίδας με στοιχεία ημιαγωγών χαμηλής ισχύος. Παρόλες τις προκλήσεις, η επίλυση αυτών των ζητημάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας IRS στα

³⁵ W. Saad, M. Bennis and M. Chen, May/June 2020. A Vision of 6G Wireless Systems: Applications Trends Technologies and Open Research Problems, IEEE Network, vol. 34, no. 3, pp. 134-42,

T. S. Rappaport et al., "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond", IEEE Access, vol. 7, pp. 78, 729-57, 2019

μελλοντικά δίκτυα 6G³⁶. Η πρακτική προσέγγιση εκ μέρους του χρήστη στο Cell-Free mMIMO αντιμετωπίζει προκλήσεις σε σχέση με την κλιμάκωση. Συγκεκριμένα, πρέπει να αναπτυχθεί μια δομή που είναι εφαρμόσιμη όταν το δίκτυο είναι μεγάλο, με πολλά σημεία πρόσβασης (APs) και/ή πολλούς χρήστες³⁷. Η διαίρεση των APs σε αποκεντρωμένους συστάδες (network-centric) ή η εξυπηρέτηση κάθε χρήστη από ένα υποσύνολο επιλεγμένων APs (user-centric) αποτελούν δύο προσεγγίσεις, με τη δεύτερη να παρουσιάζει περισσότερη ευελιξία και κλιμάκωση. Η πρόκληση είναι να σχεδιαστεί μια πρακτική προσέγγιση για την εξυπηρέτηση των χρηστών, λαμβάνοντας υπόψη την κλιμάκωση, τον έλεγχο και την αλλαγή της τοποθεσίας τους³⁸. Στο Cell-Free mMIMO, ο έλεγχος της ισχύος είναι κρίσιμος για τη βελτιστοποίηση του αναλογικού-ψηφιακού προ-επεξεργαστή και την απόκριση των σημάτων. Στις υψηλές συχνότητες του 6G, όπου χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, το βάρος και η απόδοση είναι κρίσιμα, ο έλεγχος αυτός πρέπει να είναι κλιμακούμενος και αποτελεσματικός³⁹. Η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν πρωτότυπα πρωτόκολλα μετάδοσης και τεχνικές ελέγχου ισχύος που είναι κλιμακούμενα, ενώ παράλληλα είναι χαμηλού κόστους, αποδοτικά ενεργειακά και περιορίζουν την πολυπλοκότητα του συστήματος. Επίσης, η εφαρμογή προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας σημάτων σε κατανεμημένα σημεία πρόσβασης είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της απόδοσης σε σύνθετα περιβάλλοντα⁴⁰. Στο πλαίσιο της έρευνας για το Cell-Free mMIMO, ο σχεδιασμός ενός κατάλληλου σχήματος επεξεργασίας σήματος (SP) που προσφέρει υψηλή απόδοση και μπορεί να εφαρμοστεί κατανεμημένα αποτελεί μία από τις τελικές προκλήσεις. Η κλασική επιλογή συνδυαστικής διαμόρφωσης δέσμης συνήθως προτιμάται, αλλά η απόδοσή της είναι περιορισμένη σε σύγκριση με άλλες γραμμικές μεθόδους επεξεργασίας. Η πρόκληση εδώ είναι να βρεθεί ένα σχήμα SP που προσφέρει καλή απόδοση, είναι κλιμακούμενο, και μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις χαμηλής πολυπλοκότητας και κόστους του συστήματος. Οι υψηλότερες συχνότητες που θα χρησιμοποιηθούν στα ασύρματα συστήματα 6G, όπως οι τεχνολογίες MmWave (30 έως 300 GHz) και THz (300 GHz έως 3 THz), θα απαιτήσουν καινοτόμες προσεγγίσεις στη συσκευασία και τη σύνδεση. Η πρόκληση εδώ είναι να αναπτυχθούν τεχνικές συσκευασίας που να παρέχουν αξιόπιστες συνδέσεις μεταξύ των

³⁶ H. T. Chen, A. J. Taylor and N. Yu, "A Review of Metasurfaces: Physics and Applications", Reports on Progress in Physics, vol. 79, no. 7, pp. 076401, 2016

³⁷ H. Q. Ngo et al., "Cell-Free Massive MIMO Versus Small Cells", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 3, Mar. 2017

³⁸ H. Q. Ngo et al., "On the Total Energy Efficiency of Cell-Free Massive MIMO", IEEE Trans. Green Commun. Net., vol. 2, no. 1, pp. 25-39, 2017

³⁹ G. Interdonato et al., "Ubiquitous Cell-Free Massive MIMO Communications", EURASIP J. Wireless Commun. Net., vol. 2019, no. 1, pp. 197, 2019.

⁴⁰ M. Chen et al., "Artificial Neural Networks-Based Machine Learning for Wireless Networks: A Tutorial", IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3039-71, 2019.

ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και του περιβάλλοντος λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή συχνότητα και τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο των ασύρματων συστημάτων 6G, που θα λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες, η σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος εκπομπής/λήψης γίνεται πιο δύσκολη. Οι υψηλές συχνότητες επηρεάζουν παραμέτρους όπως τη μικρή φυσική διάσταση και την απόδοση ενέργειας. Εδώ, η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν σχήματα εξασφάλισης σύνδεσης και λειτουργίας των επικειμένων σε αυτές τις υψηλές συχνότητες, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές αποστολής πακέτων και σύνδεσης. Η μέτρηση και η τυποποίηση στις ζώνες συχνοτήτων του THz αποτελούν πρόκληση λόγω της υψηλής συχνότητας. Η ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων μέτρησης και τυποποίησης είναι ουσιώδης για την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων σε αυτές τις ζώνες. Εδώ, η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν αξιόπιστες μέθοδοι μέτρησης και τυποποίησης στις συχνότητες του THz, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή συχνότητα και τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος. Στα πλαίσια της επόμενης γενιάς ασύρματων συστημάτων 6G, η εκτίμηση του καναλιού αποτελεί ουσιώδη πρόκληση. Η αποτελεσματική εκτίμηση πρέπει να αντιμετωπίσει τη σύντομη διάρκεια συνέπειας του καναλιού και τον αυξημένο αριθμό των παραμέτρων προς εκτίμηση λόγω της υψηλής κλιμάκωσης του αριθμού των κεραιών και των χρηστών. Εδώ, η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν αξιόπιστες μέθοδοι εκτίμησης καναλιού που θα είναι συμβατές με τις υψηλές απαιτήσεις σε ταχύτητα μετάδοσης και χαμηλή καθυστέρηση. Τέλος, στον τομέα του Cell-Free mMIMO, η πρόκληση είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών φίλτρων προσαρμογής που θα εφαρμόζονται δυναμικά στις συνθήκες εκπομπής/λήψης. Αυτό πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τη σπανιότητα των δειγμάτων, την απουσία ιδανικών συνθηκών στα υψηλά επίπεδα κινητικότητας και την ύπαρξη ενδεχόμενων πηγών θορύβου. Στο πλαίσιο αυτό, η πρόκληση είναι η ανάπτυξη φίλτρων προσαρμογής που θα είναι ανθεκτικά σε αυτούς τους παράγοντες, χρησιμοποιώντας εργαλεία και κατευθύνσεις από τη στατιστική ανάλυση, τη θεωρία των τυχαίων πινάκων και την εκτίμηση υψηλών διαστάσεων⁴¹.

Η εποχή του 6G είναι λιγότερο από δέκα χρόνια μακριά και είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε εγκαίρως ποιες είναι οι βασικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί επικοινωνιών. Παραπάνω παρουσιάστηκαν μερικές άμεσες προκλήσεις, οι οποίες θα απαιτήσουν την ταυτόχρονη εκμετάλλευση των ειδικοτήτων στη Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων, τη Θεωρία Πληροφοριών, τον Ηλεκτρομαγνητισμό και τη Φυσική Υλοποίηση.

⁴¹ Matthaiou M. Yurduseven O. et al. 2021. The Road to 6G: Ten Physical Layer Challenges for Communications Engineers Διαθέσιμο στο: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9356519/>

4 *Αρχές και τεχνολογίες του 6G*

4.1 Εξήγηση των βασικών αρχών και χαρακτηριστικών του 6G

Η έξυπνη κοινωνία πληροφοριών του 2030 θα χαρακτηρίζεται από υψηλή ψηφιοποίηση, εμπνευσμένη από την τεχνητή νοημοσύνη και οδηγούμενη από δεδομένα παγκοσμίως, δίνοντας τη δυνατότητα για άμεση και απεριόριστη ασύρματη συνδεσιμότητα ⁴². Το 6G θα αποτελέσει το κλειδί για την υλοποίηση αυτής της πρότασης. Θα συνδέει κάθε τι, παρέχοντας πλήρη ασύρματη κάλυψη σε όλες τις διαστάσεις και ενσωματώνοντας όλες τις λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, επικοινωνίας, υπολογισμού, αποθήκευσης, ελέγχου, θέσης, ραντάρ, πλοήγησης και απεικόνισης, προκειμένου να υποστηρίξει πλήρως κατακόρυφες εφαρμογές. Το 6G θα αποτελέσει ένα αυτόνομο οικοσύστημα με νοημοσύνη και συνείδηση, με εξέλιξη από μια κεντρική προσανατολισμένη προς τον άνθρωπο κοινωνία προς μια που είναι προσανατολισμένη προς τον άνθρωπο και τη μηχανή. Θα παρέχει πολλαπλούς τρόπους επικοινωνίας, όπως μέσω δαχτύλων, φωνής, ματιών και κυματισμών του εγκεφάλου (ή νευρικά σήματα), για να διευκολύνει την επικοινωνία και την αλληλεπίδραση με έξυπνα τερματικά.

Το κινητό Διαδίκτυο και το Διαδίκτυο των Πάντων (IoE) αποτελούν δύο κινητήριες δυνάμεις για το 6G που θα υποστηρίξουν ολογραφικές και υψηλής ακρίβειας επικοινωνίες για απτικές και υφαντικές εφαρμογές (π.χ., το απτικό Διαδίκτυο)⁴³, προκειμένου να παρέχεται μια πλήρης αισθητηριακή εμπειρία (δηλαδή, όραση, ακοή, μυρωδιά, γεύση και αφή). Αυτό απαιτεί την επεξεργασία ενός πολύ υψηλού όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ακραία υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (περίπου Tb/s) και χαμηλή καθυστέρηση. Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα 6G θα:

- Υποστηρίξουν βίντεο υπερ-υψηλής ευκρίνειας (SHD) και ακραία υψηλής ευκρίνειας (EHD), με απαιτήσεις ακραία υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων

⁴² M. Latva-aho, "Radio access networking challenges towards 2030," in Proc. 1st International Telecommunication Union Workshop on Network 2030, New York, Oct. 2018. [Online]. Διαθέσιμο στο: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-andSeminars/201810/Documents/Matt_Latvaaho_Presentation.pdf

⁴³ R. Li, "Network 2030: Market drivers and prospects," in Proc. 1st International Telecommunication Union Workshop on Network 2030, New York, Oct. 2018. Διαθέσιμο στο: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201810/Documents/Richard_Li_Presentation.pdf

- Παρέχουν επικοινωνίες με ακραία χαμηλή καθυστέρηση (περίπου 10 μ s) για το βιομηχανικό Διαδίκτυο.
- Υποστηρίζουν το Διαδίκτυο των Νάνο-Πραγμάτων και το Διαδίκτυο των Σωμάτων μέσω έξυπνων φορετών συσκευών και επικοινωνιών μέσα στο σώμα με χρήση εμφυτεύσιμων νανοσυσκευών και νανοαισθητήρων με ακραία χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (τάξης των πικοβατ(pW), νανοβατ(nW) και μικροβατ(μ W)).
- Υποστηρίζουν επικοινωνίες υποθαλάσσια και διαστημικά, επεκτείνοντας σημαντικά τα όρια της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως η θαλάσσια θέατρα και ο διαστημικός ταξιδιωτικός τουρισμός.
- Παρέχουν συνεπείς εμπειρίες υπηρεσιών σε νέα σενάρια, όπως ο υπερύψηλης ταχύτητας σιδηρόδρομος (HSR).
- Βελτιώνουν τις κάθετες εφαρμογές 5G, όπως το Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και τα πλήρως αυτόνομα οχήματα⁴⁴.

Συνεπώς, τα τυπικά σενάρια που φαίνονται στο Σχήμα 1, θα πρέπει να υποστηρίζονται από το 6G, συμπεριλαμβανομένης της περαιτέρω ενίσχυσης της κινητής ευρυζωνικότητας, των υπερμαζικών επικοινωνιών τύπου μηχανής, των ακραία αξιόπιστων και χαμηλών καθυστερήσεων επικοινωνιών (γνωστών και ως ενισχυμένες αξιόπιστες και χαμηλές καθυστερήσεις επικοινωνίες), των επικοινωνιών μεγάλης απόστασης και υψηλής κινητικότητας, και των ακραία (ή υπερ-) χαμηλών καταναλώσεων επικοινωνιών.

⁴⁴ IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, International Telecommunication Union–Radiocommunications Sector, Recommendation ITU-R M.2083-0, Sept. 2015

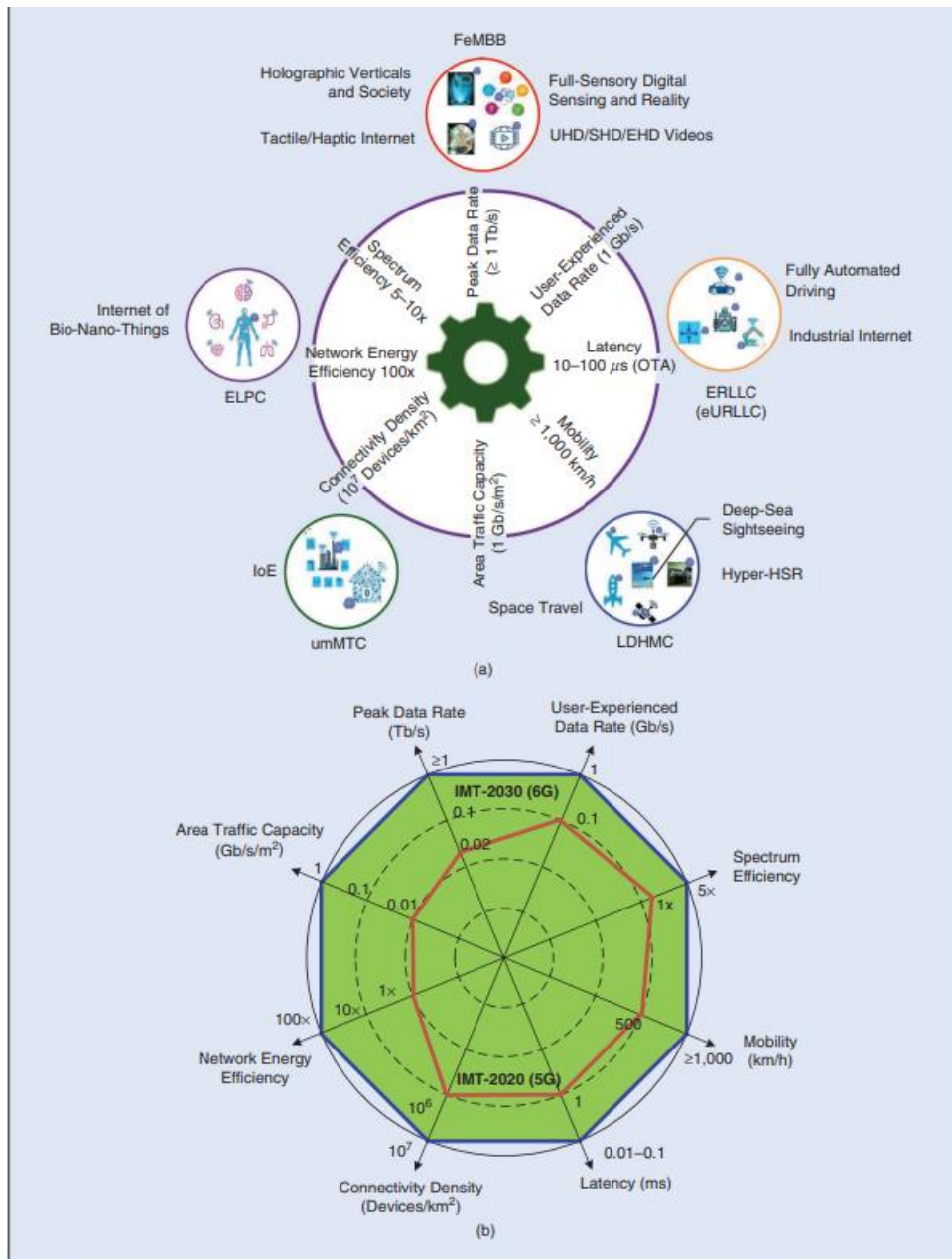


FIGURE 1 The (a) typical scenarios and (b) key capabilities of 6G networks [6]. IMT-2030: International Mobile Telecommunications 2030; eURLCC: extremely ultrareliable and low-latency communications.

Απαιτήσεις:

Οι βασικοί δείκτες απόδοσης περιλαμβάνουν αποτελεσματικότητα φάσματος και ενέργειας, υψηλότερο ρυθμό δεδομένων, ρυθμό δεδομένων που εμπειρεύεται ο χρήστης, χωρητικότητα κυκλοφορίας περιοχής (ή χωρητικότητα κυκλοφορίας χώρου), πυκνότητα συνδεσιμότητας, καθυστέρηση και κινητικότητα⁴⁵. Οι λεπτομερείς τεχνικοί στόχοι περιλαμβάνουν:

⁴⁵ J. Liu, Y. Shi, Z. M. Fadlullah, and N. Kato, "Space-air-ground integrated network: A survey," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 20, no. 4, pp. 2714–2741, 2018. doi: 10.1109/COMST.2018.2841996

- Έναν ρυθμό δεδομένων κορυφής τουλάχιστον 1 Tb/s⁴⁶, που είναι 100 φορές περισσότερο από το 5G. Για ορισμένα ειδικά σενάρια, όπως ο ασύρματος σύνδεσμος THz αναμένεται να φτάσει έως και 10 Tb/s.

Προδιαγραφές:

- Ρυθμός δεδομένων που εμπειρεύεται ο χρήστης τουλάχιστον 1 Gb/s, που αντιστοιχεί σε 10 φορές τον ρυθμό του 5G. Αναμένεται επίσης να παρέχει ρυθμό δεδομένων που εμπειρεύεται ο χρήστης έως και 10 Gb/s για ορισμένα σενάρια, όπως εσωτερικοί χώροι με υψηλή κίνηση.

- Καθυστέρηση στην επικοινωνία πάνω από τον αέρα από 10 έως 100 μ s και υψηλή κινητικότητα (1000 Km/h). Αυτό θα παρέχει αποδεκτή ποιότητα εμπειρίας για σενάρια όπως υπερ-υψηλής ταχύτητας σιδηροδρομικά (HSR) και συστήματα αεροπορικών εταιριών.

- Δέκα φορές τη συνδεσιμότητα πυκνότητας σε σχέση με το 5G, φτάνοντας έως 10^7 συσκευές/Km και χωρητικότητα κυκλοφορίας περιοχής έως 1 Gb/s/m² για σενάρια όπως οι χώροι με υψηλή κίνηση.

- Αποδοτικότητα ενέργειας 10–100 φορές και αποτελεσματικότητα φάσματος 5–10 φορές αυτές του 5G.

Για να ικανοποιηθούν τα τυπικά σενάρια και οι εφαρμογές για την έξυπνη κοινωνία πληροφοριών του 2030, το 6G θα παρέχει υπερισχυρές δυνατότητες δικτύου. Το Σχήμα 2 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά δικτύου του ανθρώπου-κεντρικού 4G, του Διαδικτύου των Πάντων (IoE) 5G και του μέλλοντος 6G που επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση των πάντων.

⁴⁶ A.-A. A. Boulogeorgos et al. "Terahertz technologies to deliver optical network quality of experience in wireless systems beyond 5G," IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 6, pp. 144–151, June 2018. doi: 10.1109/MCOM.2018.1700890.

		4G	5G	6G
Usage Scenarios		• MBB	• eMBB • URLLC • mMTC	• FeMBB • ERLLC • umMTC • LDHMC • ELPC
Applications		• High-Definition Videos • Voice • Mobile TV • Mobile Internet • Mobile Pay	• VR/AR/360° Videos • UHD Videos • V2X • IoT • Smart City/Factory/Home • Telemedicine • Wearable Devices	• Holographic Verticals and Society • Tactile/Haptic Internet • Full-Sensory Digital Sensing and Reality • Fully Automated Driving • Industrial Internet • Space Travel • Deep-Sea Sightseeing • Internet of Bio-Nano-Things
Network Characteristics		Flat and All-IP	• Cloudization • Softwarization • Virtualization • Slicing	• Intelligentization • Cloudization • Softwarization • Virtualization • Slicing
Service Objects		People	Connection (People and Things)	Interaction (People and World)
KPI	Peak Data Rate	100 Mb/s	20 Gb/s	≥1 Tb/s
	Experienced Data Rate	10 Mb/s	0.1 Gb/s	1 Gb/s
	Spectrum Efficiency	1×	3× that of 4G	5–10× that of 5G
	Network Energy Efficiency	1×	10–100× that of 4G	10–100× that of 5G
	Area Traffic Capacity	0.1 Mb/s/m ²	10 Mb/s/m ²	1 Gb/s/m ²
	Connectivity Density	10 ⁵ Devices/km ²	10 ⁶ Devices/km ²	10 ⁷ Devices/km ²
	Latency	10 ms	1 ms	10–100 μs
	Mobility	350 km/h	500 km/h	≥1,000 km/h
Technologies		• OFDM • MIMO • Turbo Code • Carrier Aggregation • Hetnet • ICIC • D2D Communications • Unlicensed Spectrum	• mm-Wave Communications • Massive MIMO • LDPC and Polar Codes • Flexible Frame Structure • Ultradense Networks • NOMA • Cloud/Fog/Edge Computing • SDN/NFV/Network Slicing	• THz Communications • SM-MIMO • LIS and HBF • OAM Multiplexing • Laser and VLC • Blockchain-Based Spectrum Sharing • Quantum Communications and Computing • AI/Machine Learning

FIGURE 2 The network features of 4G, 5G, and the future 6G. AR: augmented reality; ELPC: extremely low-power communications; eMBB: enhanced mobile broadband; ERLLC: extremely reliable and low-latency communications; FeMBB: further-enhanced mobile broadband; LDHMC: long-distance and high-mobility communications; mMTC: massive machine-type communications; NFV: network function virtualization; SDN: software-defined networking; UHD: ultrahigh definition; umMTC: ultra-massive machine-type communications; URLLC: ultrareliable and low-latency communications; VR: virtual reality; V2X: vehicle to everything; KPI: key performance indicator; LDPC: low-density parity check codes.

Στη συνέχεια, συζητούνται οι προσδιορισμοί σχεδιασμού για το 6G, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

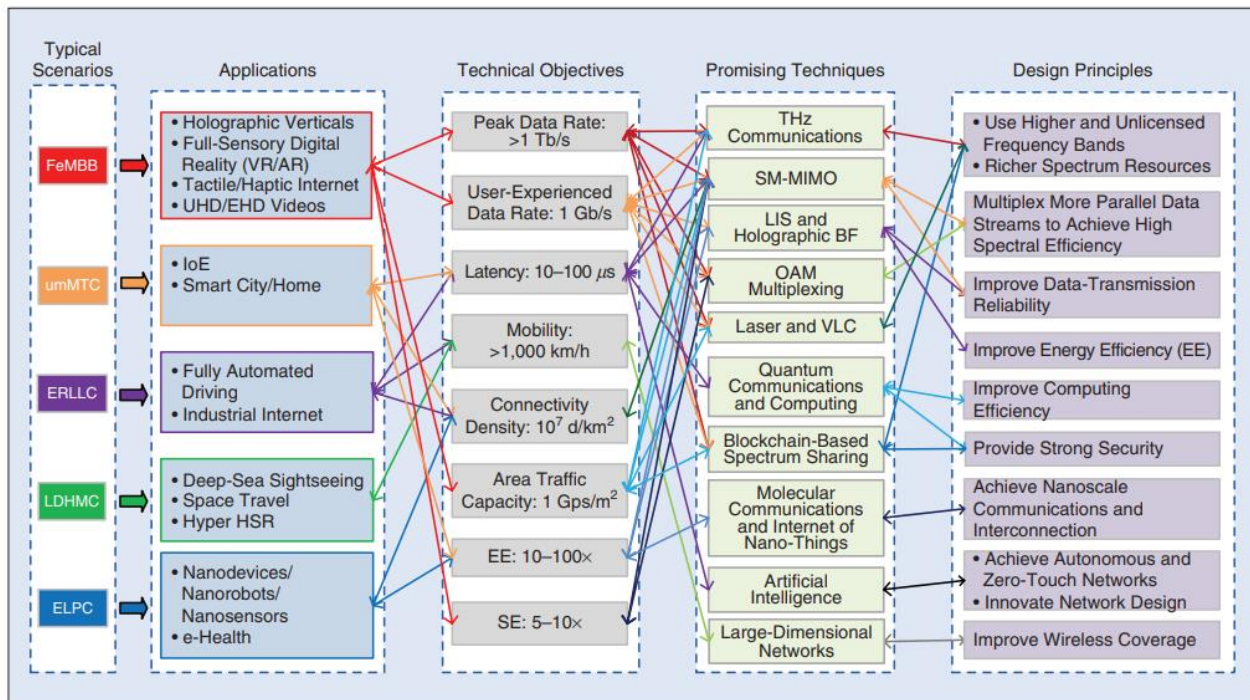


FIGURE 3 Design considerations for 6G networks. SE: spectrum efficiency.

Κατά την εποχή του 6G, η ανθρώπινη δραστηριότητα θα επεκταθεί δραματικά από το έδαφος στον αέρα, το διάστημα και το βαθύ πέλαγος. Ταυτόχρονα, οι άνθρωποι θα δίνουν περισσότερη προσοχή σε ανθρώπινους μικρόκοσμους και χώρους που βελτιώνουν την υγεία και τις ικανότητες και παρατείνουν τη ζωή. Για να το επιτύχει αυτό, το 6G θα πρέπει να παρέχει πλήρη ασύρματη κάλυψη. Με βάση τα δίκτυα του χώρου-αέρα-γης του 5G, το 6G θα ενσωματώσει περαιτέρω τα υποβρύχια (ή θαλάσσια) δίκτυα για το σχηματισμό ενός δικτύου χώρου-αέρα-γης-υποβρύχιου μεγάλων διαστάσεων. Επιπλέον, τα δίκτυα 6G θα είναι αυτόνομα και χωρίς αναγγελία, για να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα της λειτουργίας και τη συντήρηση του δικτύου και να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα. Η νοημοσύνη είναι το κλειδί για την επίτευξη αυτών των αυτόνομων δικτύων· επομένως, η τεχνητή νοημοσύνη θα είναι η κύρια καινοτομική τεχνική για το 6G. Συνεπώς, δύο σημαντικά χαρακτηριστικά του 6G θα είναι τα δίκτυα μεγάλων διαστάσεων και αυτόνομα. Το Σχήμα 4α εικονίζει την αρχιτεκτονική για αυτά τα δίκτυα, τα οποία θα είναι AI-enabled δίκτυα διαστήματος-αέρα-γης-υποβρύχια για να παρέχουν άμεση και απεριόριστη υπερσυνδεσιμότητα.

Το Σχήμα 4β εικονίζει τις λειτουργίες και τις διεπαφές των δικτύων 6G μεγάλων διαστάσεων. Δύο αρχές σχεδίασης είναι διαθέσιμες για τα δίκτυα 6G μεγάλων διαστάσεων για την ενσωμάτωση επίγειων και μη-επίγειων δικτύων (NTNs): 1) διαφανής NTNs, όπου το NTN λειτουργεί μόνο ως αναλογικός επαναλήπτης ραδιοσυχνοτήτων, και 2) αναγεννητικά NTNs, όπου το NTN αναγεννά τα σήματα που λαμβάνονται από τα επίγεια δίκτυα.

Για τα αναγεννητικά NTNs, πλατφόρμες στο διάστημα, στον αέρα, στην επιφάνεια και υποβρύχια θα αναπτύξουν λειτουργίες BS 6G. Τα δίκτυα πρόσβασης στο διάστημα/αέρα

συνδέουν τα κεντρικά δίκτυα 6G μέσω πυλών και παρέχουν υπηρεσίες για σταθερά πολύ μικρά τερματικά μεγέθους (VSATs) και συσκευές φορητών/κινητών/IoT. Τα δίκτυα πρόσβασης επιφάνειας της θάλασσας συνδέουν τα κεντρικά δίκτυα 6G μέσω πυλών ή δικτύων διαστήματος/αέρας. Τα υποβρύχια δίκτυα συνδέουν τα δίκτυα επιφάνειας για την παροχή υπηρεσιών σε συσκευές σε υποβρύχιους σταθμούς. Επομένως, για τα VSATs, οι συνδέσεις επικοινωνίας είναι VSAT δορυφόρος-πύλη-κεντρικά δίκτυα 6G. Για τερματικά φορητών/κινητών, οι συνδέσεις επικοινωνίας είναι τερματικό - δορυφόρος - πύλη - κεντρικά δίκτυα 6G· τερματικό - αεροσκάφος - πύλη - κεντρικά δίκτυα 6G· ή τερματικό - αεροσκάφος - δορυφόρος - πύλη - κεντρικά δίκτυα 6G. Οι συνδέσεις επικοινωνίας υποβρύχιων τερματικών είναι τερματικό - υποβρύχιος σταθμός - επιφανειακός σταθμός - δορυφόρος - πύλη - κεντρικά δίκτυα 6G.

Σε μεγάλα δίκτυα διαστάσεων, η τεχνική πολλαπλής συνδεσιμότητας μπορεί να επιτρέψει στα τερματικά να καθιερώσουν πολλαπλές συνδεσιμότητες με διάφορα επίπεδα δικτύου πρόσβασης και να επιτύχουν βελτιστοποίηση της κάλυψης. Για τη διαχείριση της συνδεσιμότητας με αποτελεσματικό τρόπο, απαιτείται λειτουργία δυναμικής προσθήκης και διαγραφής συνδεσιμότητας. Ωστόσο, για τα μεγάλα δίκτυα διαστάσεων, ο ραδιοσύνδεσμος μεταξύ του διαστημικού/αερίου επιπέδου και του επιγείου είναι μη-ιδανικός και θα υποφέρει από μεγάλη καθυστέρηση. Αυτό θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη βοηθητική μεταφορά πληροφοριών που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης συνδεσιμότητας. Επιπλέον, η κίνηση BS με υπερύψηλή κινητικότητα οδηγεί στη δυσκολία απόκτησης πληροφοριών κατάστασης καναλιού (CSI), προσφέροντας έναν άλλο προκλητικό παράγοντα για τη διαχείριση συνδεσιμότητας.

Σε μεγάλα δίκτυα διαστάσεων, οι ίδιες περιοχές μπορούν να καλυφθούν από πολλά επίπεδα δικτύου πρόσβασης, που θα οδηγήσει σε σοβαρές παρεμβολές μεταξύ των επιπέδων. Αυτή η παρεμβολή μπορεί να κατασταλεί από κοινόχρηστο προγραμματισμό, που μοιράζεται πληροφορίες (όπως CSI) για να βελτιστοποιήσει τον προγραμματισμό χρηστών. Ωστόσο, αντίθετα με τις συνδέσεις μεταξύ επίγειων BS, οι σύνδεση δορυφόρων, αερίων, διαστημάτων/επίγειων, διαστημάτων/δορυφόρων και αερίων/επίγειων είναι μη-ιδανικές, και ως εκ τούτου θα υποφέρουν από μεγάλη καθυστέρηση, η οποία είναι μια πρόκληση για τον συντονισμό προγραμματισμού σε μεγάλα δίκτυα διαστάσεων.

4.2 Ανασκόπηση των πιθανών τεχνολογιών που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο 6G

Η θεωρία πληροφοριών του Shannon θα διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στον σχεδιασμό του 6G, αναδεικνύοντας δύο βασικούς τρόπους επέκτασης της χωρητικότητας του συστήματος: την αύξηση του εύρους ζώνης του συστήματος και τη βελτίωση της αποδοτικότητας του φάσματος. Ακολουθώντας αυτό, παρατηρούμε αρκετές συναρπαστικές τεχνικές για τη μετάδοση δεδομένων

στα πολλά TB/δευτερόλεπτο: επικοινωνίες THz⁴⁷, πολύ-μεγάλες ανταλλαγές κεραίας (δηλαδή, SM-MIMO)⁴⁸, OAM διακλάδωση⁴⁹, επικοινωνίες με λέιζερ και VLC⁵⁰, καθώς και κοινοποίηση φάσματος βασισμένη σε blockchain⁵¹. Οι επικοινωνίες THz, οι επικοινωνίες με λέιζερ και VLC, καθώς και η κοινοποίηση φάσματος αναδεικνύονται ως κρίσιμες τεχνολογίες για την επέκταση του φάσματος του 6G, ενώ η κοινοποίηση φάσματος βασισμένη σε blockchain έχει το δυναμικό να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την ασφάλεια στη συμβατική κοινοποίηση φάσματος. Οι τεχνολογίες όπως οι SM-MIMO και η OAM διακλάδωση είναι ικανές να ενισχύσουν σημαντικά την αποδοτικότητα του φάσματος με την πολλαπλασιαστική μεταδοτικότητα πολλαπλών παράλληλων ροών δεδομένων στον ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Τέλος, οι κβαντικές επικοινωνίες και υπολογισμοί προσφέρουν τη δυνατότητα βελτίωσης της αποδοτικότητας του υπολογισμού και της παροχής ισχυρής ασφάλειας για το 6G⁵². Οι επικοινωνίες στα THz στο εύρος 0,1–10 THz ανοίγουν νέους ορίζοντες στην ασύρματη τεχνολογία. Τα THz προσφέρουν φασματικούς πόρους πολύ πλουσιότερους από τα mm-Wave, εκμεταλλευόμενα τόσο τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όσο και τα κύματα φωτός. Αναμένεται να παρέχουν μετάδοση δεδομένων πολλαπλών Tb ανά δευτερόλεπτο σε σενάρια όπως τα hotspot, x-haul και η ασύρματη πρόσβαση σε εσωτερικούς χώρους. Το IEEE 802.15.3d⁵³ έχει καθορίσει δύο τύπους Φυσικού Επιπέδου THz (PHYs) στη χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων 0,252–0,325 THz, επιτυγχάνοντας μετάδοση δεδομένων των 100 Gb ανά δευτερόλεπτο. Οι επικοινωνίες στα THz προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως:

⁴⁷ A.-A. A. Boulogeorgos et al. "Terahertz technologies to deliver optical network quality of experience in wireless systems beyond 5G," IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 6, pp. 144–151, June 2018. doi: 10.1109/MCOM.2018.1700890.

⁴⁸ E. Björnson, L. Sanguinetti, H. Wymeersch, J. Hoydis, T. L. Marzetta, Massive MIMO is a reality—What is next? Five promising research directions for antenna arrays. 2019. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://arxiv.org/abs/1902.07678>

⁴⁹ Y. Ren et al. "Line-of-sight millimeter-wave communications using orbital angular momentum multiplexing combined with conventional spatial multiplexing," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 5, pp. 3151–3161, May 2017. doi: 10.1109/TWC.2017.2675885.

⁵⁰ P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, "Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, Sept. 2015. doi: 10.1109/COMST.2015.2476474.

⁵¹ K. Kotobi and S. G. Bilen, "Secure blockchains for dynamic spectrum access: A decentralized database in moving cognitive radio networks enhances security and user access," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 13, no. 1, pp. 32–39, Mar. 2018. doi: 10.1109/MVT.2017.2740458.

⁵² P. Botsinis et al., "Quantum search algorithms for wireless communications," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 21, no. 2, pp. 1209–1242, 2019. doi: 10.1109/COMST.2018.2882385.

⁵³ IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks—Amendment 2: 100 Gb/s Wireless Switched Point-to-Point Physical Layer, IEEE Standard 802.15.3d, 2017.

- Μαζικοί φασματικοί πόροι, που ξεπερνούν τα εκατοντάδες GHz, καλύπτοντας ευρέως τις απαιτήσεις εύρους ζώνης του 6G και δίνοντας τη δυνατότητα για μετάδοση δεδομένων πολλαπλών Tb ανά δευτερόλεπτο.
- Η ζώνη συχνοτήτων των THz επιτρέπει την ενσωμάτωση περισσότερων αντενών, δημιουργώντας εκατοντάδες δέσμες. Αναμένεται να ενσωματωθούν πάνω από 10.000 στοιχεία κεραίας σε THz Σταθμούς Βάσης, επιτυγχάνοντας υπερ-στενές δέσμες για υψηλή μετάδοση δεδομένων και εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών ταυτόχρονα. Επιπλέον, η άκλιτη χρήση του φάσματος, που δίνει τη δυνατότητα σε διάφορους χρήστες να μοιράζονται το ίδιο φάσμα, αναδύεται ως μια υποσχόμενη στρατηγική για την υπερκέραση της χαμηλής εκμετάλλευσης του φάσματος και του μονοπωλίου στις συμβατικές δημοπρασίες φάσματος, εξυπηρετώντας τις αυξημένες απαιτήσεις φάσματος για τη μαζική κατανάλωση πληροφοριών. Παρόλα αυτά, τα κεντρικά συστήματα πρόσβασης στο φάσμα, όπως το τριστρωματικό σύστημα φάσματος της FCC για το άκλιτο φάσμα 3,5 GHz, παραμένουν πολύ πίσω λόγω διοικητικών εξόδων, προβλημάτων αποδοτικότητας, και κόστους συναλλαγής. Πρόσφατα, η τεχνολογία του blockchain⁵⁴ έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον, καθώς παρέχει ένα ασφαλές και αποκεντρωμένο σύστημα βάσης δεδομένων για όλες τις εγγραφές συναλλαγών (blocks). Επιτρέπει σε όλους τους συμμετέχοντες να εγγράφονται σε Blocks, τα οποία περιλαμβάνουν το κρυπτογραφημένο hash του προηγούμενου block, ένα χρονικό στίγμα, και δεδομένα συναλλαγής. Αυτό το μοντέλο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τα χαρακτηριστικά της κοινοποίησης φάσματος. Έτσι, η κοινοποίηση φάσματος με χρήση blockchain αποτελεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για το 6G, παρέχοντας ασφαλή, έξυπνη, χαμηλού κόστους, και υψηλά αποδοτική αποκεντρωμένη κοινοποίηση φάσματος. Οι επικοινωνίες στα THz εκδηλώνουν υψηλά καθοδηγούμενα χαρακτηριστικά μετάδοσης, τα οποία μπορούν σημαντικά να μειώσουν την παρεμβολή μεταξύ κυττάρων ενός δικτύου, δηλαδή το παράσιτο που προκαλείται όταν τα σήματα από διάφορα κύτταρα (cell) ενός ασύρματου δικτύου επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα των επικοινωνιών σε ένα συγκεκριμένο κύτταρο. Αυτή η παρεμβολή μπορεί να οφείλεται στην επικάλυψη των σημάτων από γειτονικά κύτταρα, προκαλώντας παρεμβολή και παρεμπόδιση στις επικοινωνίες στο κύτταρο προορισμού. Η μείωση της παρεμβολής μεταξύ κυττάρων είναι σημαντική για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας σε ασύρματα δίκτυα. Μπορούν επίσης να μειώσουν σημαντικά την πιθανότητα παρακολούθησης των επικοινωνιών και να παρέχουν καλύτερη ασφάλεια. Από τις πρωτοποριακές οκτώ κεραίες 4G MIMO μέχρι τις εντυπωσιακές 256-1,024 κεραίες του 5G massive MIMO, η τεχνική πολλαπλών κεραιών⁵⁵ έχει επιδράσει σημαντικά στις ασύρματες

⁵⁴ K. Kotobi and S. G. Bilen, "Secure blockchains for dynamic spectrum access: A decentralized database in moving cognitive radio networks enhances security and user access," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 13, no. 1, pp. 32–39, Mar. 2018. doi: 10.1109/MVT.2017.2740458.

⁵⁵ E. Björnson, L. Sanguinetti, H. Wymeersch, J. Hoydis, T. L. Marzetta, "Massive MIMO is a reality—What is next? Five promising research directions for antenna arrays. 2019. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://arxiv.org/abs/1902.07678>

επικοινωνίες, αυξάνοντας σημαντικά τη χωρητικότητα του συστήματος με χωρικό πολλαπλασιασμό, επιτρέποντας δηλαδή τη μεταφορά πολλαπλών παράλληλων ροών δεδομένων στον ίδιο κανάλι, αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα του συστήματος. να επιτύχει αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων μέσω ποικιλίας, δηλαδή, με τη χρήση πολλών διαφορετικών δρόμων ή καναλιών, προσφέροντας αξιόπιστη επικοινωνία. Να ξεπεράσει την απώλεια διάδοσης, δηλαδή, τη μείωση της απώλειας του σήματος κατά τη διάδοση, με την προσαρμογή της κατεύθυνσης της δέσμης εκπομπής. με τη διαμόρφωση δέσμης. μέσω χωρικού πολλαπλασιασμού, επιτυγχάνοντας αξιόπιστη μετάδοση μέσω ποικιλίας και ξεπερνώντας την απώλεια διάδοσης μέσω διαμόρφωσης δέσμης. Για το 6G, αναμένεται η υλοποίηση του SM-MIMO με περισσότερες από 10,000 κεραιές, προσφέροντας τα εξής οφέλη:

- Επίτευξη υπερ-υψηλής αποδοτικότητας φάσματος μέσω χωρικού πολλαπλασιασμού, μεταφέροντας εκατοντάδες παράλληλες ροές δεδομένων στον ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Το SM-MIMO μπορεί επίσης να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα και να μειώσει την καθυστέρηση.
- Παροχή εκατοντάδων δεσμών, εξυπηρετώντας περισσότερους χρήστες ταυτόχρονα, στη μορφή massive-user MIMO αντί για multiuser MIMO, για τη σημαντική αύξηση της εύρυθμης λειτουργίας του δικτύου. Επιπλέον, ο συνδυασμός του SM-MIMO και των τεχνικών μη-ορθογώνιου πολλαπλασιασμού θα είναι ένα εργαλείο για τις επικοινωνίες μαζικής πρόσβασης προκειμένου να υποστηρίξει συνδεσιμότητες SM.
- Δημιουργία υπερ-στενών δεσμών για να βοηθήσει στην υπέρβαση της σοβαρής απώλειας διάδοσης για τα ζώντας και THz, καθώς και για να μειώσει τη συγκεντρωτική διαμόρφωση διαμόρφωσης του μεταδοτικού καναλιού.

Με την εξέλιξη της προηγμένης τεχνολογίας κεραιών, όπως οι μεταφασικές επιφάνειες (δηλαδή, παθητικές αντανakλαστικές συστοιχίες, μια επιφάνεια που επηρεάζει το πώς τα κύματα φωτός ή άλλες μορφές ενέργειας αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον), τα συστήματα LIS, τραβούν την αυξανόμενη προσοχή. Σε σύγκριση με ενεργά BSs και σημεία πρόσβασης με συμβατικές κεραιές, τα LIS μπορούν να υπερκεράσουν το όριο του μήκους ημικύματος κύματος και έχουν τα πλεονεκτήματα χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, τα LIS οδηγούν σε επικοινωνίες ευθείας πορείας και επικοινωνίες κοντινού πεδίου, καθώς μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν σε πρόσοψη κτιρίων, τοίχους ή οροφές που είναι απρόσβατα για τους χρήστες. Τα LIS ενσωματώνουν μαζικά παθητικά στοιχεία ανάκλασης με ελεγχόμενη φάση ή κλίμακα σε μια επιφάνεια και έχουν την ιδιότητα μιας χωρικά συνεχούς ανοιχτής/κλειστής αποδοχής, που προκαλεί τη νέα τεχνική HBF⁵⁶. Η HBF δημιουργεί τις επιθυμητές δέσμες μέσω

⁵⁶ E. Björnson, L. Sanguinetti, H. Wymeersch, J. Hoydis, T. L. Marzetta, Massive MIMO is a reality—What is next? Five promising research directions for antenna arrays. 2019. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://arxiv.org/abs/1902.07678>

ολογραφικής εγγραφής και ανακατασκευής και μπορεί να επιτύχει υψηλότερη χωρική ανάλυση από τη συμβατική διαμόρφωση δέσμης με διακριτικές σειρές φάσματα.

Η τεχνική πολλαπλασιασμού OAM⁵⁷ μπορεί να επιτύχει ανώτερη φασματική αποδοτικότητα χρησιμοποιώντας ένα σύνολο ορθογώνιων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τον πολλαπλασιασμό πολλαπλών ροών δεδομένων στον ίδιο κανάλι συχνοτήτων, εκμεταλλευόμενη την αγωγική στροφή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ως νέο βαθμό ελευθερίας. Αυτό διαφέρει από το χωρικό πολλαπλασιασμό, που χρησιμοποιεί πολλαπλές χωρισμένες κεραιές πομπού και λήψης. Το OAM του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μπορεί να χαρακτηριστεί ως $e^{(jsz)}$, όπου η κατάσταση OAM, s , είναι ένα ατελές ακέραιο και το z είναι ο αζιμουθιακός γωνιακός. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άπειρες καταστάσεις OAM και ότι δύο οποιεσδήποτε καταστάσεις OAM είναι ορθογώνιες. Θεωρητικά, μπορεί να γίνει πολλαπλασιασμός οποιουδήποτε αριθμού ροών δεδομένων στον ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Οι επικοινωνίες με laser και το ορατό φως (VLC) στο πλαίσιο της 6ης γενιάς (6G) θα ενσωματώσουν τα δίκτυα δορυφόρου/αέρα και υποθαλάσσια δίκτυα με τα επίγεια δίκτυα για να παρέχουν υπερασύνδεση. Ωστόσο, τα περιβάλλοντα εξάπλωσης των δορυφόρων/αέρα και υποθαλάσσιων δικτύων διαφέρουν από το επίγειο περιβάλλον. Επομένως, οι συμβατικές ασύρματες επικοινωνίες με βάση τα σήματα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δεν μπορούν να παρέχουν υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων για αυτά τα σενάρια. Οι επικοινωνίες με laser διαθέτουν υπερύψηλό εύρος ζώνης και μπορούν να επιτύχουν υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιώντας δέσμες laser, κατάλληλες για περιβάλλοντα όπως ο ελεύθερος χώρος και το ύδωρ. Από την άλλη πλευρά, η ορατή επικοινωνία (VLC)⁵⁸, που λειτουργεί στο εύρος συχνοτήτων 400–800 THz, αποτελεί μια άλλη ελπιδοφόρα τεχνική για την 6G και χρησιμοποιεί το ορατό φως που παράγεται από λαμπτήρες LED για τη μετάδοση δεδομένων. Η VLC χρησιμοποιεί υπερύψηλό εύρος ζώνης για υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και είναι ευρέως διαθέσιμη, καθιστώντας την κατάλληλη για σενάρια όπως ένα εσωτερικό σημείο πρόσβασης. Η κοινοποίηση φάσματος βασισμένη σε blockchain είναι μια άλλη ελπιδοφόρα τεχνολογία για την 6G, προσφέροντας ασφαλή, έξυπνη, χαμηλού κόστους και υψηλά αποδοτική αποκεντρωμένη κοινοποίηση φάσματος. Η 6η γενιά (6G) θα ικανοποιήσει υψηλότερες απαιτήσεις ασφαλείας με την υποστήριξη πλήρων εφαρμογών/σεναρίων. Οι κβαντικές επικοινωνίες⁵⁹ μπορούν να παρέχουν ισχυρή ασφάλεια εφαρμόζοντας ένα κβαντικό

⁵⁷ Y. Ren et al. "Line-of-sight millimeter-wave communications using orbital angular momentum multiplexing combined with conventional spatial multiplexing," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 5, pp. 3151–3161, May 2017. doi: 10.1109/TWC.2017.2675885.

⁵⁸ P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, "Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, Sept. 2015. doi: 10.1109/COMST.2015.2476474.

⁵⁹ P. Botsinis et al., "Quantum search algorithms for wireless communications," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 21, no. 2, pp. 1209–1242, 2019. doi: 10.1109/COMST.2018.2882385.

κλειδί βασισμένο στο θεώρημα της μη κλωνοποίησης και την αρχή της αβεβαιότητας. Ωστόσο, η μετάδοση δεδομένων στα Tb/s και οι πλήρεις εφαρμογές/σενάρια αποτελούν προκλήσεις για τον ασύρματο υπολογισμό στην 6G. Σε σύγκριση με τον συμβατικό υπολογισμό με 0-1-bit λειτουργίες, ο κβαντικός υπολογισμός βασίζεται στην κβαντική υπερκατάσταση και δέσμευση και μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την ικανότητα υπολογισμού χρησιμοποιώντας μετασχηματισμούς μονάδας στη μορφή qubits⁶⁰. Επομένως, ο κβαντικός υπολογισμός μπορεί να επιταχύνει σημαντικά και να ενισχύσει αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης που απαιτούν μεγάλα δεδομένα και μαζική εκπαίδευση. Επιπλέον, ο συνδυασμός της κβαντικής θεωρίας και της τεχνητής νοημοσύνης (δηλαδή, κβαντική νοημοσύνη) μπορεί να αναπτύξει πιο ισχυρούς και αποδοτικούς αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της 6G. Η προηγμένη νανοτεχνολογία μπορεί να επιτρέψει την κατασκευή νανοσυσκευών, όπως νάνο-ρομπότ, εμφυτεύσιμων τσιπ και βιοαισθητήρων, με σημαντικές εφαρμογές σε σενάρια όπως η νανοκλίμακα ανίχνευσης και η βιοϊατρική⁶¹. Ειδικότερα, η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στη βιοϊατρική έχει τραβήξει την προσοχή, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση εργασιών όπως η έξυπνη παράδοση φαρμάκων στα αιμοφόρα αγγεία και η παρακολούθηση των οργάνων του ανθρώπινου σώματος για τη σημαντική βελτίωση της ανθρώπινης υγείας. Η σύνδεση νανοσυσκευών στο Διαδίκτυο ή η δημιουργία δικτύων (δηλαδή, το Διαδίκτυο των Νάνο-Πραγμάτων) μπορεί να επιτύχει αποτελεσματική επικοινωνία και μετάδοση πληροφοριών. Στη βιοϊατρική, το Διαδίκτυο των Βίο-Νάνο-Πραγμάτων (IoBNT) μπορεί να επιτρέψει τη σύνδεση νανοσυσκευών και βιολογικών οντοτήτων. Η μοριακή επικοινωνία είναι μια τεχνική που δίνει τη δυνατότητα για το Διαδίκτυο των Βίο-Νάνο-Πραγμάτων (IoBNT), η οποία χρησιμοποιεί βιοχημικά μόρια για την επικοινωνία και τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ νανοσυσκευών. Επιπλέον, ο συνδυασμός του IoBNT με δίκτυα περιοχής σώματος, τα οποία αποτελούνται από φορετά συστήματα παρακολούθησης/αισθητήρια και συσκευές αισθητηριακής παρακολούθησης εντός ή επί του σώματος, μπορεί να παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις για τη βελτίωση της υγείας.

4.3 Πώς οι τεχνολογίες του 6G μπορούν να εφαρμοστούν στις έξυπνες πόλεις για τη μείωση των εκπομπών CO₂

Παρόλο που το 5G έχει επίσημα μόλις εκκινήσει, οι ερευνητές έχουν στραφεί προς το σύστημα επικοινωνίας 6G. Αναμένεται ότι τα μελλοντικά κινητά δίκτυα θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα

⁶⁰ P. Botsinis et al., "Quantum search algorithms for wireless communications," *IEEE Commun. Surveys Tut.*, vol. 21, no. 2, pp. 1209–1242, 2019. doi: 10.1109/COMST.2018.2882385.

⁶¹ O. B. Akan, H. Ramezani, T. Khan, N. A. Abbasi, and M. Kuscu, "Fundamentals of molecular information and communication science," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 2, pp. 306–318, Feb. 2017. doi: 10.1109/JPROC.2016.2537306

να υποστηρίζουν διάφορες άγνωστες υπηρεσίες Internet of Things (IoT), δηλαδή οι αρχιτεκτονικές και οι λειτουργίες του δικτύου πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στα διαρκώς μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις των υπηρεσιών. Επομένως, το μελλοντικό δίκτυο πρέπει να είναι πρώτα έξυπνο, ώστε να μπορεί να μάθει αυτόνομα τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας και να είναι ενήμερο για τις αλλαγές τους. Στη συνέχεια, πρέπει να είναι ανοιχτό, έτσι ώστε η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες του να μπορούν να ενημερώνονται εύκολα σύμφωνα με τις αλλαγές. Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα έξυπνο και ανοικτό δίκτυο 6G, κάθε κόμβος θα πρέπει να εξοπλιστεί με επαρκείς πόρους επικοινωνίας, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς, προκειμένου να υποστηρίξει έξυπνες λειτουργίες και αυτοεξέλιξη. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τριπλασιάζεται στο 6G, πενήντα φορές γρηγορότερα από το πιο γρήγορο δίκτυο 5G, με το ένα δέκατο της καθυστέρησης, υποστηρίζει δέκα φορές περισσότερες συσκευές και είναι εκατό φορές πιο αξιόπιστο. Το 6G θα μπορεί να συνδέει τα πάντα, να ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες και εφαρμογές, να υποστηρίζει επικοινωνίες όπως ολογραφικές, απτικές, διαστημικές και υποβρύχιες, και θα υποστηρίζει επίσης το Διαδίκτυο των Πάντων, το Διαδίκτυο των Nano-Πραγμάτων και το Διαδίκτυο του Ανθρώπου. Αυτές οι συσκευές IoT θα πραγματοποιούν προηγμένες υπηρεσίες όπως έξυπνη κυκλοφορία, παρακολούθηση και έλεγχος του περιβάλλοντος, εικονική πραγματικότητα (VR)/εικονική πλοήγηση, τηλεϊατρική, ψηφιακούς αισθητήρες, υψηλή ανάλυση (HD) και πλήρη HD μετάδοση βίντεο σε συνδεδεμένα drones και ρομπότ. Οι τεχνολογίες του 6G υπόσχονται να αποτελέσουν κινητήριο δύναμη για τη δημιουργία πράσινων και αποδοτικών έξυπνων πόλεων με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Με την ενσωμάτωση έξυπνων δικτύων ενέργειας, οι τεχνολογίες 6G μπορούν να προωθήσουν την αποδοτική χρήση της ενέργειας σε όλο το αστικό περιβάλλον. Αυτό περιλαμβάνει έξυπνα συστήματα μεταφορών, με αυτοκίνητα αυτόνομης οδήγησης που επικοινωνούν για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας και τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Επιπλέον, οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να στηρίξουν τη δημιουργία έξυπνων κτιρίων και υποδομών που προσαρμόζονται αυτόματα για εξοικονόμηση ενέργειας. Με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την υποστήριξη από τις τεχνολογίες 6G, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να ενσωματώσουν βιώσιμες πρακτικές στην αστική τους σχεδίαση. Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, επιχειρήσεων και καταναλωτών, συνδυασμένη με κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχημένη υλοποίηση αυτών των πρωτοβουλιών, συμβάλλοντας σημαντικά στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών CO₂ σε αστικό περιβάλλον. Οι τεχνολογίες του 6G αναμένεται να προσφέρουν πολλές καινοτόμες δυνατότητες που μπορούν να εφαρμοστούν στις έξυπνες πόλεις για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Οι τεχνολογίες URLLC, Υψηλή Ταχύτητα και Χαμηλή Καθυστέρηση (Ultra-Reliable Low Latency Communication - URLLC), μπορούν να επιτρέψουν γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των συστημάτων ελέγχου της κίνησης και των υποδομών, με σκοπό τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των εκπομπών CO₂. Οι υψηλές συχνότητες που υποστηρίζονται

από το 6G μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και ακριβέστερη επικοινωνία, προσφέροντας ευκαιρίες για εξελιγμένες εφαρμογές έξυπνων πόλεων, όπως η βελτιστοποίηση του φωτισμού και της ενέργειας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στις έξυπνες πόλεις μπορεί να βοηθήσει στην αυτόματη διαχείριση των πόρων, όπως η ενέργεια και το νερό, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂. Επίσης, οι πιο εξελιγμένοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων με ακρίβεια σχετικά με το περιβάλλον, όπως η ποιότητα του αέρα, η θερμοκρασία και η κυκλοφορία. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή έξυπνων στρατηγικών που θα συντελέσουν στη μείωση των εκπομπών CO₂. Οι τεχνολογίες 6G μπορούν να ενισχύσουν τη σύνδεση και τον έλεγχο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως των ηλιακών και των αιολικών πάρκων, προσφέροντας ένα βιώσιμο μοντέλο για την παραγωγή ενέργειας στις έξυπνες πόλεις. Με αυτούς τους τρόπους, οι τεχνολογίες του 6G μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ στις έξυπνες πόλεις. Ένα σημαντικό προαπαιτούμενο για την επίτευξη του στόχου "κορεσμού των εκπομπών άνθρακα και ουδετερότητας στον άνθρακα" είναι να διευκρινιστούν οι αιτίες των εκπομπών άνθρακα. Η αστικοποίηση θεωρείται άλλη μια σημαντική αιτία των προβλημάτων εκπομπής άνθρακα, αλλά οι έρευνες στον τομέα αυτόν είναι αντιφατικές. Ο Satterthwaite μελέτησε τα περιβαλλοντικά προβλήματα των αστικών περιοχών σε αναπτυσσόμενες χώρες και διαπίστωσε ότι η περιβαλλοντική ρύπανση τείνει να ελαφρύνεται με την επέκταση της αστικής κλίμακας⁶². Οι Martinez-Zarzoso και Maruotti ανακάλυψαν έναν αντίστροφα U-σχηματισμένο συσχετισμό μεταξύ της αστικοποίησης και των εκπομπών άνθρακα⁶³. Επιπλέον, ορισμένοι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί σε άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές άνθρακα, όπως ο Chen et al. που μελέτησαν την επίδραση του ανοίγματος του εμπορίου στις εκπομπές άνθρακα⁶⁴. Ο Jalil et al. μελέτησαν την επίδραση της χρηματοοικονομικής ανάπτυξης στις εκπομπές άνθρακα⁶⁵. Η ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας παρέχει νέες ιδέες για την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων και έχει γίνει επίκεντρο προσοχής στην ακαδημαϊκή κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Ο Li et al. υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας στις πόλεις της Κίνας μειώνει σημαντικά τα επίπεδα PM_{2.5}. Οι Zhou et.al προτείνουν ότι η ανάπτυξη της ψηφιακής

⁶² Satterthwaite, D. Environmental transformations in cities as they get larger, wealthier and better managed. *Geogr. J.* 1997, 163, 216–224/ <https://www.jstor.org/stable/3060185?origin=crossref>

⁶³ Martínez-Zarzoso, I.; Maruotti, A. The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries. *Ecol. Econ.* 2011, 70, 1344–1353.

⁶⁴ Chen, F.Z.; Jiang, G.H.; Kitila, G.M. Trade openness and CO₂ emissions: The heterogeneous and mediating effects for the Belt and Road Countries. *Sustainability* 2021, 13, 1958

⁶⁵ Jalil, A.; Feridunm, M. The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis. *Energy Econ.* 2011, 33, 284–291.

οικονομίας έχει μειώσει σημαντικά τη ρύπανση στην Κίνα⁶⁶. Οι Shi et.al πιστεύουν ότι οι πιλοτικές πόλεις της Κίνας έχουν μειώσει σημαντικά τις εκπομπές ρύπων⁶⁷.

Όσον αφορά την έρευνα για την επίδραση της ψηφιακής οικονομίας στις εκπομπές άνθρακα, η πλειονότητα των ερευνητών υποστηρίζει την υπόθεση ότι συμβάλλει θετικά στη μείωση των εκπομπών. Σημαντικές μελέτες, όπως αυτή του Zhang et.al, υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας βελτιώνει την απόδοση στη μείωση των εκπομπών άνθρακα επηρεάζοντας την ενεργειακή ένταση, την κλίμακα κατανάλωσης ενέργειας και την αστική προσχώρηση⁶⁸. Οι Ma et.al υποστηρίζουν ότι η ψηφιοποίηση βοήθησε την Κίνα να επιτύχει μια χαμηλού άνθρακα ανάπτυξη [25]. Οι Ren et.al προτείνουν ότι η ανάπτυξη του διαδικτύου έχει επιταχύνει τη μείωση της έντασης της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της οικονομικής ανάπτυξης, των επενδύσεων σε έρευνα και ανάπτυξη, του ανθρώπινου κεφαλαίου, της χρηματοοικονομικής ανάπτυξης και της αναβάθμισης της βιομηχανικής δομής.

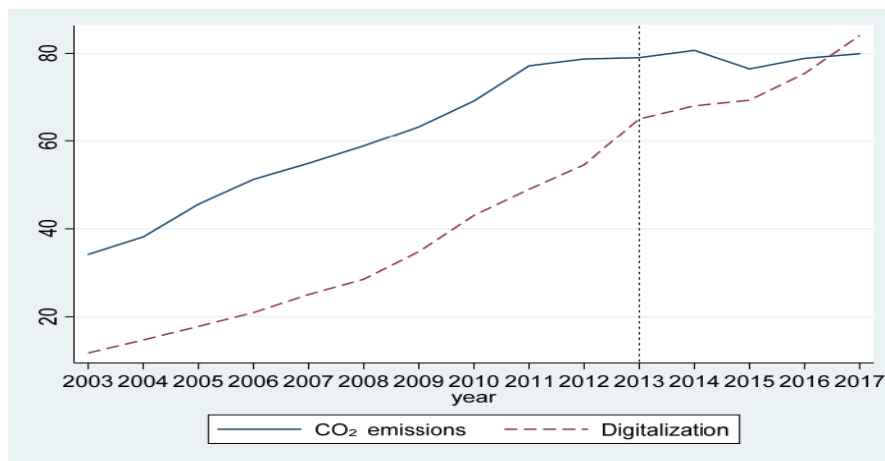


Figure 1. The changing trend of total carbon emissions in 353 cities in China. Note: the unit of CO₂ emissions is 100 million tons, and the digitalization index is converted into a hundred-mark system.

Table 1. Statistical description of variables.

Variables	Obs	Year	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>LnCO₂_cityI</i>	6001	2001–2017	2.495	1.131	–2.175	5.441
<i>Digital_did</i>	6001	2001–2017	0.090	0.286	0.000	1
<i>Digital_indexI</i>	4950	2003–2020	0.112	2.681	–3.765	32.495
<i>Digital_indexII</i>	4950	2003–2020	0.043	1.022	–1.462	12.083
<i>Green_patent</i>	4125	2003–2017	139.0	497.0	0.000	9080
<i>Firm_greenpatent</i>	30,602	2003–2020	2.106	18.486	0.000	1532

Note: *LnCO₂_cityI* is the logarithm of *CO₂_cityI*.

Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, μέχρι το 2030, ο αριθμός των «μεγαπόλεων» με περισσότερους από 10 εκατομμύρια κατοίκους θα μπορούσε να είναι 41, καταναλώνοντας το 81% των παγκόσμιων πόρων, ενώ μέχρι το 2050, ο αστικός πληθυσμός θα φτάσει το 60% του παγκόσμιου

⁶⁶ Zhou, J.; Lan, H.L.; Zhao, C.; Zhou, J.P. Haze pollution levels, spatial spillover influence, and impacts of the digital economy: Empirical evidence from China. *Sustainability* 2021, 13, 9076

⁶⁷ Shi, D.Q.; Ding, H.; Wei, P.; Liu, J.J. Can smart city construction reduce environmental pollution? *China Ind. Econ.* 2018, 6, 117–135

⁶⁸ Zhang, W.; Liu, X.M.; Wang, D.; Zhou, J.P. Digital economy and carbon emission performance: Evidence at China's city level. *Energy Policy* 2022, 165, 112927

πληθυσμού και η ζήτηση της πρωτογενούς ενέργειας θα μπορούσε να ανέλθει σε περίπου $1,72 \times 10^5$ TWh (66% του συνόλου)⁶⁹. Ήδη σήμερα, οι περισσότερες χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής είναι σε μεγάλο βαθμό αστικοποιημένες. Περίπου το 72% του ευρωπαϊκού πληθυσμού ζει σε ένα αστικό κέντρο και σε ορισμένες χώρες, όπως η Ολλανδία, το ποσοστό αστικοποίησης φτάνει το 90%. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι οι πόλεις καταλαμβάνουν μόνο το 3% της επιφάνειας της Γης, φιλοξενούν περισσότερο από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού, ευθύνονται για τα δύο τρίτα της κατανάλωσης ενέργειας και το 75% των εκπομπών άνθρακα. Το 2016, το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικές περιοχές και οι τρέχουσες τάσεις προβλέπουν αύξηση έως και 60% έως το 2030⁷⁰. Στις αγροτικές περιοχές, από την άλλη πλευρά, υπάρχουν περίπου τρία δισεκατομμύρια άνθρωποι και αναμένεται ότι αυτός ο αριθμός θα παραμείνει έτσι μέχρι το 2050, ενώ η ανάπτυξη θα πρέπει να σημειωθεί σχεδόν αποκλειστικά εντός των πόλεων⁷¹. Μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών, υπάρχουν διαφορετικές πιέσεις λόγω της εξαιρετικά ασύμμετρης κατανομής των οικονομικών, παραγωγικών και εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων (όπως τα κεντρικά γραφεία και οι χώροι εργασίας, τα πανεπιστήμια), η οποία αντανakλάται στη μείωση της προσφοράς τοπικών υπηρεσιών (καταστήματα, ταχυδρομεία, γιατροί και εκπαίδευση) οδηγούν τους κατοίκους, ιδιαίτερα τους νέους, να μεταναστεύσουν σε αστικές περιοχές. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη της αστικοποίησης δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα. Για το λόγο αυτό, μία από τις κύριες προκλήσεις για τις πόλεις θα είναι η αποσύνδεση της αστικής ανάπτυξης από την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών τους και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Για αρκετά χρόνια, οι παγκόσμιες πολιτικές έχουν προσανατολιστεί στο να καταστούν οι πόλεις βιώσιμες μέσω της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων και της προώθησης μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνει παγκόσμια δίκτυα συνεργασίας όπως «C40 πόλεις Climate Leadership Group»⁷², το «Παγκόσμιο Σύμφωνο των Δημάρχων για το Κλίμα και την

69 Rogelj, J.; Popp, A.; Calvin, K.V.; Luderer, G.; Emmerling, J.; Gernaat, D.; Fujimori, S.; Strefler, J.; Hasegawa, T.; Marangoni, G.; et al. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. *Nat. Clim. Chang.* 2018, 8, 325–332. 2. Duan, H.; Zhou, S.; Jiang, K.; Bertram, C.; Harmsen, M.; Kriegler, E.; van Vuuren, D.P.; Wang, S.; Fujimori, S.; Tavoni, M.; et al. Assessing China's efforts to pursue the 1.5 °C warming limit. *Science* 2021, 372, 378–385

70 Grossman, G.M.; Krueger, A.B. Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement; NBER Working Paper; National Bureau of Economic Research, Inc.: Cambridge, MA, USA, 1991; p. 3914.

71 Wagner, M. The Carbon Kuznets Curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics. *Resour. Energy Econ.* 2008, 30, 388–408

72 Ang, J.B. CO₂ emissions, energy consumption and output in France. *Energy Policy* 2007, 35, 4772–4778

Ενέργεια»⁷³ και τη «Συμφωνία του Παρισιού»⁷⁴ που δεσμεύει τις υπογράφοντες χώρες να τηρήσουν την αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από 2 °C. Επιπλέον, ο βασικός ρόλος των πόλεων στην προώθηση της βιωσιμότητας έχει αναγνωριστεί από τα Ηνωμένα Έθνη στον Στόχο 11 (Βιώσιμες πόλεις και κοινότητες) των 17 «Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης» (SDGs) (Ατζέντα 2030). Ωστόσο, η αναθεώρηση των ΣΒΑ δείχνει ότι υπάρχουν και άλλοι στόχοι που συνδέονται άμεσα ή/και έμμεσα με τη βιώσιμη διαχείριση των αστικών κέντρων. Η επίτευξη αυτών των στόχων ασκεί πολιτική πίεση για τον εντοπισμό των κατάλληλων λύσεων, μεθόδων και εργαλείων για την αποσύνδεση της ανάπτυξης των αστικών κέντρων από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, παρέχουν μια εξαιρετική ευκαιρία στις πόλεις να θέσουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στην πρώτη γραμμή.

Οι «επόμενες πόλεις» θα πρέπει επομένως να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τις νέες ανάγκες που σχετίζονται με την αστικοποίηση και μία από τις κύριες προκλήσεις θα συνδεθεί με την παραγωγή «καθαρής» ενέργειας. Τα αέρια του θερμοκηπίου και η λεπτή σκόνη συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του περιβάλλοντος και είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την υγεία: Υπολογίζεται ότι στην Ευρώπη, η περιβαλλοντική ρύπανση μειώνει το προσδόκιμο ζωής κατά μέσο όρο κατά 2,2 χρόνια, με αποδιδόμενο ετήσιο ποσοστό θνησιμότητας 133 περιπτώσεις/έτος για 100.000 κατοίκους⁷⁵. Αυτό δεν είναι πλέον βιώσιμο, και στο μέλλον, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος να αποκλειστεί η επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης. Οι πόλεις θα κληθούν να αντιμετωπίσουν μια σειρά από περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις και μέσα σε αυτό το πλαίσιο γεννιούνται οι «έξυπνες πόλεις (SC)». Με βάση αυτή την προσέγγιση, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι η «έξυπνάδα» μιας πόλης εξαρτάται από την ικανότητά της να δημιουργεί μια κοινωνική δομή στην οποία η ευημερία και η ποιότητα ζωής των πολιτών τίθενται στο προσκήνιο, σύμφωνα με μια μακροπρόθεσμη προοπτική, στην οποία υλοποιούνται επιλογές σε επίπεδο πολίτη, φροντίζοντας επίσης κοινωνικές και περιβαλλοντικές μεταβλητές, τόσο για τις σημερινές όσο και για τις μελλοντικές γενιές⁷⁶. Έτσι, μια Έξυπνη Πόλη μπορεί να βοηθήσει να ξεπεραστούν τα όρια και οι αντιφάσεις του τρέχοντος μοντέλου αστικής ανάπτυξης, που χαρακτηρίζεται από μια κακή σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών διαθέσιμων πόρων. Η διακυβέρνηση μιας έξυπνης πόλης θα μπορούσε, επομένως, να εξετάσει το ενδεχόμενο

73 Apergis, N.; Payne, J.E. CO₂ emissions, energy usage and output in Central America. *Energy Policy* 2009, 37, 3282–3286

74 Jalil, A.; Mahmud, S.F. Environment Kuznets Curve for CO₂ emissions: A co-integration analysis for China. *Energy Policy* 2009, 37, 5167–5172

75 Jalil, A.; Feridunm, M. The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis. *Energy Econ.* 2011, 33, 284–291

76 Vlaceas, P., Giaffreda, R., Stavroulaki, V., Kelaidonis, D., Foteinos, V., Poullos, G., et al. (2013). Enabling smart cities through a cognitive management framework for the internet of things. In *IEEE communications magazine* (pp. 102–111).

προώθησης της ηλεκτρικής κινητικότητας. Σε σύγκριση μεταξύ έξι Έξυπνων Πόλεων (Λονδίνο, Αμβούργο, Όσλο, Μιλάνο, Φλωρεντία και Μπολόνια), τρεις στη Βόρεια Ευρώπη και τρεις στην Ιταλία. Μέσα από μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Scopus, Google Scholar και Web of Science) και μέσω των πληροφοριών που αποκτήθηκαν στα έγγραφα πολιτικής και στρατηγικής τους (επίσημους ιστότοπους), λήφθηκαν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διαχείρισης της ηλεκτρικής κινητικότητας⁷⁷. Οι έξι πόλεις επιλέχθηκαν επειδή είναι Έξυπνες Πόλεις που έχουν υιοθετήσει πολιτικές, στρατηγικές και επίσημα έγγραφα (που έχουν δημοσιευτεί τα τελευταία πέντε χρόνια) που συνδέονται ειδικά με την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές και τις βιώσιμες μεταφορές, με κοινό στόχο να είναι ουδέτερες από τον άνθρακα έως το 2030-2050. Η ηλεκτρική κινητικότητα αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου «βιώσιμης κινητικότητας», δηλαδή, ενός συνόλου τρόπων μετακίνησης (και γενικά ενός συστήματος αστικής κινητικότητας) ικανών να μειώσουν τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις (ατμοσφαιρική και ακουστική ρύπανση, κυκλοφοριακή συμφόρηση, ατυχήματα, υποβάθμιση αστικών περιοχών που προκαλούνται από τον χώρο που καταλαμβάνουν τα οχήματα σε βάρος των πεζών) που δημιουργούνται από ιδιωτικά οχήματα. Η ηλεκτρική κινητικότητα συνήθως συζητείται ανά τόπο ή πόλη και πολλοί συγγραφείς τονίζουν τη σημασία των κυβερνητικών και οικονομικών κινήτρων καθώς και της μεγαλύτερης ανάπτυξης της υποδομής ως βασικές απαιτήσεις για την πλήρη ανάπτυξή της.

Το 6G θα αντιμετωπίζει επίσης δορυφορικά δίκτυα για παγκόσμια κάλυψη. Υπάρχουν τρία είδη δικτύων δορυφόρων: δίκτυο δορυφορικών τηλεπικοινωνιών, δορυφορικό δίκτυο πλοήγησης και δορυφορικό δίκτυο γήινης απεικόνισης. Το Διαδίκτυο του 6G θα είναι ένα πολύ γρήγορο ασύρματο δίκτυο, όπου χρησιμοποιείται συνδυασμός των πιο πρόσφατων τεχνολογιών ραδιοκυμάτων και οπτικών ινών. Η παράδοση σε ένα δίκτυο 6G μέσω οπτικής επαφής σημαίνει ότι η ταχύτητα του Διαδικτύου δεν εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της επιχείρησής και του κεντρικού κόμβου. Υπάρχουν τρεις κινητήριοι δυνατοί παράγοντες για το 6G: περιλαμβάνονται η πολιτική ηγεσία (ρόλος της κυβέρνησης), η τεχνολογική προώθηση (τεχνολογικές εξελίξεις) και η ανάγκη-έλξη (κοινωνική ανάγκη). Αυτοί οι τρεις παράγοντες θα κινηθούν και θα παίξουν ένα συμπληρωματικό ρόλο μεταξύ τους για την προώθηση του 6G⁷⁸. Τα νέα αποτελούν μέρος της πολιτικής ηγεσίας για να αντιμετωπίσουν κοινωνικά ζητήματα και να προωθήσουν το "dead pool". Όσον αφορά την τεχνολογική προώθηση, η κυβέρνηση πρόσφατα δημοσίευσε την έκτη στρατηγική GRND και μερικές κυβερνήσεις έχουν ήδη οραματιστεί την καθημερινή ζωή του 6G στα έγγραφα τους και στις προτάσεις έρευνας και ανάπτυξης. Με βάση αυτά, δημιουργούμε τη ζωή του 6G, όπου άνθρωποι και πολλές υψηλά αυτόνομες και έξυπνες μηχανές ζουν μαζί σε

⁷⁷ Yajun Z, Guanghui Y, Hanqing X (2019) 6G mobile communication networks: vision, challenges, and key technologies. SCIENTIA SINICA Informationis 49(8):963–987.

⁷⁸ Saad W, Bennis M, Chen M (2020) A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems. IEEE Netw 34(3):134–142

φυσικό χώρο και χώρο digital twin. Το πρώτο κύριο χαρακτηριστικό ενός φυσικού χώρου είναι μια πραγματικά αφοπλιστική υπηρεσία, συνδέοντας την πραγματική εμπειρία με τους ανθρώπους, συμπεριλαμβανομένης της προηγμένης αφής. Το δεύτερο στοιχείο είναι ότι οι αυτόνομες μηχανές αλληλεπιδρούν με τους ανθρώπους με εξαιρετική ακρίβεια και ταχύτητα. Θα διακρίνουμε την τεχνολογία 6G σε τέσσερις ομάδες, όπως η εκτεταμένη κάλυψη με μη-κυβελικές τοπολογίες⁷⁹. Αυτό περιλαμβάνει δορυφόρους, ιπτάμενα και UAV. Θα προσφέρει εκτεταμένο εύρος και βελτιωμένη κινητικότητα για να διασφαλίσει τη βελτιωμένη συνδεσιμότητα και τη συνεχή υπηρεσία. Νέες τεχνολογίες φάσματος και κεραίας θα αποτελέσουν μία από τις βασικές επαναστάσεις στην επόμενη γενιά. Η ανίχνευση και η επικοινωνία σε τρομακτική κλίμακα, μετα-υλικού (meta material) και ευφυείς υπηρεσίες είναι καλές υποψήφιας για αξιόπιστη επικοινωνία. Οπτική επικοινωνία σε ελεύθερο χώρο και μεμονωμένη όραση μπορεί να αποτελέσουν υποψήφιους. Πληροφορίες ανίχνευσης σχετικά με τον εντοπισμό και την εξάπλωση μπορεί να φέρει την επανάσταση στην τεχνολογία πρόσβασης στο μέσο. Η τρίτη είναι μια φυσική ΑΙ για συνδεδεμένη νοημοσύνη όταν οι κινητές μονάδες αποστέλλουν και συλλέγουν δεδομένα. Τα δεδομένα θα διαιρεθούν για υπολογισμό στη συσκευή ή στον νέφος και στη συνέχεια θα ρέει στο δίκτυο και το MEC. Η συνολική ΑΙ μας επιτρέπει να αυτοματοποιήσουμε την πραγματική βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων από την κινητή αίσθηση στο MEC. Τελευταίο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, είναι η νέα τεχνολογία πρόσβασης στα ραδιοκύματα. Μπορούμε να σκεφτούμε τρεις βασικές περιπτώσεις υπηρεσιών στο 6G. Αυτές είναι η υπερ-ευρυζωνική, η μαζική IoT μηδενικής ενέργειας και η μαζική ευρυζωνική URLLC⁸⁰. Προβλέπουμε μια αυξανόμενη ζήτηση για αυτήν τη μαζική ευρυζωνική διπλή LLC με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας σε έναν κόσμο 6G. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών πρόσβασης, όπως η κωδικοποίηση καναλιού, η πολυπλοκότητα της διαμόρφωσης, τα κύματα και το πλήρες διπλό είναι μια άλλη μεγάλη πρόκληση. Χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή καθυστέρηση επεξεργασίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι οι στόχοι και αυτά είναι τα τεχνικά απαιτούμενα και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που θεωρούμε απαραίτητα στο 6G. Οι έξι βασικοί δείκτες επίδοσης είναι η εμπειρία χρήστη, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η πυκνότητα σύνδεσης 3D, η αξιοπιστία, η εναέρια καθυστέρηση, η φασματική αποτελεσματικότητα και η ενεργειακή αποτελεσματικότητα. Σκεφτόμαστε επίσης τους εκτεταμένους δείκτες απόδοσης των ενεργοποιητικών τεχνολογιών, οι οποίοι είναι η 3D κάλυψη και κινητικότητα και η 3D ακρίβεια τοποθέτησης και η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο και η

⁷⁹ Muhammad Waseem Akhtar, Syed Ali Hassan, Rizwan Ghaffar, Haejoon Jung, Sahil Garg & M. Shamim Hossain. The shift to 6G communications: vision and requirements. Human-centric Computing and Information Sciences volume 10, Article number: 53 (2020).

⁸⁰ Singh AP, Nigam S, Gupta NK (2007) A study of next generation wireless network 6G. Int.J Innovative Res Computer Commun Eng4(1):871–874

συγχρονικότητα για την αρχιτεκτονική και την υπηρεσία⁸¹. Οι κύριες προοπτικές είναι η ανοικτή έξυπνη αυτοματοποιημένη πραγματική βέλτιστη χρήση ενέργειας, η πραγματικά αφοπλιστική κατανομημένη υποδομή που κάνει δυνατή την πραγματική διάδραση μεταξύ φυσικού και ψηφιακού κόσμου. Η αξιοπιστία έχει επίσης πολλές επιθυμητές πτυχές, καθώς προχωράμε στο "dead pool" από κοινωνικές προκλήσεις. Θα πρέπει να καθορίσουμε κάθε κοινωνικό ζήτημα ως προς άτομα, νοικοκυριά, πόλη και χώρα. Θα πρέπει επίσης να συμπεριλάβουμε ζητήματα στο εκτεταμένο κυβερνοχώρο, διότι στην εκπαίδευση η ανισότητα συμβαίνει από την οπτική γωνία του ατόμου, οδηγώντας σε ευρεία εισοδηματική πόλωση. Το χάσμα ανισότητας στην εκπαίδευση μεταξύ περιοχών γίνεται πιο βαθύ από εθνική οπτική γωνία στην υγεία και την ευημερία. Κάποιοι άνθρωποι περιμένουν απλώς μια πιο γρήγορη έκδοση του 5G. Για παράδειγμα, το 6G βοηθά στα αυτόνομα οχήματα. Βοηθά να παρατηρούν τους κινδύνους σε δευτερόλεπτα και η σύνδεση δεν πρέπει να διακοπεί καθόλου. Βοηθάει στη σύνδεση ενός αυτοκινήτου με ένα άλλο αυτοκίνητο σε απόσταση ενός μιλίου. Με αυτόν τον τρόπο, τα αυτόνομα αυτοκίνητα θα αποφεύγουν τις συγκοινωνιακές συμφορήσεις συντονισμένα μεταξύ τους και διασφαλίζοντας ότι κανείς ποτέ δεν θα κολλάει σε κίνηση λόγω ενημερώσεων.

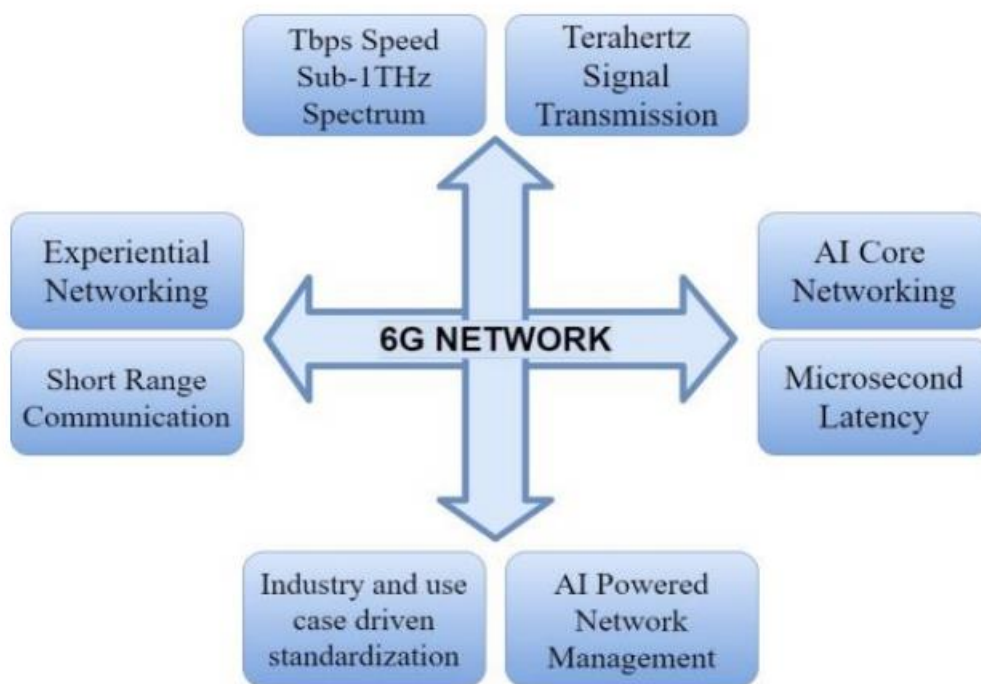


Fig. 3. Emerging Functionalities of the 6G Wireless Network.

81 Syed Agha Hassnain Mohsan , Alireza Mazinani, Warda Malik , Imran Younas Nawaf Qasem Hamood Othman , Hussain Amjad , Arfan Mahmood(2020) 6G: Envisioning the Key Technologies, Applications and Challenges. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 11, No. 9, 2020.

Οι προοπτικές για το 6G περιλαμβάνουν:

Το Intelligent Personal Edge. Χαρακτηριστικά αυτής της εφαρμογής περιλαμβάνουν επαυξημένες διαδραστικές διεπαφές, φυσική προς κυβερνοχώρο συγχώνευση υπηρεσιών ανάλυσης υγείας. Εξατομικευμένη τεχνητή νοημοσύνη, διαδραστικές διεπαφές με χρήση αρχιτεκτονικών διασυνωριακής σύνδεσης με πολυπολική ασύρματη συνδεσιμότητα, θα λειτουργούν ως θεμελιώδη τεχνολογίες.

Το Sensor to AI Fusion. Χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν ευφυή αισθητηριακή ενημέρωση, σάρωση δεικτών υγείας, καθώς και έξυπνο ντύσιμο και περιβάλλον. Για αυτές τις λειτουργίες θα χρειαστούν μηχανική μάθηση, κυβερνοασφάλεια, ανάλυση στο άκρο, edge, συνένωση αισθητήρων και blockchain. Τα Υπερ-Λειτουργικά Προϊόντα (Super-Functional Products). Τεχνολογίες σχεδίασης πολυδιάστατων προϊόντων με ηλεκτρονικά και ανάλυση στην άκρη χρησιμοποιώντας λειτουργικά υλικά. Θα απαιτηθούν δυνατότητες On-The-Fly ρύθμισης, gamification προϊόντων, IoT και UIs ολογραφίας. Τα Έξυπνα Υλικά (Smart Materials). Χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν προϊόντα με εκτυπωμένα ηλεκτρονικά, προσαρμοσμένες διεπαφές χρήστη και αισθητήρες, καθώς και εξατομίκευση. Για τη λειτουργική απόδοσή τους, θα χρειαστούν σχεδιασμός 3D IoT, επαυξημένη ανίχνευση, επαναχρησιμοποιήσιμα υλικά και εκτυπωμένα ηλεκτρονικά. Η Κινητικότητα ως Υπηρεσία (Mobility as a Service). Αυτό θα εκλεπτύνει την κινητικότητα με προηγμένα αντικείμενα και υποδομές επικοινωνίας, αυτόνομη διαχείριση ασφαλείας και λογιστική καθοδήγηση. Τεχνολογίες όπως ασύρματη πολυ-ραδιό συνδεσιμότητα, ανάλυση ροής, πολυ-αντικείμενα IoT και edge υπολογισμός θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως προαπαιτούμενα για το ίδιο. Οι Έξυπνες Υπηρεσίες Πόλης (Smart City Services). Λειτουργίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη παρακολουθεί και προσφέρει υπηρεσίες, ολοκληρωμένη διαχείριση της λογιστικής της πόλης και αίσθηση ασφάλειας και άνεσης και πολλά άλλα. Για την αποτελεσματική λειτουργία αυτών των λειτουργιών, θα χρειαστούν συστήματα με μαζική κλιμακούμενη σχεδίαση, τεχνητή νοημοσύνη, IoT και κυβερνοασφάλεια. Οι Εξατομικευμένες Επιφάνειες (Personalized Surfaces). Ηλεκτρονικά εκτυπώσιμες επιφάνειες συγχωνευμένες με IoT, τεχνητή νοημοσύνη και ασύρματες υπηρεσίες προσφέρουν περιβαλλοντικές εφαρμογές. Για αυτές τις λειτουργίες θα χρειαστούν προαπαιτούμενα όπως διαχείριση συγκατάθεσης, επεξεργασία περιβάλλοντος, υπολογισμός στο άκρο, edge, καθώς και έξυπνες τεχνολογίες επιφάνειας. Η Πολύ-Ανίχνευση Αντικειμένων (Multi-Object Tracking). Αυτή η εφαρμογή θα περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως προγραμματιζόμενες συσχετίσεις IoT, σύνδεση στο άκρο, edge, και δίκτυα ανίχνευσης. Διαχείριση συγκατάθεσης, αναλυτική συστηματολογία, κυβερνοασφάλεια και blockchain θα αποτελέσουν τις θεμελιώδεις τεχνολογίες για τη λειτουργία τους. Η Βιο-Κυβερνητική Ταυτότητα (Bio-Cybernetic Identity), θα περιλαμβάνει αρχιτεκτονικές υπηρεσιών κρίσιμες για την ταυτότητα, μηχανική μάθηση βασισμένη σε αισθητήρες και διανομή εμπιστοσύνης. Αυτή η εφαρμογή θα χρειαστεί τεχνολογίες όπως η επεξεργασία περιβάλλοντος, μηχανική μάθηση, κυβερνο-ταυτότητα και βιομετρικά στοιχεία. Η Αυτόνομη Θύρα (Autonomous Port). Λογιστική ανθρώπων και αγαθών, λειτουργίες

βασισμένες σε ομάδες και συνεργατική κινητικότητα θα είναι τα χαρακτηριστικά αυτής της εφαρμογής 6G. Για αυτές τις λειτουργίες να επεξεργάζονται αποτελεσματικά, ασύρματο IoT, διασυστηματικότητα, αναλυτική πρότυπων δεδομένων και αναλυτική ροής θα αποτελέσουν τα προαπαιτούμενα. Οι Έξυπνες Οθόνες (Smart Screens). Προγραμματιζόμενα επαυξημένα υλικά, παραγωγή περιεχομένου ευαισθητοποιημένου στο περιβάλλον, εμπειρίες χρήστη βασισμένες στις προτιμήσεις θα είναι τα κύρια χαρακτηριστικά. Τεχνολογίες όπως η πολυ-καναλική συνδεσιμότητα, τα εκτυπώσιμα ηλεκτρονικά, το context-free IoT και οι έξυπνες επιφάνειες θα παίξουν έναν κυρίαρχο ρόλο. Ένα από τα βασικά προβλήματα στην ανάλυση του 6G αφορά την αποστολή έως 1 Tbps ανά χρήστη. Επιπλέον, απαιτούνται επιπλέον κλειδιά δείκτες απόδοσης (KPIs) εκτός από τα τεχνικά, όπως αυτά που σχετίζονται με τους στόχους ανάπτυξης των "Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων" (SDGs) του ΟΗΕ, που δεν μπορούν να αγνοηθούν λόγω των σημαντικών παγκόσμιων προκλήσεων. Επιπλέον, το εκτεταμένο φάσμα προς τα THz θα διευκολύνει την ένταξη των επικοινωνιών με νέες εφαρμογές όπως η τρισδιάστατη απεικόνιση και αισθητήρες. Για αυτό, απαιτείται ένα εντελώς νέο παράδειγμα σχεδιασμού πομποδεκτών και υπολογισμού για την επίτευξη των 1 Tbps. Η ηλεκτρονική, η οπτική και άλλα σχετικά υλικά θα έχουν ευκαιρίες σε αυτόν τον τομέα.

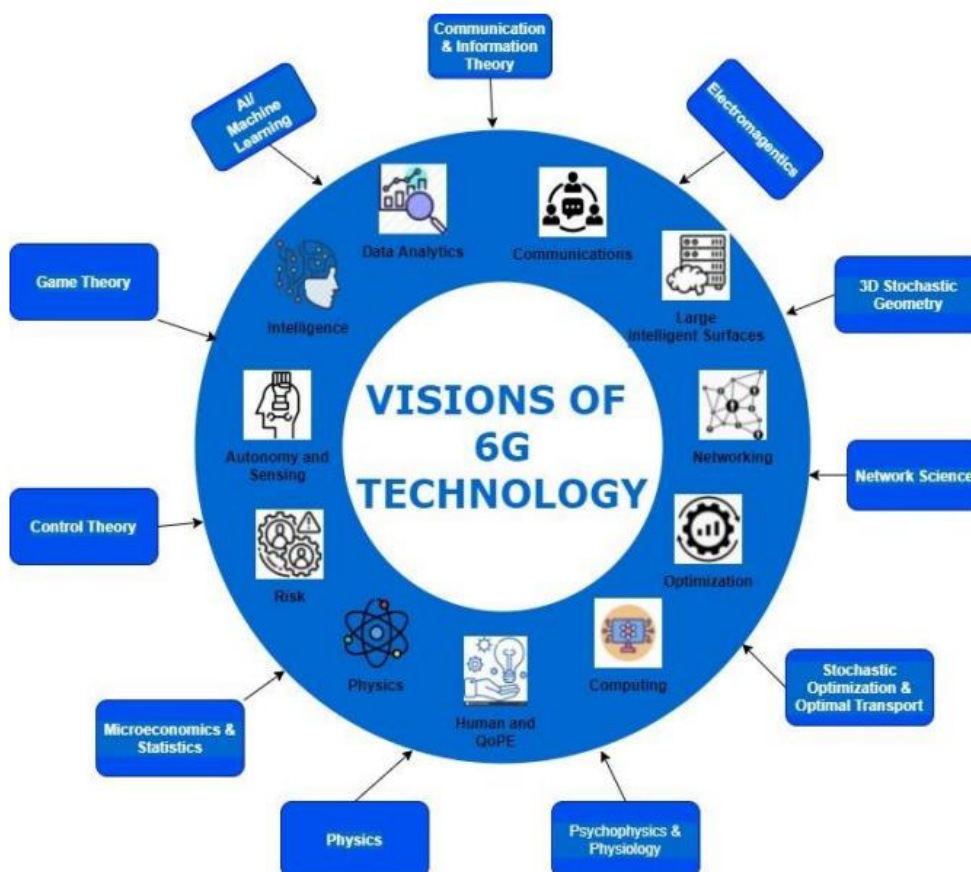


Fig. 4. Necessary foundations and associated analytical tools for 6G.

Το δίκτυο 6G πρέπει να προστατεύεται από επιθέσεις. Η τεχνολογία θα ανοίξει αγορές γνώσης όπου η προστασία της ιδιωτικότητας με σαφείς κανόνες για την αγορά είναι καίρια. Συνολικά,

το δίκτυο 6G θα χρειαστεί ένα αναβαθμισμένο παράδειγμα για την εμπιστοσύνη και την ιδιωτικότητα, ώστε να γίνει μια επιτυχημένη πλατφόρμα δικτύου.

Παρόλο που το 6G προσφέρει ενθουσιώδεις προσδοκίες, οι επιστήμονες παγκοσμίως θα πρέπει να αντιμετωπίσουν μερικά εμπόδια τα επόμενα πέντε έως δέκα χρόνια. Λόγω του ευρέος φάσματος πληροφοριών, θα πρέπει να αναπτυχθούν νέα μοντέλα πολλαπλών καναλιών για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της φασματικής διάσπασης. Νέες τεχνικές διαμόρφωσης και κρυπτογραφίας θα πρέπει επίσης να αναπτυχθούν. Τα υψηλά επίπεδα ισχύος και συχνοτήτων μπορεί να έχουν συνδεδεμένα προβλήματα υγείας. Συμβατές συσκευές θα πρέπει να αναπτυχθούν για να υποστηρίξουν την Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) και τη Εκτεταμένη Πραγματικότητα (XR). Η ενσωμάτωση του γήινου δορυφορικού και κινητού δικτύου σε ένα ενιαίο ασύρματο σύστημα θα είναι επίσης απαραίτητη προϋπόθεση πριν από την εκκίνηση των υπηρεσιών του 6G. Το 6G θα συνδέσει τις συσκευές smartphone που χρησιμοποιούνται στην αυτοματοποίηση, την τεχνητή νοημοσύνη, την εκτεταμένη πραγματικότητα, τις έξυπνες πόλεις, τα drones και τους δορυφόρους. Όλα αυτά θα απαιτήσουν νέες τεχνικές ασφάλειας με καινοτόμες κρυπτογραφικές στρατηγικές για να διασφαλίσουν ανθεκτική κυβερνοασφάλεια. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα διαθέτει την απαιτούμενη δικτυακή νοημοσύνη για να συνδέσει όλους τους ανθρώπους, τις διαδικασίες πληροφορικής και τα φυσικά αντικείμενα σε ένα ενιαίο σύστημα.

5

Έξυπνες πόλεις και μείωση εκπομπών CO₂

5.1 Τι είναι οι έξυπνες πόλεις και πώς λειτουργούν

Οι έξυπνες πόλεις εμφανίστηκαν στη βιβλιογραφία στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και από τότε έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις. Μέχρι σήμερα, η έξυπνη πόλη δεν περιγράφει μια πόλη με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλλά χρησιμοποιείται για να περιγράψει διάφορες περιπτώσεις στον αστικό χώρο: διαδικτυακές πύλες που εικονικοποιούν πόλεις ή οδηγούς πόλης, βάσεις γνώσης που απευθύνονται σε τοπικές ανάγκες, οικισμούς με υποδομές τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) που προσελκύουν τη μετεγκατάσταση επιχειρήσεων, υποδομές ΤΠΕ σε μητροπολιτικό επίπεδο που παρέχουν ηλεκτρονικές υπηρεσίες στους πολίτες, πάντοτε και παντού διαθέσιμα περιβάλλοντα και πρόσφατα υποδομές ΤΠΕ με σκοπό την οικολογική χρήση. Οι ερευνητές, οι επαγγελματίες, οι επιχειρηματίες και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής εξετάζουν την έξυπνη πόλη από διαφορετικές οπτικές γωνίες και οι περισσότεροι από αυτούς συμφωνούν σε ένα μοντέλο που μετρά την αστική οικονομία, την κινητικότητα, το περιβάλλον, τη διαβίωση, τους ανθρώπους και τη διακυβέρνηση. Από την άλλη πλευρά, οι βιομηχανίες ΤΠΕ και κατασκευών δίνουν έμφαση στην κεφαλαιοποίηση της έξυπνης πόλης και μια νέα αγορά φαίνεται να δημιουργείται σε αυτόν τον τομέα⁸².

Μια έξυπνη πόλη είναι μια πόλη στην οποία συλλέγονται δεδομένα μέσω πολλαπλών αισθητήρων και ηλεκτρικών συστημάτων. Οι έξυπνες πόλεις λειτουργούν με βάση την τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να βελτιώσουν την εμπειρία των πολιτών επικεντρώνοντας στην ευκολία, την αξιοπιστία και την ασφάλεια. Η τεχνολογία κινητής ασύρματης επικοινωνίας 5ης γενιάς (5G) ανοίγει έναν εντελώς νέο κόσμο δυνατοτήτων. Όλοι και τα πάντα συνδέονται μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Το 5G έχει σημαντικό οικονομικό και πολιτισμικό αντίκτυπο, διότι παρέχει την απαιτούμενη επικοινωνιακή υποδομή για διάφορες εφαρμογές έξυπνων

⁸² Anthopoulos Leonidas G. 2015. Transforming City Governments for Successful Smart Cities pp 9–21 Part of the Public Administration and Information Technology book series (PAIT, volume 8) διαθέσιμο στο https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-03167-5_2

συσκευών για την πόλη. Οι πόλεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες 5G για να εξοικονομήσουν χρόνο στις μετακινήσεις, να βελτιώσουν τη δημόσια ασφάλεια και να εξοικονομήσουν χρήματα στα έξυπνα δίκτυα τους.

Η επανάσταση του 6G θα δοκιμάσει τον τρόπο που επικοινωνούμε και ρυθμίζουμε δισεκατομμύρια στοιχεία στον ψηφιακό μας μέλλον, από το μακροσκοπικό έως το μικροσκοπικό και νανοσκοπικό. Το 6G θα ενισχύσει τα συστήματα υγείας, τις μεταφορές, τη λογιστική, την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα και πολλά άλλα, πέραν του ότι θα επιτρέψει την άμεση συνδεσιμότητα. Το 6G θα ανιχνεύει τεράστιες ποσότητες δεδομένων με ασύλληπτες ταχύτητες, θα υπολογίζει, θα διατηρεί και θα εμφανίζει αυτά στους χρήστες.

Λόγω της αστικοποίησης του παγκόσμιου πληθυσμού οι έξυπνες πόλεις έχουν αποτελέσει ένα από τα πλέον πολυσυζητημένα θέματα τα τελευταία χρόνια. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, μόνο το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε πόλεις, αλλά σταδιακά μέχρι το τέλος του 2014, ο βαθμός αστικοποίησης είχε φτάσει στο 54% και τα Ηνωμένα Έθνη προβλέπουν ότι μέχρι το 2050 αυτός ο αριθμός θα φθάσει το 66%⁸³. Ωστόσο, η ταχύτητα της αστικοποίησης στις αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ασία και η Αφρική αυξάνεται πιο γρήγορα από άλλες περιοχές του κόσμου. Επειδή οι πόλεις δεν είναι μόνο κέντρα ανθρώπινων δραστηριοτήτων, αλλά και κέντρα οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής ζήτησης, οι προκλήσεις είναι πολλές. Η διαδικασία της αστικοποίησης μπορεί επίσης να προκαλέσει σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και δημογραφικές μεταστροφές⁸⁴. Έχει σημειωθεί μια μεγάλη επανάσταση στην τεχνολογία της πληροφορίας και επικοινωνίας (ΤΠΕ) λόγω της προόδου των υλικολογισμικών σχεδιασμών τα τελευταία χρόνια. Αυτή η επανάσταση στην ΤΠΕ δίνει την ευκαιρία για την επίλυση διαφόρων ζητημάτων που σχετίζονται με την αστικοποίηση. Η χρήση της ΤΠΕ στις πόλεις για τη βελτίωση διαφόρων αστικών δραστηριοτήτων χαρακτηρίζεται γενικά ως "cyber Ville", "digital city", "electronic city", "flexi city", "information city", "telicity", "wired city" και "smart city"⁸⁵.

Υπάρχουν πολλές πολύπλοκες και διαφορετικές προκλήσεις για τη δημιουργία έξυπνων πόλεων, όπως το κόστος, η αποδοτικότητα, η βιωσιμότητα, η επικοινωνία, η ασφάλεια και η προστασία. Διάφοροι παράγοντες, όπως το φυσικό περιβάλλον, η πολιτική των κυβερνήσεων, οι κοινωνικές κουλτούρες και η οικονομία, επηρεάζουν αυτές τις προκλήσεις σχεδιασμού. Ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό οποιασδήποτε έξυπνης πόλης είναι το κόστος που συνεπάγεται, συμπεριλαμβανομένου του κόστους σχεδιασμού και λειτουργίας. Το κόστος σχεδιασμού για τις

⁸³ United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World urbanization prospects: the 2014 revision. New York (2014). Ανακτήθηκε από <https://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>

⁸⁴ Abu-Lughod J, Hay RJ (2013) Third world urbanization. Routledge Kegan & Paul, Abingdon

⁸⁵ Mohanty SP, Choppali U, Kougianos E (July 2016) Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. IEEE Consumer Electron Magaz 5(3):60–70. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879>

έξυπνες πόλεις είναι ένα one time cost, ενώ το κόστος λειτουργίας είναι επαναλαμβανόμενο. Για να γίνει δυνατή η υλοποίηση μιας έξυπνης αστικής πραγματικότητας, τα κόστη σχεδιασμού πρέπει να είναι μικρά. Το μικρό κόστος θα διευκολύνει επίσης τη βιωσιμότητα των πόλεων, με ελάχιστο φόρτο στην πόλη. Η βελτιστοποίηση του κόστους σχεδιασμού και λειτουργίας είναι μια από τις μεγάλες προκλήσεις στις έξυπνες πόλεις. Το κόστος λειτουργίας και η βιωσιμότητα μπορούν να μειωθούν αυξάνοντας τη λειτουργική αποδοτικότητα. Η μείωση της ρύπανσης και των αστικών αποβλήτων είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας και τη μείωση των λειτουργικών δαπανών.

Οι έξυπνες πόλεις πρέπει επίσης να αντιμετωπίζουν την αύξηση του πληθυσμού για να εξασφαλίσουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και τη μείωση των λειτουργικών δαπανών. Η αυξανόμενη πληθυσμιακή αύξηση μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα των έξυπνων πόλεων. Εκτός από την αποδοτικότητα, οι πόλεις πρέπει να είναι ανθεκτικές σε αποτυχίες και φυσικές καταστροφές, ώστε να μπορούν να ανακάμψουν γρήγορα από αυτές.

Τέλος, η ασφάλεια των δεδομένων και της υποκείμενης υποδομής είναι μεταξύ των μεγάλων προκλήσεων. Η δημόσια ασφάλεια είναι, πάνω απ' όλα, μια σημαντική πρόκληση στον σχεδιασμό έξυπνων πόλεων, καθώς η υγεία του κοινού είναι κρίσιμη, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τον προϋπολογισμό για το σχεδιασμό και τη λειτουργία.

5.2 Industry 4.0 και Έξυπνες πόλεις

Η βιομηχανία 4.0 και οι έξυπνες πόλεις έχουν στενή σχέση και αλληλεπίδραση, καθώς και οι δύο επιδιώκουν τη χρήση της τεχνολογίας και των δεδομένων για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την αειφορία και την ποιότητα ζωής. Η βιομηχανία 4.0 αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας των πληροφοριών και των επικοινωνιών, των αισθητήρων και της αυτοματοποιημένης διαχείρισης δεδομένων για να βελτιώσει τις διεργασίες και την παραγωγή στις βιομηχανικές επιχειρήσεις. Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, οι επιχειρήσεις μπορούν να επιτύχουν αυξημένη παραγωγικότητα, βελτιωμένη αυτοματοποίηση και μείωση των δαπανών. Από την άλλη πλευρά, οι έξυπνες πόλεις εστιάζουν στη χρήση της τεχνολογίας και των δεδομένων για να βελτιώσουν τη διαχείριση της πόλης και να προάγουν την αειφορία και την ποιότητα ζωής για τους κατοίκους της. Μέσω της χρήσης έξυπνων δικτύων, αισθητήρων και δεδομένων, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση των δημόσιων υπηρεσιών, να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, να βελτιώσουν την κυκλοφορία και την ασφάλεια. Στην ουσία, η συνεργασία μεταξύ της βιομηχανίας 4.0 και των έξυπνων πόλεων μπορεί να οδηγήσει σε ολοκληρωμένες λύσεις που θα βελτιώνουν την απόδοση, την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα και στις δύο περιοχές. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας της βιομηχανίας 4.0 στις ενεργειακές υποδομές μιας έξυπνης πόλης μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των δικτύων ενέργειας και να εξασφαλίσει την ομαλή λειτουργία της πόλης. Επιπλέον, η συλλογή και ανάλυση δεδομένων από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί

να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτίωση της κυκλοφορίας, την ασφάλεια και την απόδοση της πόλης.

Συνολικά, η συνεργασία αυτών των δύο τομέων μπορεί να δημιουργήσει έξυπνες, βιώσιμες και αποτελεσματικές πόλεις που θα προσφέρουν βελτιωμένες συνθήκες ζωής για τους κατοίκους τους και θα συμβάλουν στην αντιμετώπιση της πρόκλησης της μείωσης των εκπομπών CO₂.

5.3 Ανάλυση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι έξυπνες πόλεις στη μείωση των εκπομπών CO₂

Οι έξυπνες πόλεις αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις στη μείωση των εκπομπών CO₂ και την επίτευξη πιο βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής λειτουργίας. Οι κύριες προκλήσεις περιλαμβάνουν την υποδομή και τους πόρους, καθώς η μετάβαση σε βιώσιμες τεχνολογίες και υποδομές μπορεί να απαιτεί σημαντικές επενδύσεις. Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να επενδύσουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, βιώσιμες μεταφορές και νέες τεχνολογίες. Οι πολιτικές υποστήριξης και η διαθεσιμότητα χρηματοδότησης είναι επίσης κρίσιμες για την υλοποίηση μακροπρόθεσμων προγραμμάτων μείωσης των εκπομπών CO₂.

Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις με διαφάνεια, στρατηγική, καινοτόμες λύσεις και συνεργασία με όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, προκειμένου να προωθήσουν την κοινή προσπάθεια για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την περιβαλλοντικά φιλική ανάπτυξη. Για να επιτευχθεί μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία των πόλεων, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και υποδομές που θα προωθήσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αντικατάσταση των παραδοσιακών, ενεργοβόρων τεχνολογιών με πράσινες εναλλακτικές, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, απαιτεί επιπλέον κεφάλαια και τεχνογνωσία. Επίσης, η ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων, αισθητήρων και λογισμικού που θα διευκολύνουν την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας και των υποδομών απαιτεί επίσης σημαντικές επενδύσεις. Η διαθεσιμότητα πόρων παίζει κρίσιμο ρόλο καθώς η μετάβαση σε πιο βιώσιμες τεχνολογίες απαιτεί αυξημένες δαπάνες για τον πληθυσμό και τις επιχειρήσεις. Η διασφάλιση κατάλληλων πόρων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή υλοποίηση και λειτουργία προγραμμάτων μείωσης των εκπομπών CO₂⁸⁶.

Ωστόσο, παρά τις προκλήσεις αυτές, η επένδυση σε πράσινες τεχνολογίες και υποδομές μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα οφέλη, καθώς θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO₂, την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις. Επίσης, η προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης μπορεί να δημιουργήσει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες και να ενισχύσει την οικονομία των πόλεων.

⁸⁶ Smart Cities: A Survey of Technologies and Applications" by Mohan M. Trivedi et al

Μία άλλη πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν οι έξυπνες πόλεις είναι θέματα συνεργασίας και συμμετοχής. Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να συνεργαστούν με κυβερνήσεις, κοινότητες, εταιρείες και πολίτες για να εφαρμόσουν αποτελεσματικά προγράμματα μείωσης των εκπομπών CO₂. Η συμμετοχή και η ευαισθητοποίηση του κοινού είναι κρίσιμες για την επιτυχία των προσπαθειών. Η πρόκληση της συνεργασίας και συμμετοχής είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι έξυπνες πόλεις στην προσπάθειά τους να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ και να επιτύχουν βιωσιμότητα και αποτελεσματική διαχείριση των πόρων. Οι έξυπνες πόλεις προσφέρουν ένα πλαίσιο όπου διάφοροι ενδιαφερόμενοι φορείς, όπως δημόσιοι φορείς, ιδιωτικές επιχειρήσεις, έρευνα και κοινωνικές οργανώσεις, πρέπει να συνεργαστούν και να συμμετάσχουν για να επιτύχουν τους κοινούς στόχους της βιωσιμότητας, της καινοτομίας και της αειφορίας. Οι πόλεις βρίσκονται αντιμέτωπες με την πολυπλοκότητα των φορέων, καθώς στις έξυπνες πόλεις, συμμετέχουν πολλοί φορείς με διαφορετικούς στόχους, συμφέροντα και δυνατότητες. Ο συντονισμός μεταξύ αυτών των φορέων και η επίτευξη κοινών στόχων μπορεί να είναι πολύπλοκος και προκλητικός. Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ανάγκες και τις απόψεις του πληθυσμού τους. Οι πολίτες πρέπει να συμμετέχουν και να συνεισφέρουν στις αποφάσεις και τις δράσεις που αφορούν την αειφόρο ανάπτυξη της πόλης. Επιπλέον, η εφαρμογή έξυπνων λύσεων και υποδομών συχνά απαιτεί σημαντικές επενδύσεις. Ο συντονισμός των οικονομικών πόρων και η εύρεση τρόπων χρηματοδότησης αποτελεί πρόκληση, όπως αναφέραμε προηγουμένως⁸⁷.

Καθώς οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες και συλλέγουν μεγάλο όγκο δεδομένων από διάφορες πηγές, η προστασία της ιδιωτικότητας και η ασφάλεια των δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για να εξασφαλιστεί η εμπιστοσύνη των πολιτών και να προστατευθούν από δυνητικούς κινδύνους και καταχρήσεις. Η συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων των πολιτών από διάφορες τεχνολογίες και συστήματα είναι μια από τις κύριες αιτίες ανησυχίας για την ιδιωτικότητα. Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να εφαρμόζουν αυστηρούς κανόνες προστασίας δεδομένων για να διασφαλίσουν ότι τα προσωπικά δεδομένα διαχειρίζονται με ασφάλεια και ότι οι πολίτες έχουν πλήρη έλεγχο και συναίνεση για τη χρήση των δεδομένων τους. Οι έξυπνες πόλεις αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων και χάκερ που ενδέχεται να διαταράξουν τη λειτουργία των συστημάτων και να αποκτήσουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα. Η ασφάλεια των συστημάτων και των δικτύων είναι απαραίτητη για την προστασία από τις κυβερνοαπειλές και τις διαρροές δεδομένων. Πρέπει να υπάρχει διαφάνεια σχετικά με τον τρόπο συλλογής και χρήσης των δεδομένων των πολιτών από τις έξυπνες πόλεις. Επίσης, πρέπει να είναι ενημερωμένοι για τα δικαιώματα που έχουν σχετικά με τα προσωπικά τους δεδομένα και τον τρόπο που μπορούν να ασκήσουν έλεγχο επί αυτών. Μια λύση για την προστασία της ιδιωτικότητας είναι η χρήση ανώνυμων δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τις έξυπνες πόλεις μπορούν να αναλυθούν και

⁸⁷ Sustainable Smart Cities: A Comprehensive Overview" by Md Zakirul Alam Bhuiyan et al.

να χρησιμοποιηθούν για στατιστικούς και επιστημονικούς σκοπούς χωρίς να αποκαλύπτονται τα ατομικά δεδομένα. Είναι σημαντικό να υπάρχει εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση για την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια των δεδομένων τόσο για τους πολίτες όσο και για τους υπεύθυνους της υλοποίησης και λειτουργίας των έξυπνων λύσεων. Η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τους κινδύνους και τους τρόπους προστασίας της ιδιωτικότητάς τους είναι ζωτικής σημασίας για να κερδίσουν εμπιστοσύνη και αποδοχή για τις έξυπνες τεχνολογίες. Η διαχείριση της πρόκλησης της ιδιωτικότητας και ασφάλειας δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία των έξυπνων πόλεων και την εξασφάλιση της εμπιστοσύνης και της συμμετοχής των πολιτών. Οι έξυπνες πόλεις πρέπει να εφαρμόζουν σύγχρονες τεχνολογίες κρυπτογράφησης, πρωτοκόλλων ασφαλείας και μέτρων προστασίας για να διασφαλίσουν ότι τα δεδομένα είναι ασφαλή και ότι η ιδιωτικότητα των πολιτών προστατεύεται αποτελεσματικά. Επίσης, πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι πολίτες έχουν πλήρη έλεγχο και συναίνεση για τη χρήση και επεξεργασία των δεδομένων τους, και να υπάρχουν μηχανισμοί επιδιόρθωσης και παραπόνων σε περίπτωση παραβίασης της ιδιωτικότητάς τους. Τέλος, οι έξυπνες πόλεις συχνά αντιμετωπίζουν πολυπλοκότητα στη νομοθεσία και τους ρυθμιστικούς κανόνες, ειδικά όσον αφορά τις νέες τεχνολογίες και την εκμετάλλευση δεδομένων⁸⁸.

Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις, οι έξυπνες πόλεις πρέπει να προωθήσουν ανοικτή και διαφανή συνεργασία, να διασφαλίσουν τη συμμετοχή των πολιτών και να αναπτύξουν δίκτυα εταίρων για την ανταλλαγή ιδεών και βέλτιστων πρακτικών. Η καλή συνεργασία και η διασφάλιση της συμμετοχής διαφόρων φορέων μπορούν να συμβάλουν στην αποτελεσματική υλοποίηση των έξυπνων πόλεων και στην επίτευξη των στόχων τους για βιώσιμη ανάπτυξη και βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Η Τεχνολογία και η διασύνδεση για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, όπως οι έξυπνες δικτυώσεις, οι αισθητήρες, η τεχνητή νοημοσύνη και η blockchain, απαιτεί προηγμένες ικανότητες και διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων⁸⁹.

Επίσης η ασφάλεια των δεδομένων αποτελεί ακόμα μία σημαντική πρόκληση. Η συλλογή, ανάλυση και αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων απαιτεί αποτελεσματική διαχείριση και διασφάλιση της ασφαλείας τους, καθώς και την προστασία της ιδιωτικότητας των πολιτών.

⁸⁸ Reducing CO2 Emissions in Cities: A Systematic Review of European Policies" by M. Shakya et al.

⁸⁹Vincenzo Loia et al. 2016. IoT-based Smart Cities: a Survey Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/301790173_IoT-based_Smart_Cities_a_Survey

5.4 Ψηφιακές Λύσεις για την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση και Αειφορία στις Κτηματομεσιτικές Υπηρεσίες: Προκλήσεις και Προοπτικές

Οι ψηφιακές λύσεις για τον κλάδο των κτηματομεσιτικών υπηρεσιών περιλαμβάνουν την ενέργεια, από την κλασική αγορά ενεργειακών πηγών, μέσω τεχνικών συστημάτων, έως τη διαδικασία βελτιστοποίησης για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η έξυπνη δικτύωση κτιρίων είναι σημαντική ως βάση για την ολοκληρωμένη λειτουργία ακινήτων και διαδικασιών παροχής υπηρεσιών, επίσης η χρήση ψηφιακών στοιχείων μπορεί να δημιουργήσει πραγματική προστιθέμενη αξία για τους κατοίκους και την διοίκηση. Για την επίτευξη των παραπάνω στα κτίρια πρέπει να ενσωματωθούν ψηφιακές υπηρεσίες όπως η απομακρυσμένη πρόσβαση και ο έλεγχος της παραγωγής, της κατανάλωσης και της αποθήκευσης ενέργειας (ηλιακή, CHP κ.λπ.).⁹⁰ Η έξυπνη μέτρηση (ηλεκτρικό ρεύμα, θέρμανση, νερό κ.λπ.), ο έξυπνος έλεγχος σπιτιού και κτιρίου με νέα λειτουργικά κελιά, ο έλεγχος φωτισμού και η προστασία από τον ήλιο, ο έλεγχος συσκευών: απομακρυσμένος έλεγχος, έλεγχος σκηνής, μείωση της κατανάλωσης σε αναμονή (αυτόματη απενεργοποίηση), η μεγιστοποίηση της αυτοκατανάλωσης, ο έλεγχος κλιματιστικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, η σταθεροποίηση δικτύου χρησιμοποιώντας αποθηκευτικούς χώρους και έλεγχο της τοπικής παραγωγής ενέργειας, το ενσωματωμένο σύστημα μέτρησης το οποίο παρέχει δεδομένα για την τιμολόγηση, τον ενοικιασμό εξοπλισμού και το επιπλέον κόστος, η παρακολούθηση επικινδυνότητας από καπνό, πυρκαγιά, νερό, ο έλεγχος πρόσβασης και ασφάλειας, ένα κέντρο κινητικότητας σε μια περιοχή που παρέχει δεδομένα χρέωσης, ο συντονισμός κέντρου κινητικότητας για τον υπολογισμό και τη ρύθμιση ισχύος φόρτισης για τον συντονισμό της διαθέσιμης ισχύος δικτύου, της ικανότητας παραγωγής και της ζήτησης των χρηστών, η παρακολούθηση τεχνικού εξοπλισμού σε κτίρια (π.χ., CHP, μετατροπείας DC/AC), ο έλεγχος μέσων ενημέρωσης (FTTH, τηλεόραση, διαδίκτυο, τηλέφωνο) που παρέχει δεδομένα χρέωσης (αν είναι διαθέσιμα από τον πάροχο)⁹¹.

Αισθητήρες, ενεργοποιητές, μετρητές, τεχνολογία επικοινωνίας και διανεμημένες πλατφόρμες πραγματικού χρόνου θα είναι τεχνολογίες κλειδιά για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη μέτρηση των διάφορων ηλεκτρικών εξοπλισμών. Οι πληροφορίες που συλλέγονται θα χρησιμοποιούνται ως είσοδος για πολλούς τύπους αλγορίθμων μοντελοποίησης (π.χ., Τεχνητή Νοημοσύνη), των οποίων τα αποτελέσματα υποστηρίζουν τις αποφάσεις για την επίτευξη των

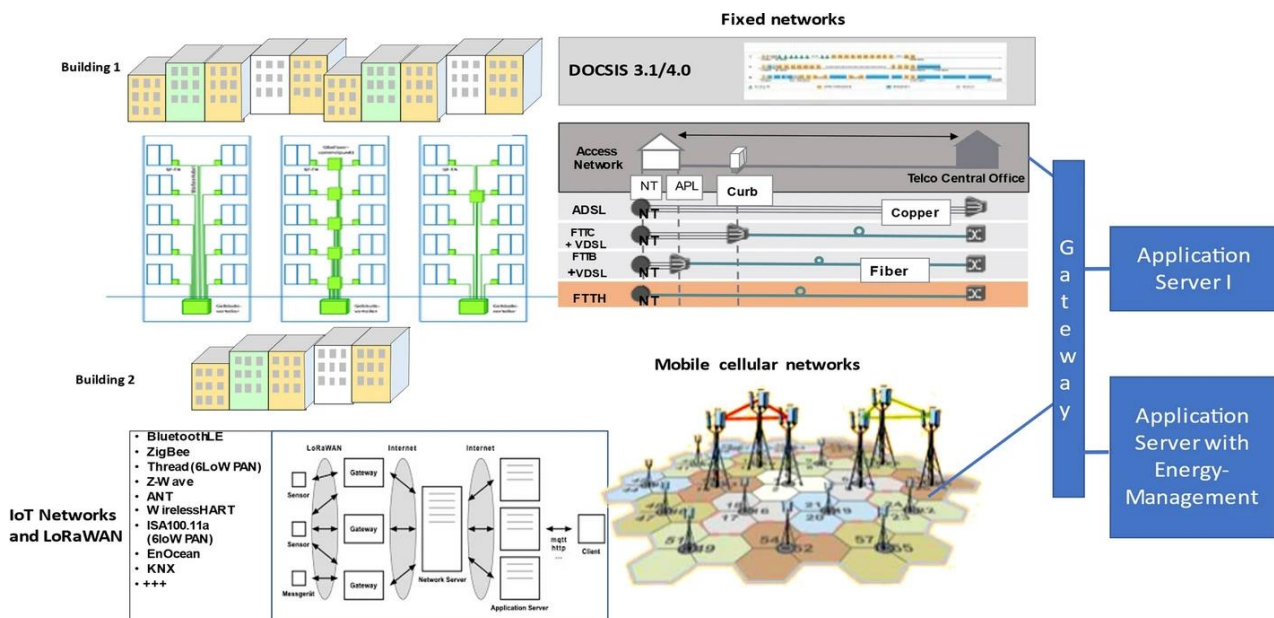
⁹⁰ Kastner, T., Konhäuser, W., & Schuck, I. Energieeffizienz dank effizienter Prozesse; Die Wohnungswirtschaft, Ausgabe 05/2021

⁹¹ Decentralized transactive energy; white paper WEC (World Energy Consortium)

στόχων του μέλλοντος. Για μια κατάλληλη δομή ελέγχου, είναι απαραίτητο να σταθεροποιηθεί ένα δίκτυο με μια αρχιτεκτονική που βασίζεται σε μια κατάλληλη συνδυαστική δομή κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου.

Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας που βασίζονται στην αρχιτεκτονική λογισμικού Enterprise IT επιτρέπουν στους καταναλωτές και τους φορείς της αγοράς να συνθέτουν νέες υπηρεσίες όπως η διαχείριση ενέργειας για μικρές μονάδες (γραφεία, διαμερίσματα, εγκαταστάσεις παραγωγής), η διαχείριση ενέργειας για ολόκληρα κτίρια και εγκαταστάσεις, η διαχείριση ενέργειας για αστικές περιοχές και βιομηχανικά πάρκα με μέτρηση δεδομένων. Ο ψηφιακός έλεγχος για προϊόντα και εφαρμογές πελατών διαχειρίζεται τις δικές τους απαιτήσεις σχετικά με υπηρεσίες και προϊόντα ενέργειας, χρησιμοποιώντας παράλληλα διεπαφές αγοράς και υποστηρίζοντας την ποιότητα και την ασφάλεια της παροχής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένης σε δίκτυο. Το Oktett64, που αναπτύχθηκε βασιζόμενο στην τεχνολογία Enterprise IT και κατασκευάστηκε ως πλατφόρμα, προσφέρει ανεξάρτητες προμηθευτικές λύσεις βασισμένες σε πρότυπα και ανοικτού κώδικα πλαίσια, συμπεριλαμβανομένων των καταλλήλων αρχών ασφάλειας και λειτουργίας όπως DMZ, Containers, εικονικοποίηση βελτιστοποιημένη για άριστη απόδοση με υψηλή αποδοτικότητα. Τα στοιχεία λύσης μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς δυσκολία και σε παραγωγική ποιότητα σε πολλά διαφορετικά συστήματα (συμπεριλαμβανομένου εύκολα διανεμημένου υλικού χαμηλού κόστους όπως τα συστήματα SoC στην ευρεία επίδοση ενός Raspberry Pi).

Για την ψηφιοποίηση των κτιρίων, είναι πολύ σημαντικό να εγκατασταθούν υψηλής απόδοσης δίκτυα επικοινωνίας. Διάφορα πρότυπα κινητής επικοινωνίας και δικτύων IoT και Πρότυπα σταθερών δικτύων (Σχήμα 3) πρέπει να χρησιμοποιούνται στα κτίρια.

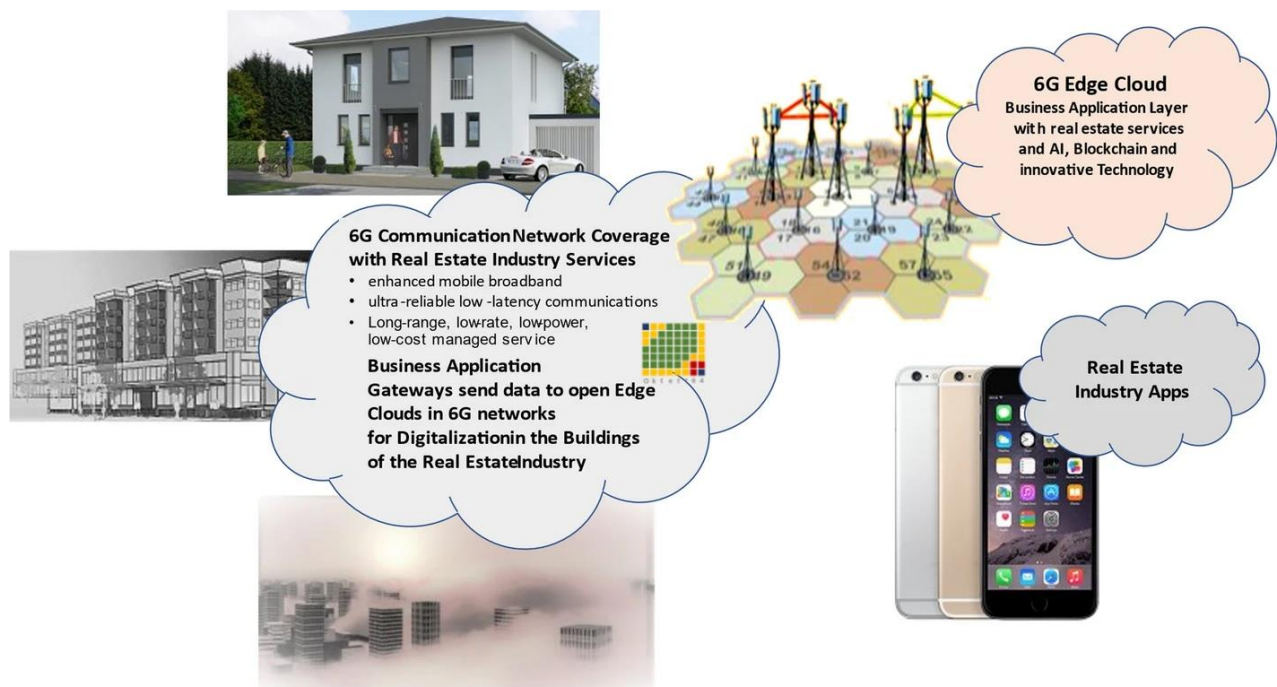


Ο στόχος είναι να καθιερωθεί η καταλληλότερη αρχιτεκτονική για μια κοινή πλατφόρμα επικοινωνίας (IoT, κινητά και σταθερά δίκτυα) για να προσφέρει κατάλληλες εφαρμογές μέσω edge cloud servers των δικτύων 5G beyond ή 6G. Οι αισθητήρες, ενεργοποιητές, μετρητές κ.λπ.

που πρέπει να εγκατασταθούν για την ψηφιοποίηση χρειάζονται ένα δίκτυο μέσω του οποίου μπορούν να επικοινωνήσουν με το σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Για την αποθήκευση των συλλεγμένων δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εσωτερικά και εξωτερικά συστήματα cloud. Τα συστήματα IoT και οι συνδέσεις LoraWAN αποτελούν σημαντική προσθήκη στην επικοινωνία των κτιρίων. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας μπορεί επίσης να εγκατασταθεί σε έναν εξωτερικό διακομιστή και είναι ικανό να ελέγχει πολλές ομάδες κτιρίων ταυτόχρονα. Το Oktett64 μπορεί να αναλάβει τη λειτουργία του πύλης και να συλλέξει όλα τα δεδομένα των αισθητήρων και μετρητών να τα προωθήσει στο edge cloud και να στείλει τα υπολογισμένα δεδομένα στους ενεργοποιητές στο νέφος. Για το λόγο αυτό η υψηλή κάλυψη δικτύου σε κατοικημένες περιοχές, ο υψηλός αριθμός συνδρομητών, η μακρινή εμβέλεια, ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το χαμηλό κόστος υπηρεσιών διαχείρισης, η υψηλή ταχύτητα μετάδοσης 50 Mbit/s για υπηρεσίες ψυχαγωγίας, η γρήγορη αλλαγή χειρισμού ($< 2 \text{ ms}$), η χαμηλή καθυστέρηση ($< 2 \text{ ms}$) για τον ασύρματο σύνδεσμο μετάδοσης των υπηρεσιών ψυχαγωγίας, η υψηλή ασφάλεια δεδομένων, η ανάπτυξη δικτύων 5G beyond ή 6G ιδιωτικών δικτύων, το ανθεκτικό δίκτυο με λιγότερη ευαισθησία έναντι παρεμβολών, όπως τοίχων, υπογείων χώρων, αισουσών, ψηλών κτιρίων, δέντρων και καιρικών συνθηκών, απαιτούνται με τη χρήση Application Server και νέφη (Clouds) στο κτίριο ή στα δίκτυα 5G beyond ή 6G για τη διαχείριση των έξυπνων κτιρίων και των έξυπνων πόλεων. Ο στόχος είναι να καθιερωθεί η κατάλληλη αρχιτεκτονική για μια κοινή πλατφόρμα επικοινωνίας (IoT, κινητά και σταθερά δίκτυα συγχώνευσης) για να προσφέρει κατάλληλες εφαρμογές μέσω του edge cloud server. Ένα έξυπνο αστικό διαμέρισμα μπορεί να αναπτυχθεί για να διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ συσκευών ή εφαρμογών σε ένα περιβάλλον αστικού διαμερίσματος. Τα μαζικά δεδομένα του IoT, η ενέργεια και η παρακολούθηση εξοπλισμού, η αποκεντρωμένη αποδοτική παραγωγή, κατανάλωση και διανομή ενέργειας αποτελούν τη βάση για τη βελτιστοποίηση της χρήσης διαφορετικών πηγών ενέργειας. Οι οικονομικοί ελεγκτές ενέργειας και η επικοινωνία του δικτύου χρησιμοποιούνται υπό αυτό το πλαίσιο. Το επίπεδο πολυπλοκότητας αυξάνεται σημαντικά με την περιληπτική εξεύρεση προσεγγίσεων διαχείρισης πλευράς ζήτησης, διαφορετικούς τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συστήματα αποθήκευσης μπαταριών, ηλεκτρικά οχήματα, αντίδραση ζήτησης και δυναμική τιμολόγηση⁹². Η υψηλή πυκνότητα κόμβων μέτρησης και το ποσό των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν μέσω χαμηλού κόστους σημείων άκρου μπορούν εύκολα να μεταφερθούν μέσω της επιχειρηματικής πύλης εφαρμογών για την ψηφιοποίηση στα κτίρια, η οποία συλλέγει τον όγκο δεδομένων από τις συσκευές IoT στον κεντρικό διακομιστή νέφους στο κτίριο ή στα δίκτυα 5G beyond και 6G, όπως περίπτωση χρήσης. Οι άμεσοι σύνδεσμοι με τα δίκτυα 5G είναι επίσης δυνατοί. Στο επίπεδο της επιχειρηματικής εφαρμογής που εγκαταστάθηκε στον κεντρικό

⁹²Walter Konhäuser. 2021. Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G Διαθέσιμο στο: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-021-09069-9>

διακομιστή νέφους, μπορεί να γίνει η επιλογή των υπηρεσιών. Βελτιστοποίηση λειτουργίας μέσω χειρισμού κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας και χρήσης συστημάτων αποθήκευσης. Μέσω της χρήσης αλγορίθμων που πραγματοποιούνται μη γραμμικές λειτουργίες που ρυθμίζονται από επιχειρηματικές και παραμετροποιήσεις ζήτησης. Οι αλγόριθμοι είναι δυναμικά προσαρμόσιμοι ή «αυτο-μαθαίνοντες» (πρόγνωση μοντέλου). Η απομακρυσμένη συντήρηση για την τοπική παραγωγή ενέργειας (CHP, PV κλπ.) και την τοπική αποθήκευση ενέργειας, η έξυπνη μέτρηση για την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας (ρεύμα, θέρμανση και ψύξη, νερό κ.λπ.), μπορούν να διαχειριστούν απομακρυσμένα μέσω των δικτύων 5G beyond ή 6G και νέας λειτουργικής έννοιας για έλεγχο θέρμανσης και ψύξης, έλεγχο φωτισμού και έλεγχο πλαισίων, καθώς επίσης και η παρακολούθηση διαφορετικού εξοπλισμού, όπως θέρμανση και ψύξη, φως, παράθυρα, εσωτερικό κλίμα, ποιότητα αέρα, αποφυγή μούχλας, ανίχνευση καπνού και πυρός, ανίχνευση νερού, έλεγχος εισόδου και ασφάλεια αποτελούν τη βάση μιας έννοιας ψηφιοποίησης. Περαιτέρω εφαρμογές είναι η ηλεκτρική ενέργεια των ενοίκων για τη χρήση της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας και ο ενσωματωμένος συστηματικός υπολογισμός για τη δημιουργία δεδομένων για τη χρέωση. Επίσης, μπορούν να οργανωθούν σύνδεση με προσφορά ισορροπίας ισχύος από σύστημα μπαταριών και τοπική παραγωγή ενέργειας με την DSO και την TSO. Το Mobility hub σε αστικά διαμερίσματα για την ενοικίαση ηλεκτρικών οχημάτων, υπολογισμός και έλεγχος της ηλεκτρικής ισχύος των σταθμών φόρτισης για τον συντονισμό της προσφοράς ενέργειας από την παραγωγή ενέργειας και τη δημιουργία δεδομένων για τη χρέωση πρέπει να εγκατασταθούν επίσης.



5.5 Εξέταση προηγμένων τεχνολογιών, πιλοτικών έργων ή πρακτικών παραδειγμάτων που μπορούν να υιοθετηθούν για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στις έξυπνες πόλεις

Οι έξυπνες πόλεις αντιπροσωπεύουν το πρωτοποριακό μέλλον της αστικής ανάπτυξης, όπου η τεχνολογία συναντά την καινοτομία για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της αποτελεσματικότητας των πόλεων. Από την εκπληκτική σύνδεση των διαφόρων στοιχείων της υποδομής της πόλης μέχρι την έξυπνη διαχείριση των υπηρεσιών, οι έξυπνες πόλεις ανοίγουν νέους ορίζοντες για την αλληλεπίδραση ανθρώπου-τεχνολογίας. Από τις ενεργειακά αποδοτικές υποδομές μέχρι την έξυπνη μετακίνηση και την αυξημένη ασφάλεια, οι εφαρμογές των έξυπνων πόλεων αποτελούν ένα συναρπαστικό τοπίο καινοτομίας που εξελίσσεται μαζί με την ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας. Στην ελληνική επικράτεια το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης, σε συνεργασία με την Κεντρική Ένωση Δήμων Ελλάδας (ΚΕΔΕ), έχει ξεκινήσει μια διαβούλευση για την προώθηση προτεινόμενων δράσεων στο πλαίσιο της Ανάπτυξης Εφαρμογών και Τεχνολογιών Έξυπνων Πόλεων, με τη συμμετοχή 315 δήμων που δικαιούνται να επωφεληθούν από αυτές. Το κύριο κριτήριο επιλογής των προτεινόμενων δράσεων είναι η χρηστικότητα για τους πολίτες και τους δήμους, καθώς και η συμβατότητά τους με τα κριτήρια επιλεξιμότητας του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΣΠΑ). Σε αυτό το πλαίσιο, προσφέρονται λύσεις για την Ανάπτυξη Εφαρμογών και Τεχνολογιών Έξυπνων Πόλεων, οι οποίες σχεδιάζονται και προσαρμόζονται με βάση τις ειδικές ανάγκες κάθε δήμου. Μερικές από τις εφαρμογές που ήδη έχουν υιοθετηθεί από πολλούς δήμους της Ελλάδας είναι η εφαρμογή διαχείρισης στόλου, η εφαρμογή ελέγχου πληρότητας κάδων, το σύστημα έξυπνης στάθμευσης, η εφαρμογή συγκέντρωσης δεδομένων επισκεψιμότητας χώρου παρέμβασης, το υποσύστημα μέτρησης ποιότητας πόλης (περιβαλλοντικών δεδομένων), έξυπνα συστήματα ηλεκτροφωτισμού και πολλά άλλα με σκοπό την μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος⁹³. Στην εφαρμογή ελέγχου πληρότητας κάδων, το κύκλωμα της συλλογής απορριμμάτων περιλαμβάνει τη διαδρομή, που ακολουθεί το απορριμματοφόρο, όταν ξεκινά από το χώρο στάθμευσης, πραγματοποιεί ένα ή περισσότερα δρομολόγια συγκέντρωσης απορριμμάτων, τα αδειάζει στο χώρο διάθεσης και επιστρέφει στο χώρο στάθμευσης. Για την οργάνωση των δρομολογίων συλλογής, είναι απαραίτητο, να γνωρίζουμε την πληρότητα των κάδων, η εκτίμηση της οποίας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής, την απόδοση των μέσων συλλογής, η οποία εξαρτάται την ταχύτητα της συλλογής και την ικανότητα υποδοχής του απορριμματοφόρου και τους περιορισμούς της συλλογής. Η εφαρμογή ελέγχου πληρότητας κάδου επιφέρει μείωση του κόστους και του χρόνου συλλογής απορριμμάτων καθώς με τη χρήση του συστήματος ο Δήμος παρακολουθεί το επίπεδο πληρότητας οποιουδήποτε κάδου στα όρια του Δήμου σε πραγματικό χρόνο. Η αυτόματη

⁹³ DotSoft 2023. Διαθέσιμο στο: <https://www.smartiscity.gr/>

παρακολούθηση των κάδων παρέχει έγκαιρες προειδοποιήσεις όταν είναι γεμάτοι, επιτρέποντας τον ευφυή σχεδιασμό των δρομολογίων για τις αποκομιδές διασφαλίζοντας ταυτόχρονα, ότι καμία επίσκεψη των οχημάτων και του προσωπικού του Δήμου, δεν θα γίνεται άσκοπα μειώνοντας έτσι τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από την κίνηση των οχημάτων. Η εφαρμογή πληρότητας κάδου περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η παρακολούθηση και διαχείρισης πληρότητας. Μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής που αποτελεί το κέντρο για τη λήψη αποφάσεων, για τη δημιουργία διαδρομών και την ανάλυσή των αποτελεσμάτων (reporting) ο Δήμος παρακολουθεί την πληρότητα των κάδων. Πρόκειται για ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης του επιπέδου πληρότητας σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πληροφορίες για το σχεδιασμό της διαδρομής και τον προγραμματισμό της αποκομιδής και είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες του Δήμου. Προσφέρεται περιβάλλον ειδοποίησης πληρότητας κάδων σε πραγματικό χρόνο με κανόνες ενημέρωσης (π.χ. ενημέρωση/alert στον διαχειριστή όταν το επίπεδο πληρότητας ανέλθει σε 70% σε μία περιοχή κτλ.). Επίσης η ενημέρωση πολιτών είναι μία ακόμα λειτουργία. Μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής ο δημότης παρακολουθεί την πληρότητα κάδου σε πραγματικό χρόνο στη γειτονιά του καθώς και το ιστορικό πληρότητας ανά εβδομάδα και ημέρα. Τέλος, υπάρχει η ανάλυση δεδομένων πληρότητας. Πρόκειται για ένα εργαλείο ανάλυσης των δεδομένων πεδίου (στοιχεία πληρότητας) που επιτρέπει εύκολα τις σε βάθος μελέτες των ανεπεξέργαστων δεδομένων στον κάθε κάδο. Το σύστημα υποστηρίζει την εξαγωγή δεδομένων, την εκτέλεση ανάλυσης για τα στοιχεία πληρότητας χωρίς χρήση στατιστικών πακέτων. Η εφαρμογή διαχείρισης στόλου για τα απορριμματοφόρα και τα συνολικά οχήματα του Δήμου αναφέρεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα οργάνωσης και διοίκησης στόλου οχημάτων. Χρησιμοποιεί τις αποδεδειγμένα αξιόπιστες τεχνολογίες GPS (Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης) και GSM (Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας) που παρέχει στους χρήστες τα απαραίτητα μέσα για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του στόλου οχημάτων, με έμφαση στην μείωση του κόστους λειτουργίας του και την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των πελατών, εξασφαλίζοντας την μακροπρόθεσμη εκμετάλλευση της συγκεκριμένης επένδυσης. Η εφαρμογή είναι σε θέση να καταγράφει στη βάση δεδομένων και στα log αρχεία την ώρα και ημ/νία αποστολής των δεδομένων από τα οχήματα σε περίπτωση αδυναμίας αποστολής λόγω μη ύπαρξης δικτύου κινητής τηλεφωνίας, κάτι το οποίο αναμένεται να ξεπεραστεί με την εμφάνιση του 6G⁹⁴. Οι βασικές λειτουργικές ανάγκες που καλύπτει η εφαρμογή είναι η ανεύρεση της Θέσης του οχήματος σε πραγματικό χρόνο και η απεικόνιση του στόλου σε ψηφιακούς χάρτες (επίπεδο πόλης & δρόμου). Κάθε προβολή χάρτη περιλαμβάνει τη συνολική αναφορά κίνησης, τον συγκριτικός πίνακας κίνησης οχημάτων, το δελτίο κίνησης, το δελτίο στάσεων, διαγνωστικά εργαλεία διασύνδεσης συσκευών τηλεματικής με το υποσύστημα δικτύου μεταγωγής (GSM). Επίσης υπάρχει λειτουργία επικοινωνίας με SMS σε περιπτώσεις που

⁹⁴ cloud fms ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΤΑ 2023. Διαθέσιμο στο: <https://cloudfms.gr/psifiakos-metaximatismos-ota/>

ένα όχημα βρίσκεται σε παρατεταμένη στάση, υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο ταχύτητας, αποκλίνει των γεωγραφικών ορίων ευθύνης του, δεν βρίσκεται στο σωστό δρομολόγιο. Το σύστημα έξυπνης διαχείρισης θέσεων στάθμευσης έχει πολλαπλές εφαρμογές. Διευκολύνει το χρήστη/οδηγό στην εύρεση, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο, ελεύθερης θέσης στάθμευσης, όταν χρησιμοποιεί το όχημά του για να κινηθεί στο κέντρο της πόλης και ειδικά στην περιοχή παρέμβασης. Επιτρέπει στο Δήμο να ελέγχει με αποτελεσματικό τρόπο τις θέσεις στάθμευσης που είναι διαθέσιμες ή όπου απαγορεύεται η στάθμευση. Δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες κυκλοφοριακής αποσυμφόρησης των κεντρικών αρτηριών που διατρέχουν το Δήμο. Διαθέτει χρήσιμα στατιστικά δεδομένα για την κίνηση στο κέντρο της πόλης σε επίπεδο ωραρίου, ημερών και μηνών προτίμησης από τους πολίτες καθώς και δεδομένα για το μέσο χρόνο παραμονής. Με βάση τα δεδομένα αυτά η δημοτική αρχή αλλά και οι εμπορικές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στο κέντρο της πόλης, μπορούν να κάνουν έξυπνες προωθητικές ενέργειες για την τόνωση της κίνησης ή την καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών στις ώρες αιχμής. Συνδέεται διαλειτουργικά με την πλατφόρμα έξυπνης πόλης, προσφέροντας αφενός ανοιχτά δεδομένα για εκμετάλλευση από την κοινωνία, αφετέρου διαλειτουργικότητα με άλλες εφαρμογές και τομείς της έξυπνης πόλης. Το σύστημα περιλαμβάνει αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται κάτω από κάθε διαμορφωμένη θέση. Επιπλέον των αισθητήρων τοποθετούνται πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων αναγγελίας των διαθέσιμων θέσεων και του οδικού τμήματος στην οποία βρίσκονται. Μέσω του συστήματος, διατίθεται, σε πραγματικό χρόνο, ο αριθμός των ελεύθερων θέσεων παρόδιας στάθμευσης της περιοχής για να είναι εφικτή η πολυκαναλική πληροφόρηση των οδηγών σε πραγματικό χρόνο για διαθεσιμότητα θέσεων στάθμευσης. Με την έξυπνη αυτή εφαρμογή οι χρήστες/οδηγοί δεν κάνουν άσκοπες διαδρομές για την εύρεση ελεύθερης θέσης στάθμευσης, αλλά κατευθύνονται με ακρίβεια με αποτέλεσμα τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ενώ οι πόλεις θεωρούνται ως οδηγοί της ανάπτυξης, της καινοτομίας και της δημιουργικότητας, ταυτόχρονα βρίσκονται στην πρώτη γραμμή των κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών ζητημάτων τα οποία εντείνονται σε περίοδο οικονομικής κρίσης. Η μέτρηση της ποιότητας των πόλεων παρουσιάζει ερευνητικό ενδιαφέρον και έχει διαφορετικές πτυχές αξιολόγησης όπως οικονομικής ευμάρειας, εκπαίδευσης, υπηρεσιών υγείας, περιβάλλοντος κ.λπ.. Για τον προσδιορισμό της επίδοσης των πόλεων, σε επίπεδο ποιότητας ζωής και αειφόρου ανάπτυξης χρησιμοποιείται το ISO 37120 «Sustainable Development and resilience of communities – Indicators for city services and Quality of life». Μέσω του προτύπου αυτού εισάγονται σειρές τυποποιημένων δεικτών, οι οποίοι παρέχουν ομοιόμορφη προσέγγιση για κάθε τύπο πόλης σε επίπεδο μετρήσεων, καθώς και τρόπου πραγματοποίησης των μετρήσεων. Με την εφαρμογή του συστήματος, ο Δήμος αξιολογεί καθημερινά την ποιότητα ζωής στην πόλη με γνώμονα βασικές παραμέτρους που αφορούν την ποιότητα του αέρα στην περιοχή, κάνοντας χρήση του εν λόγω διεθνούς προτύπου. Το υποσύστημα μέτρησης ποιότητας πόλης αφορά την υποδομή αισθητήρων που λαμβάνει μετρήσεις ποιότητας αέρα και συγκεκριμένα τους αέριους ρύπους. Ενδεικτικοί ρύποι, όπως

ορίζονται στο ISO 37120 είναι CO, CO₂, NO₂, O₃ και PM₁₀ (σωματίδια σκόνης), ενώ χρήσιμες μετρήσεις αποτελούν η θερμοκρασία, η υγρασία και ηχορύπανση. Η μακροχρόνια καταγραφή των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να αναδείξει, σε σχέση και με τις συνθήκες του μικροκλίματος, την βελτίωση των συνθηκών που θα επιφέρει η αστική παρέμβαση στην περιοχή. Σχετικά με την εφαρμογή συγκέντρωσης δεδομένων επισκεψιμότητας χώρου παρέμβασης πρόκειται για μια διαδικτυακή εφαρμογή συγκέντρωσης χρήσιμων πληροφοριών (visitor analytics) για τους επισκέπτες της περιοχής, χωρίς όμως να απαιτείται κάποια ενέργεια από τους επισκέπτες. Μέσω της εφαρμογής δίνεται δυνατότητα να παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία επισκεψιμότητας του χώρου παρέμβασης, όπως χρόνος παραμονής, οι μέρες/ ώρες επίσκεψης, η συχνότητα επίσκεψης ενός/ κάθε χρήστη, ποια σημεία του πάρκου έχουν την μεγαλύτερη επισκεψιμότητα (heat map), πως μετακινούνται οι επισκέπτες στο χώρο, αριθμός πολιτών που επισκέπτονται τον χώρο βάσει ώρας/ ημέρας/ μήνα (visitor footfall) κλπ. Όλες οι πληροφορίες προβάλλονται με την βοήθεια διαγραμμάτων (bar charts, pie charts κλπ) για την εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων και λήψη αποφάσεων από την Δημοτική Αρχή⁹⁵. Το σύστημα βασίζεται σε έναν αισθητήρα που επιτρέπει την ανίχνευση συσκευών iPhone και Android και γενικά κάθε συσκευής που λειτουργεί με διασυνδέσεις Wifi ή Bluetooth. Αυτές οι συσκευές ανιχνευθούν χωρίς να χρειάζεται να συνδεθεί ο δημότης σε ένα συγκεκριμένο σημείο πρόσβασης, επιτρέποντας την ανίχνευση οποιουδήποτε smartphone, φορητού υπολογιστή ή συσκευής ανοιχτής συνομιλίας που εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης του αισθητήρα. Με την εν λόγω λύση είναι δυνατή η μέτρηση του αριθμού των ατόμων και των αυτοκινήτων που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, επιτρέποντας τη μελέτη της εξέλιξης της κυκλοφοριακής συμφόρησης των πεζών και των οχημάτων. Έξυπνα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης δημοτικών κτηρίων, όπως ένα έξυπνο σύστημα ηλεκτροφωτισμού εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να φθάσει και το 30% της συνολικής κατανάλωσης, με αποτέλεσμα τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος, δημιουργεί υψηλό επίπεδο άνεσης και ασφάλειας για τους εργαζομένους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω προκλιματισμού των γραφείων και του συνεχούς ελέγχου της θερμοκρασίας όλων των χώρων, της αυτόματης ρύθμισης σε περίπτωση υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας και της παύσης λειτουργίας των κλιματιστικών σε χρόνους μη λειτουργίας της δημοτικής δομής. Το σύστημα ελέγχει επίσης την ποιότητα του φωτισμού ανά χώρο και ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί αυτόματα τα φωτιστικά σώματα. Τέλος αναλαμβάνει την ενημέρωση του συντηρητή για οποιαδήποτε είδους βλάβη στο κτήριο. Η νέα γενιά κτηρίων σχεδιάζεται με κύριο γνώμονα το χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα. Τόσο για τις μεγάλες επαγγελματικές μονάδες, όσο και για τα δημόσια κτήρια έχει τεθεί σαν πρώτη προτεραιότητα η καταμέτρηση και στην συνέχεια ο περιορισμός των ενεργειακών καταναλώσεων των κτηρίων, η εύκολη εφαρμογή των εντολών από τους χρήστες και ο άμεσος εντοπισμός

⁹⁵ Geyer Ενεργειακή Αναβάθμιση Δημοτικών Υποδομών 2023. Διαθέσιμο στο: <https://www.geyer.gr/dimosia-ktiria-dimoi/>

σφαλμάτων σε περιπτώσεις βλαβών. Η Έξυπνη Διαχείριση Κτηρίων καλύπτει την εποπτεία και τον έλεγχο όλων των δημοτικών κτηρίων, όπως τους Ξενώνες, τα Γηροκομεία, τις Εστίες, τους Εξωραϊστικούς Συλλόγους, τις Αθλητικές Λέσχες και τα Τουριστικά Καταλύματα. Αντίστοιχα συστήματα αναλαμβάνουν τη διαχείριση του δημοτικού φωτισμού ούτως ώστε να υπάρχει αυτόματη ρύθμιση του επιπέδου φωτεινότητας για δρόμους υψηλής ή χαμηλής κυκλοφορίας. Ο φωτισμός προσαρμόζεται με βάση την ανίχνευση κίνησης μέσω συστημάτων που επιτρέπουν την ανίχνευση συσκευών iPhone και Android και γενικά κάθε συσκευής που λειτουργεί με διασυνδέσεις Wifi ή Bluetooth. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας και διοξειδίου του άνθρακα.

Σε μία πιο σφαιρική εικόνα, έως τον Δεκέμβριο του 2020, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ανέρχεται στα 511 ppm στην ατμόσφαιρα της Γης, σύμφωνα με τη NASA. Καθώς το CO₂ είναι ένα θερμοαντρεπτικό αέριο του θερμοκηπίου, υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του όγκου του CO₂ στην ατμόσφαιρα του πλανήτη και του κλίματος· όσο πιο κρύο γίνεται, τόσο περισσότερο CO₂ υπάρχει στην ατμόσφαιρα της Γης⁹⁶. Η ανθρώπινη δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της αποψίλωσης των δασών και της καύσης ορυκτών καυσίμων, έχει προκαλέσει την αύξηση του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της Γης τα τελευταία χρόνια⁹⁷. Η μείωση των εκπομπών CO₂ απαιτεί μια τεράστια, συλλογική προσπάθεια⁹⁸. Οι μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ σύμφωνα με το www.epa.gov είναι:

Μεταφορές | 29%

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας | 28%

Βιομηχανία | 22%

Εμπορικά & Κατοικίες | 12%

Γεωργικά | 9%

Παρόλο που οι πέντε αυτοί τομείς είναι σημαντικοί για την επιβίωση εκατομμυρίων ανθρώπων, με την εύρεση αποτελεσματικών τρόπων για τη χρήση και παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει ακόμα ελπίδα για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης⁹⁹. Πολλές συσκευές για το Διαδίκτυο των

⁹⁶ H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson and A. Oliveira, "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation", *The Future Internet Lect. Notes Comput. Sci*, vol. 6656, pp. 431-446, 2011.

⁹⁷ D. Cuff, M. Hansen and J. Kang, "Urban sensing: Out of the woods", *Commun. ACM*, vol. 51, no. 3, pp. 24-33, Mar. 2008.

⁹⁸ Pawan Whig and S. N. Ahmad, "Simulation of Linear Dynamic Macro Model of Photo Catalytic Sensor in SPICE", *Compel the international journal of computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, vol. 33, no. 1/2, 2014. & J. P. Lynch and J. L. Kenneth, "A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring", *Shock and Vibration Digest*, vol. 38, no. 2, pp. 91-130, 2006.

⁹⁹ Pawan Whig and S. N. Ahmad, "A Novel Pseudo PMOS Integrated CC-ISFET device for water quality monitoring", *Journal of integrated circuit and system published* 2013, vol. 8, no. 2, pp. 1-6, October 2013. & A. R. Al-Ali, I.

Πραγμάτων (IoT) βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν, αλλά ορισμένες συσκευές εξαγάουν τους πόρους τους¹⁰⁰. Τόσο το IoT όσο και η Τεχνητή Νοημοσύνη προσφέρουν νέες δυνατότητες που θα βοηθήσουν να χρησιμοποιήσουμε την ενεργειακή αποθήκευση, να αυξήσουμε την παραγωγή ενέργειας και να μειώσουμε τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα¹⁰¹.

Το οικολογικό αποτύπωμα αναφέρεται στο συνολικό ποσό των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που παράγονται άμεσα και έμμεσα, για το όφελος του τρόπου ζωής και των δραστηριοτήτων ενός ατόμου, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Τα οικολογικά αποτυπώματα μετρώνται συνήθως σε τόνους CO₂ κατά τη διάρκεια ενός ετήσιου κύκλου και μπορούν να συσχετιστούν, μεταξύ άλλων, με ένα άτομο, με μια οντότητα, με ένα εμπόρευμα ή μια περίπτωση¹⁰². Η παραγωγή και χρήση ορυκτών καυσίμων, τροφίμων, καταναλωτικών αγαθών, προϊόντων, οδικών δικτύων ή μεταφορών μπορεί να είναι μερικές από τις αιτίες των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), το ποσό των οποίων οδηγεί σε ένα οικολογικό αποτύπωμα. Και παρά τη σημασία του, είναι δύσκολο να κατατάξουμε τα οικολογικά αποτυπώματα με συγκεκριμένο τρόπο, λόγω ανεπαρκούς πληροφόρησης και ελλειπών αποδεικτικών στοιχείων για τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ συντελεστικών μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης των φυσικών διεργασιών που περιέχουν ή εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα¹⁰³.

Zulkernain and F. Aloul, "A mobile GPRS-sensors array for air pollution monitoring", IEEE Sensors J, vol. 10, no. 10, pp. 1666-1671, Oct. 2010.

¹⁰⁰ N. Maisonneuve, M. Stevens, M. E. Niessen, P. Hanappe and L. Steels, "Citizen noise pollution monitoring", Proc. 10th Annu. Int. Conf. Digital Gov. Res.: Soc. Netw.: Making Connec. Between Citizens Data Gov, pp. 96-103, 2009. & Pawan Whig and S. N. Ahmad, "Novel FGMOS Based PCS Device for Low Power Applications", Photonic Sensor(Springer), vol. 5, no. 2, pp. 1-5, 2015.

¹⁰¹ W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek and H. M. Newmann, "Communication systems for building automation and control", Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1178-1203, Jun. 2005. & "Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0", World Wide Web Consortium, Feb. 2014, [online] Ανακτήθηκε από: <http://www.w3.org/TR/exi/>.

¹⁰² Pawan Whig and S. N Ahmad, "Simulation and Performance Analysis of Low Power Quasi Floating Gate PCS Model", International Journal of Intelligent Engineering and Systems, vol. 9, no. 2, pp. 8-13, 2016. & Y Li et al., "IoT-CANE: a unified knowledge management system for data-centric internet of things application systems", J Parallel Distrib Comput, vol. 131, pp. 161-72, 2019.

¹⁰³ L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The internet of things: A survey", Comput. Netw, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010. & Rahul Reddy Nadikattu, Sikender Mohsienuddin Mohammad and Pawan Whig, "Novel Economical Social Distancing Smart Device For Covid 19", International Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET) Scopus Indexed, vol. 11, no. 4, pp. 204-217, 2020.



Οι περιπτώσεις χρήσης έξυπνων πόλεων που επιτρέπονται από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων καλύπτουν διάφορους τομείς, από την προσπάθεια για μια καθαρότερη ατμόσφαιρα και τη βελτίωση της κυκλοφορίας έως την ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας και τη βελτιστοποίηση του φωτισμού των δρόμων. Οι έξυπνες πόλεις εξασφαλίζουν ότι οι κάτοικοί τους φτάνουν στο σημείο Β με τον ασφαλέστερο και αποτελεσματικότερο τρόπο. Οι αρχές των πόλεων απευθύνονται στην παραγωγή του Διαδικτύου των Πραγμάτων και ενσωματώνουν έξυπνες τεχνολογίες κυκλοφορίας για να το επιτύχουν αυτό. Για να υπολογίσουν τον αριθμό, την τοποθεσία και την ταχύτητα των αυτοκινήτων, οι εφαρμογές έξυπνης κυκλοφορίας χρησιμοποιούν διάφορους τύπους αισθητήρων και λαμβάνουν δεδομένα GPS από τα κινητά των οδηγών. Παράλληλα, έξυπνα φανάρια κυκλοφορίας που είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο διαχείρισης στο cloud, επιτρέπουν την παρακολούθηση των χρονικών διαστημάτων των πράσινων φώτων και την αυτόματη αλλαγή των φώτων ανάλογα με την υπάρχουσα κυκλοφοριακή κατάσταση, για να αποφευχθεί η συμφόρηση. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη χρήση του IoT σε έξυπνες πόλεις είναι η έξυπνη κατανάλωση ενέργειας, η οποία μπορεί να ελεγχθεί από συσκευές IoT, εξοικονομώντας έτσι πόρους. Ένα παράδειγμα είναι η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας όταν δεν υπάρχει κανείς στο κτίριο. Αυτό θα αυξήσει επίσης την αποδοτικότητα των ηλεκτρικών συσκευών. Μια τέτοια τεχνολογία θα βοηθούσε επίσης τους ανθρώπους να βρίσκουν θέσεις στάθμευσης και σημεία φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα την κατάλληλη στιγμή. Η επιλογή εφαρμογών για έξυπνες πόλεις ποικίλει. Αυτό που έχουν κοινό είναι η στρατηγική υλοποίησης. Είτε οι γειτονιές σχεδιάζουν να αυτοματοποιήσουν τη διάθεση των απορριμμάτων είτε να ενισχύσουν τον φωτισμό των δρόμων, μια απλή πλατφόρμα για έξυπνη πόλη πρέπει να ξεκινήσει από τη βάση. Εάν μια αρχή προτιμά να επεκτείνει το φάσμα των υποδομών της έξυπνης πόλης στο μέλλον, θα είναι δυνατόν, χωρίς να χρειάζεται να την ανασχεδιάσει, να ενημερώσει την υφιστάμενη αρχιτεκτονική με σύγχρονους πόρους και τεχνολογία. Η εισαγωγή των έξυπνων πόλεων θα πρέπει να ξεκινήσει με τη δημιουργία μιας

απλής υποδομής, η οποία θα επιτρέπει την εισαγωγή επιπλέον υπηρεσιών χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την πρακτική απόδοση. Τέσσερα στοιχεία παρέχουν μια απλή προσέγγιση IoT για έξυπνες πόλεις¹⁰⁴:

A. Το Δίκτυο Πραγμάτων

Όπως κάθε σύστημα IoT, μια έξυπνη πόλη χρησιμοποιεί έξυπνα αντικείμενα που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες έχουν ως κύριο σκοπό να συλλέξουν δεδομένα και να τα μεταφέρουν σε μια κεντρική πλατφόρμα για τη διαχείριση στο cloud. Οι ενεργοποιητές επιτρέπουν στις συσκευές να λειτουργούν αλλάζοντας τον φωτισμό, περιορίζοντας τη ροή του νερού προς το κανάλι διαρροής κ.λπ.

B. Οι Πύλες

Σε κάθε σύστημα IoT υπάρχουν δύο στοιχεία: μια "ψηφιακή" ενότητα συσκευών IoT και κόμβων δικτύου και μια ψηφιακή ενότητα cloud computing. Τα δεδομένα δεν μετακινούνται απλά από το ένα στοιχείο στο άλλο. Πρέπει να υπάρχουν οι field gateways ή edge gateways. Οι πύλες αυτές δίνουν τη δυνατότητα προεπεξεργασίας και φιλτραρίσματος των δεδομένων πριν από τη μεταφορά τους στο cloud, επιτρέποντας τη συλλογή και συμπίεσή τους. Η πύλη στο cloud διασφαλίζει την ασφαλή μεταφορά δεδομένων μιας εφαρμογής έξυπνης πόλης ανάμεσα στις πύλες αυτές και το cloud component. Το "cloud component" αναφέρεται στην υποδομή cloud που αξιοποιείται για την αποθήκευση, την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τις "field gateways" ή τις άλλες συσκευές του IoT στο σύστημα. Το "cloud component" παρέχει την υποδομή για την ανάλυση δεδομένων με τη χρήση αλγορίθμων, τη δημιουργία αναφορών, τη λήψη αποφάσεων και την παροχή υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες.

Γ. Δεξαμενή Δεδομένων

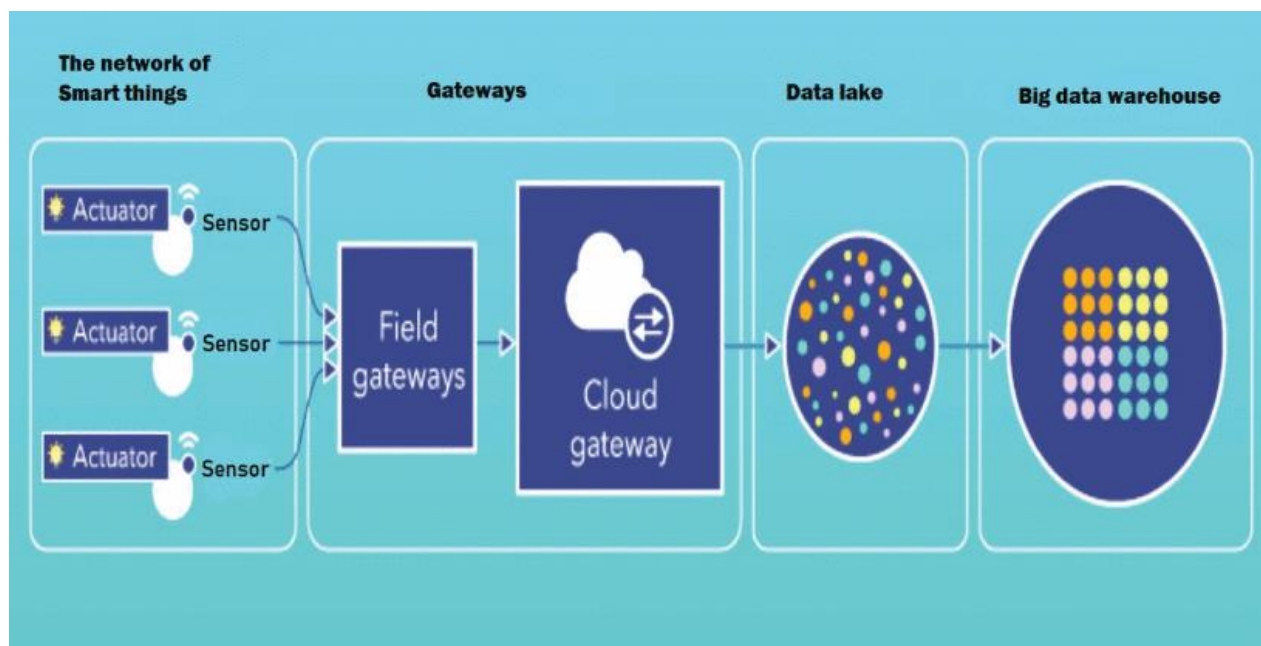
Μια δεξαμενή δεδομένων έχει κυρίως σχεδιαστεί για να αποθηκεύει δεδομένα. Στην αρχική της μορφή απλά διατηρεί τα δεδομένα. Όταν τα δεδομένα χρειάζονται για χρήσιμες γνώσεις, αποστέλλονται και μεταφέρονται στην αποθήκη μεγάλων δεδομένων.

Δ. Μεγάλη Αποθήκη Δεδομένων

Μια μεγάλη αποθήκη δεδομένων περιλαμβάνει μόνο οργανωμένα δεδομένα, σε αντίθεση με τις δεξαμενές δεδομένων. Όταν έχει οριστεί η αξία των δεδομένων, τα δεδομένα εξάγονται, μετατρέπονται και φορτώνονται. Επιπλέον, αποθηκεύει σχετιζόμενες πληροφορίες για συνδεδεμένα αντικείμενα, όπως τότε έχουν εγκατασταθεί οι αισθητήρες, καθώς και οδηγίες που μεταδίδονται από εφαρμογές ελέγχου στους ενεργοποιητές των μηχανών¹⁰⁵.

¹⁰⁴ Atzori L., Iera A., Morabito G. 2010. The internet of things: A survey. Comput. Netw., vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010

¹⁰⁵ Li Y, et al. 2019. IoT-CANE: a unified knowledge management system for data-centric internet of things application systems. J Parallel Distrib Comput. 131:161-72



Με την ανάλυση των δεδομένων, μπορεί να παρακολουθηθεί το περιβάλλον των συσκευών και να καθοριστούν κατευθυντήριες γραμμές των εφαρμογών ελέγχου για την εκτέλεση συγκεκριμένης αποστολής. Για παράδειγμα, αξιολογώντας τα δεδομένα του αισθητήρα υγρασίας του εδάφους που κατανέμονται σε ένα έξυπνο πάρκο, οι πόλεις μπορούν να θέσουν κανόνες για το κλείσιμο ή το άνοιγμα ηλεκτρονικών βαλβίδων ανάλογα με το επίπεδο υγρασίας που ανιχνεύεται. Τα συγκεντρωμένα δεδομένα από τους αισθητήρες μπορούν να οπτικοποιηθούν σε ένα κεντρικό πίνακα εφαρμογής, βοηθώντας τους επισκέπτες να γνωρίζουν την τρέχουσα κατάσταση κάθε περιοχής του πάρκου. Οι διαχειριστές της πόλης μπορούν να προχωρήσουν πέρα από την παρακολούθηση και την απλή ανάλυση και να ανιχνεύσουν τάσεις και κρυφές συσχετίσεις στα δεδομένα των αισθητήρων αναλύοντας τα δεδομένα που δημιουργούνται από το IoT. Προχωρημένες μέθοδοι όπως η μηχανική μάθηση (ML) και η μαθηματική ανάλυση χρησιμοποιούνται στην αναλυτική των δεδομένων. Για να ανιχνεύσουν μοτίβα και να δημιουργήσουν μοντέλα πρόβλεψης βασισμένα σε αυτά, οι αλγόριθμοι ML αναλύουν τα ιστορικά δεδομένα των αισθητήρων που συλλέγονται στη μεγάλη αποθήκη δεδομένων. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές ελέγχου που στέλνουν εντολές στους ενεργοποιητές των συσκευών IoT. Ένα έξυπνο φανάρι κυκλοφορίας μπορεί να προσαρμόζει το χρονισμό των σημάτων στην κυκλοφορία, σε αντίθεση με ένα συμβατικό φανάρι κυκλοφορίας που ρυθμίζεται να αντικατοπτρίζει ένα σταθερό σήμα για έναν καθορισμένο χρόνο. Για να ανιχνεύσουν τη δυναμική της κυκλοφορίας και να αλλάξουν τους χρόνους των σημάτων, οι αλγόριθμοι ML εφαρμόζονται στα ιστορικά δεδομένα των αισθητήρων¹⁰⁶, βοηθώντας στην αύξηση της μέσης ταχύτητας των οχημάτων και την αποφυγή συμφόρησης. Με την αποστολή εντολών στους

¹⁰⁶ Rumen Kyusakov, Invited Expert, Luleå University of Technology Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0 in , World Wide Web Consortium, Feb. 2014, Διαθέσιμο στο: <http://www.w3.org/TR/exi/>.

ενεργοποιητές τους, οι εφαρμογές ελέγχου διασφαλίζουν μεγαλύτερη αυτοματοποίηση των έξυπνων αντικειμένων της πόλης. Για να επιλυθεί ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, "λένε" στους ενεργοποιητές τι να κάνουν. Υπάρχουν εφαρμογές για τον έλεγχο βασισμένες σε κανόνες και μηχανική μάθηση. Οι κανόνες για τις εφαρμογές ελέγχου βασισμένες σε αρχές καθορίζονται χειροκίνητα, ενώ τα μοντέλα που δημιουργούνται από τους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές ελέγχου βασισμένες σε μηχανική μάθηση. Αυτά τα μοντέλα βασίζονται στην ανασκόπηση των δεδομένων, ελέγχονται, γίνονται αποδεκτά και αναθεωρούνται περιοδικά. Παράλληλα με την πιθανότητα αυτόματης ρύθμισης, θα πρέπει να υπάρχει πάντα η δυνατότητα για τους χρήστες να επηρεάσουν τις ενέργειες των συστημάτων έξυπνων πόλεων. Αυτή την αποστολή εκτελούν οι εφαρμογές χρήστη. Οι εφαρμογές χρήστη επιτρέπουν στους ανθρώπους να συνδεθούν και να λάβουν ενημερώσεις και προειδοποιήσεις σε ένα κεντρικό δίκτυο διαχείρισης έξυπνης πόλης για την παρακολούθηση και τη λειτουργία των συσκευών IoT¹⁰⁷. Μια εφαρμογή έξυπνου ελέγχου κυκλοφορίας, για παράδειγμα, ανιχνεύει μια κυκλοφοριακή συμφόρηση χρησιμοποιώντας δεδομένα GPS από τα smartphones των οδηγών. Η εφαρμογή αποστέλλει αμέσως μια προειδοποίηση στους οδηγούς στην περιοχή για να αποφύγουν περαιτέρω συμφόρηση, επιτρέποντάς τους να ακολουθήσουν διαφορετική διαδρομή. Περίπου την ίδια στιγμή, οι εργαζόμενοι σε ένα κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας που χρησιμοποιούν μια εφαρμογή χρήστη σε υπολογιστή λαμβάνουν μια «προειδοποίηση συμφόρησης». Αυτοί δίνουν μια εντολή στους ενεργοποιητές των φαναριών κυκλοφορίας για να αλλάξουν τα σήματα για να αποφευχθεί η συμφόρηση και να ανακατευθυνθεί μέρος της κυκλοφορίας. Η επίτευξη της "έξυπνης λειτουργίας" δεν είναι μια μονοσήμαντη διαδικασία, αλλά μία συνεχής διαδικασία. Οι δήμοι θα πρέπει να σκεφτούν τις υπηρεσίες που θα ήθελαν να εισαγάγουν στο μέλλον με την εισαγωγή λύσεων έξυπνων πόλεων βασισμένων στο IoT σήμερα. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο την αύξηση του αριθμού των αισθητήρων, αλλά κυρίως την αύξηση του αριθμού των λειτουργιών. Εδώ μπορούμε να εξετάσουμε το παράδειγμα μιας έξυπνης εφαρμογής πόλης για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας. Για τον έλεγχο των φωτεινών σηματοδοτών και την παρακολούθηση της συμφόρησης κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο σε περιοχές με έντονη κίνηση, μια πόλη χρησιμοποιεί μια εφαρμογή διαχείρισης της κυκλοφορίας για να ελαχιστοποιήσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η πόλη αποφασίζει μετά από λίγο χρόνο να διασφαλίσει ότι η κυκλοφορία στην πόλη δεν επηρεάζει το περιβάλλον και συνδυάζει την εφαρμογή διαχείρισης της κυκλοφορίας με μια έξυπνη εφαρμογή παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Η σύγκλιση των εφαρμογών δημιουργεί τη δυνατότητα δυναμικής παρακολούθησης τόσο της κυκλοφορίας όσο και της ποιότητας του αέρα στην περιοχή. Αυτό είναι δυνατό χάρη στον συνδυασμό της εφαρμογής διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη λύση

¹⁰⁷ Pawan Whig and S. N. Ahmad, 2014. Simulation of Linear Dynamic Macro Model of Photo Catalytic

Sensor in SPICE Compel, the international journal of computation and mathematics in electrical and electronic engineering, Vol. 33 No. 1/2, 2014

διαχείρισης της ποιότητας του αέρα¹⁰⁸. Επίσης, οι αναπτυσσόμενες χώρες αντιμετωπίζουν διαρκώς το δίλημμα πώς να επιτύχουν την κοινή πρόοδο της οικονομικής ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η κατασκευή έξυπνων πόλεων μπορεί να αποτελέσει το κλειδί σε αυτό το ερώτημα. Με βάση μία μελέτη που έχει ως αφετηρία μία πολιτική πιλοτικής έξυπνης πόλης στην Κίνα γίνεται αξιολόγηση στις επιδράσεις της κατασκευής έξυπνης πόλης, στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂, χρησιμοποιώντας μέθοδο προοδευτικών διαφορών. Τα συμπεράσματα της έρευνας δείχνουν ότι η κατασκευή έξυπνων πόλεων έχει μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ ανά κάτοικο, με αποτέλεσμα μείωσης περίπου 18,42 λογαριθμικών ποσοστιαίων μονάδων. Επίσης, υπάρχει μια ανεστραμμένη σχέση σχήματος U μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και των εκπομπών CO₂ ανά κάτοικο, και οι περισσότερες πόλεις στην Κίνα έχουν ξεπεράσει το σημείο ανατροπής. Η κατασκευή έξυπνων πόλεων επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO₂ ανά κάτοικο με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Η επίδραση της κατασκευής έξυπνης πόλης στη μείωση των εκπομπών CO₂ είναι πιο εμφανής σε πόλεις με υψηλά επίπεδα διοικητικής ιεράρχησης, υψηλά επίπεδα τεχνολογικής προόδου και πράσινης καινοτομίας, καθώς και υψηλά επίπεδα προηγμένης βιομηχανικής δομής. Με τη μετάβαση της κινεζικής οικονομίας από την υψηλή ανάπτυξη στην υψηλή ποιοτική ανάπτυξη και τον προτεινόμενο στόχο της άνευ αποβλήτων άνθρακα, η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση των εκπομπών CO₂ και η πράσινη ανάπτυξη έχουν γίνει σημαντικά θέματα που χρειάζονται αντιμετώπιση. Αυτή τη στιγμή, τα δύο κύρια μέσα για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των εκπομπών είναι η βελτιστοποίηση της δομής της ενέργειας και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Το 14ο Πενταετές Σχέδιο της Κίνας προβλέπει επίσης ότι πρέπει να προωθηθεί η ενεργειακή επανάσταση και να δημιουργηθεί ένα καθαρό, χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ασφαλές και αποδοτικό ενεργειακό σύστημα, καθώς επίσης να επιτευχθεί η πράσινη μεταμόρφωση της παραγωγής και του τρόπου ζωής, αλλά και η βελτίωση της αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων. Ωστόσο, σύμφωνα με το Κινεζικό Στατιστικό Έτος Ενέργειας (2020)¹⁰⁹, η παραγωγή και κατανάλωση της ορυκτής ενέργειας στην Κίνα κυριαρχούν ακόμα στο μείγμα ενέργειας. Ωστόσο, η πληθώρα του άνθρακα και η έλλειψη πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Κίνα έχουν οδηγήσει σε τεράστια πίεση για αλλαγή της δομής της ενέργειας προς επίτευξη μείωσης των εκπομπών CO₂ και πράσινης ανάπτυξης. Επομένως, με βάση το περιορισμένο ενεργειακό εφοδιασμό, την έλλειψη ενεργειακού εφοδιασμού και τους όλο και αυστηρότερους κανονισμούς περιβάλλοντος, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης έχει γίνει κλειδί για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των εκπομπών CO₂. Το παραδοσιακό μοντέλο αστικοποίησης συχνά συνδέεται με τη βιομηχανοποίηση. Καθώς η κλίμακα της βιομηχανικής παραγωγής διευρύνεται μέρα με τη μέρα,

¹⁰⁸ Parth Asopa; Poorva Purohit; Rahul Reddy Nadikattu; Pawan Whig 2021. Reducing Carbon Footprint for Sustainable development of Smart Cities using IoT Διαθέσιμο στο: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9388466>

¹⁰⁹ Z. Chu et al. 2021. A smart city is a less polluted city Technol Forecast Soc Chang

συνοδεύεται από τη σταδιακή διεύρυνση του αστικού πληθυσμού. Αυτό όχι μόνο έχει προκαλέσει τεράστια ενεργειακή κατανάλωση και σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση, αλλά έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και το τοπικό ανθρώπινο κεφάλαιο. Για να λυθεί το παραπάνω "αστικό πρόβλημα", δημιουργήθηκε μια λύση έξυπνης πόλης. Οι πολιτικοί ελπίζουν ότι η κατασκευή έξυπνων πόλεων μπορεί να ενσωματώσει τα συστήματα και τις υπηρεσίες της πόλης για να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας και της μείωσης των εκπομπών, και να βοηθήσει τις πόλεις να επιτύχουν πράσινη, χαμηλής εκπομπής άνθρακα και βιώσιμη ανάπτυξη¹¹⁰. Το πιο σημαντικό είναι ότι η λύση της έξυπνης πόλης διαφέρει από τους "σκληρούς" περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Χαρακτηριστικό της είναι ότι παρέχει στους ανθρώπους υψηλής ποιότητας δημόσιες εγκαταστάσεις και υπηρεσίες για να επιτευχθεί "μαλακή" διακυβέρνηση των εκπομπών άνθρακα. Αν και η μελέτη βασίζεται στα στοιχεία της Κίνας, οι επιδράσεις της κατασκευής έξυπνων πόλεων στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂ μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και σε άλλες επιδράσεις νέων υποδομών κατασκευής στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂, όπως η κατασκευή των βάσεων 5G, ο διασυνοριακός υψηλής ταχύτητας σιδηρόδρομος και το αστικό σιδηρόδρομο σύστημα, η τεχνητή νοημοσύνη και το βιομηχανικό Διαδίκτυο. Η κατανόηση των επιδράσεων της κατασκευής έξυπνων πόλεων στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂ μπορεί να παρέχει αξιόλογες νέες ιδέες για τους λήπτες αποφάσεων άλλων αναπτυσσόμενων χωρών να ισορροπήσουν το δίλημμα μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και της περιβαλλοντικής προστασίας μέσω της παροχής νέων επενδύσεων σε υποδομές. Από τις αρχές του 21ου αιώνα, ο κόσμος βιώνει μια έκρηξη στην κατασκευή έξυπνων πόλεων. Ωστόσο, εξαιτίας τεχνικών λόγων, η κατασκευή έξυπνων πόλεων έχει περιοριστεί κυρίως σε ανεπτυγμένες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα. Η κατασκευή έξυπνων πόλεων στην Κίνα ξεκίνησε αργά και μόνο το 2010 άρχισαν να εμφανίζονται πολιτικές που αφορούν τις έξυπνες πόλεις. Από τότε, ο ρυθμός κατασκευής έξυπνων πόλεων έχει επιταχυνθεί. Το 2015, η κατασκευή "έξυπνων πόλεων" εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην κεντρική κυβέρνηση της Κίνας σε έκθεση εργασίας. Το 2017, η έκθεση του 19ου Εθνικού Συνεδρίου ανέφερε σαφώς την κατασκευή ενός "έξυπνου κοινωνικού συστήματος". Τον Μάρτιο του 2021, το πιο πρόσφατο 14ο Πενταετές Σχέδιο της Κίνας ανέφερε ακόμα και αρκετές φορές τη φράση "έξυπνη πόλη"¹¹¹. Η κατασκευή έξυπνων πόλεων έχει ήδη ένα σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνική ανάπτυξη της Κίνας και αυτός ο αντίκτυπος θα συνεχίσει να είναι ευρύς και σε διάφορους τομείς. Η έννοια των έξυπνων πόλεων προέρχεται από την IBM και υποδηλώνει τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, του υπολογιστικού νέφους, της τεχνητής νοημοσύνης, της γεωχωρικής υποδομής και άλλων νέων τεχνολογιών πληροφορικής για να επιτευχθεί η βαθιά

¹¹⁰ T. Yao et al. 2020 Are smart cities more ecologically efficient? Evidence from China Sustain Cities Soc

¹¹¹ Q. Guo et al. 2022 Environmental migration effects of air pollution: Micro-level evidence from China Environ Pollut

ένταξη της αστικοποίησης και της τεχνολογίας πληροφοριών και η ακριβής ψηφιακή και δυναμική διαχείριση των πόλεων. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της γεωχωρικής υποδομής για τον έλεγχο της λειτουργίας και σύνδεσης των έξι βασικών αστικών συστημάτων οργάνωσης (πληθυσμός), επιχειρηματικότητα (κυβέρνηση), μεταφορές, επικοινωνίες, ύδρευση και ενέργεια σε πραγματικό χρόνο, και στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία υπολογιστικού νέφους για να αναλύσει και να ολοκληρώσει τους πόρους δεδομένων της πόλης για να συνδέσει τα φυσικά συστήματα και τις δημόσιες υπηρεσίες. Αυτό θα βελτιώσει την αποδοτικότητα χρήσης των πόρων, θα ανακουφίσει από τα "προβλήματα μεγάλων πόλεων" όπως η απώλεια ενέργειας, η περιβαλλοντική ρύπανση, η συμφόρηση του πληθυσμού και οι εκπομπές άνθρακα, και θα επιτύχει βιώσιμη αστική ανάπτυξη μέσω καινοτόμων μοντέλων αστικής διακυβέρνησης. Από αυτήν την οπτική, το κλειδί και η προϋπόθεση της κατασκευής έξυπνων πόλεων είναι η ολοκλήρωση και υπολογισμός χωροχρονικών πληροφοριών¹¹². Η πιλοτική πολιτική της "Έξυπνης Πόλης: Πλατφόρμας Χωροχρονικών Πληροφοριών Νέφους" του Εθνικού Γραφείου Επιμετρήσεων, Χαρτογράφησης και Γεωγραφικών Πληροφοριών (το οποίο πλέον έχει ενσωματωθεί σε νέο τμήμα - το Υπουργείο Φυσικών Πόρων της Κίνας) είναι ακριβώς μία τέτοια αναζήτηση. Γι' αυτό, αυτή η μελέτη στοχεύει να λάβει ως αφετηρία την "Έξυπνη Πόλη: Πλατφόρμας Χωροχρονικών Πληροφοριών Νέφους" της Κινεζικής Εθνικής Υπηρεσίας Επιμετρήσεων, Χαρτογράφησης και Γεωγραφικών Πληροφοριών ως αφετηρία για να ερευνήσει τον αντίκτυπο της αστικής ψηφιακής και έξυπνης ανάπτυξης στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση εκπομπών, καθώς και τον μηχανισμό της, προκειμένου να παράσχει σχετικές προτάσεις για την περαιτέρω προσέγγιση της Κίνας προς μια χαμηλών εκπομπών άνθρακα οικονομία με εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών του CO₂. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να υπολογιστούν οι ανά κεφαλή εκπομπές άνθρακα της πόλης και να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των προοδευτικών διαφορών για να αξιολογηθούν οι επιδράσεις μείωσης εκπομπών από την κατασκευή έξυπνης πόλης, χρησιμοποιώντας το μοντέλο δοκιμής ενδιάμεσων επιδράσεων για να ενσωματώσει την ενεργειακή απόδοση στο πλαίσιο της έρευνας καθώς και να επαληθευτεί ο μηχανισμός επιδράσεων. Από την οπτική της θεωρίας και της εμπειρίας να μελετήσει το μέτριο αποτέλεσμα της ιεραρχίας της αστικής διοίκησης, της ουδέτερης τεχνολογικής προόδου, της πράσινης καινοτομίας, και της προηγμένης βιομηχανικής δομής στην επίδραση της κατασκευής έξυπνης πόλης στη μείωση εκπομπών. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν μέσω της ανάλυσης της ανομοιομορφίας μπορούν να παρέχουν ορισμένες εφικτές προτάσεις για την κατασκευή έξυπνων πόλεων στην Κίνα και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η καινοτομία αυτής της έρευνας μπορεί να έχει δύο σημεία. Το ένα είναι η σκοπιότητα της έρευνας. Από τη σκοπιότητα της κατασκευής υποδομής έξυπνων πόλεων, αυτή η έρευνα χρησιμοποιεί την πιλοτική πολιτική "Έξυπνη Πόλη: Πλατφόρμας Χωροχρονικών Πληροφοριών Νέφους" για να

¹¹² Y. Yu et al. 2020. Impact of urbanization on energy demand: An empirical study of the Yangtze River Economic Belt in China Energy Policy

εξετάσει τις επιπτώσεις της αστικής ψηφιακής και έξυπνης ανάπτυξης στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών CO₂, συγκριτικά με την πλειονότητα των υπαρχουσών ερευνητικών συμπερασμάτων για έξυπνες πόλεις που βασίζονται σε δείγματα από αναπτυγμένες χώρες όπως η Ευρώπη, αυτή η μελέτη χρησιμοποιεί δείγματα αστικής κλίμακας από την Κίνα για να εξετάσει τις επιδράσεις της κατασκευής έξυπνων πόλεων στη μείωση εκπομπών, καθώς η εμπειρία της Κίνας μπορεί να αποτελέσει πιο εφαρμόσιμη εμπειρία για την κατασκευή έξυπνων πόλεων και τη βιώσιμη ανάπτυξη σε αναπτυσσόμενες χώρες¹¹³.

5.6 Ο Ρόλος των δικτύων 5G και 6G στη δημιουργία

βιώσιμων και ενεργειακά αποδοτικών έξυπνων πόλεων

Ο όρος "βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές έξυπνες πόλεις" αναφέρεται σε πόλεις που σχεδιάζονται και λειτουργούν με τρόπο που εξασφαλίζει την ισορροπημένη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούν αποδοτικά τις ενεργειακές πηγές. Βιώσιμες πόλεις είναι αυτές που βασίζονται σε αειφόρους πρακτικές και πολιτικές για τη διατήρηση των φυσικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την εξασφάλιση της ποιότητας ζωής για τους κατοίκους τους ενώ ενεργειακά αποδοτικές πόλεις είναι αυτές που χρησιμοποιούν τις ενεργειακές πηγές με αποδοτικό τρόπο, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Στις 25 Σεπτεμβρίου 2015 κατά τη Διάσκεψη Κορυφής γνωστή ως "Ατζέντα 2030", τα Ηνωμένα Έθνη καθορίζουν μία συστάδα από 17 παγκόσμιους στόχους για τη βιώσιμη ανάπτυξη, τα Sustainable Development Goals (SDGs). Αυτή η παγκόσμια συμφωνία αποτελεί ένα πλαίσιο για δράση προς την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο έως το έτος 2030. Οι "Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης" (SDGs) καθορίστηκαν με σκοπό την προώθηση της παγκόσμιας βιώσιμης ανάπτυξης που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες των τρεχουσών γενεών χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες. Οι SDGs στοχεύουν σε μια ισορροπία μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης, της κοινωνικής ευημερίας και της προστασίας του περιβάλλοντος, προωθώντας ταυτόχρονα τη δικαιοσύνη, την ισότητα και τα ανθρώπινα δικαιώματα. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί ένας βιώσιμος κόσμος όπου όλοι οι άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε βασικές ανάγκες όπως τροφή, νερό, εκπαίδευση, υγειονομική περίθαλψη και ενέργεια, ενώ παράλληλα προστατεύονται οι φυσικοί πόροι και διατηρείται η βιοποικιλότητα. Οι SDGs αντικατέστησαν τους προηγούμενους "Στόχους Αειφόρου Ανάπτυξης" (Millennium Development Goals) που ίσχυαν από το 2000 μέχρι το 2015. Οι στόχοι αυτοί καλύπτουν μια ευρεία γκάμα θεμάτων, όπως η εξάλειψη της φτώχειας, η προστασία του περιβάλλοντος, η πρόσβαση σε υγειονομική περίθαλψη

¹¹³ Qingbin Guo A. Yong Wang A. Xiaobin Dong B. (2022) Effects of smart city construction on energy saving and CO₂ emission reduction: Evidence from China, Ανακτήθηκε από <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261922003087>

και εκπαίδευση, η ισότητα των φύλων, η προώθηση της ειρήνης και της δικαιοσύνης και πολλά άλλα. Οι 17 SDGs είναι:

1. Καμία Φτώχεια
2. Λιγότερη Πείνα
3. Υγεία και Ευημερία
4. Ποιοτική Εκπαίδευση
5. Ισότητα των Φύλων
6. Καθαρό Νερό και Υγιεινή
7. Ανανεώσιμη Ενέργεια και Αειφορία
8. Δίκαιη Οικονομική Ανάπτυξη
9. Βιομηχανία, Καινοτομία και Υποδομές
10. Μείωση των Ανισοτήτων
11. Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες
12. Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή
13. Δράση για το Κλίμα
14. Βιώσιμη Βιοποικιλότητα
15. Συντηρητική Διαχείριση των Φυσικών Πόρων
16. Ειρήνη, Δικαιοσύνη και Ισχυρά Θεσμικά
17. Συνεργασία για τους Στόχους

Κάθε SDG αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο θεματικό πεδίο και αποσκοπεί στη βελτίωση της κατάστασης σε αυτό το πεδίο παγκοσμίως έως το 2030. Η επίτευξη της βιωσιμότητας αποτελεί ένα από τα κυριότερα ερευνητικά ενδιαφέροντα στα μελλοντικά δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας, λόγω της εκθετικής αύξησης των ασύρματων τεχνολογιών και της εκτεταμένης εξέλιξης στις απαιτήσεις των χρηστών. Με την τεράστια ανάπτυξη στον τομέα των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, προβλέπεται ότι τα μελλοντικά δίκτυα θα υποστηρίζουν υψηλότερη ενεργειακή και φασματική αποδοτικότητα, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μειωμένες καθυστερήσεις, υψηλές χωρητικότητες και έναν εξαιρετικά αριθμό συνδέσεων δικτύου, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων. Αυτό επιτρέπει στα μελλοντικά δίκτυα να εξυπηρετούν πολλές εφαρμογές έξυπνων πόλεων που περιλαμβάνουν έξυπνη υγεία, έξυπνη γεωργία, smart grid, έξυπνες κατασκευές, έξυπνη εκπαίδευση και έξυπνες μεταφορές. Βάσει αυτού, τα δίκτυα 5G που βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο αλλά και μελλοντικά τα δίκτυα 6G αναμένεται να αποτελέσουν βασικά εναύσματα για ενεργειακά αποδοτικές και βιώσιμες έξυπνες πόλεις. Παγκόσμιες προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για την αύξηση της αποδοτικότητας των δικτύων, αλλά και της ενεργειακής αποδοτικότητας των μελλοντικών δικτύων καθώς και την ελαχιστοποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η υιοθέτηση βιώσιμων τακτικών που περιλαμβάνει την ανάκτηση ενέργειας και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει θετική επίδραση στο περιβάλλον, την εξέλιξη

και την ανάπτυξη. Τα μελλοντικά δίκτυα επικοινωνίας διαθέτουν ένα νέο σύνολο βιομηχανικών πρακτικών και πράσινων τεχνολογιών που θα οδηγήσουν σε πιο ενεργειακά αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον δίκτυα. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) για τα δίκτυα 5G σε σύγκριση με την επόμενη γενιά 6G, όπως καθορίζονται από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union- ITU).

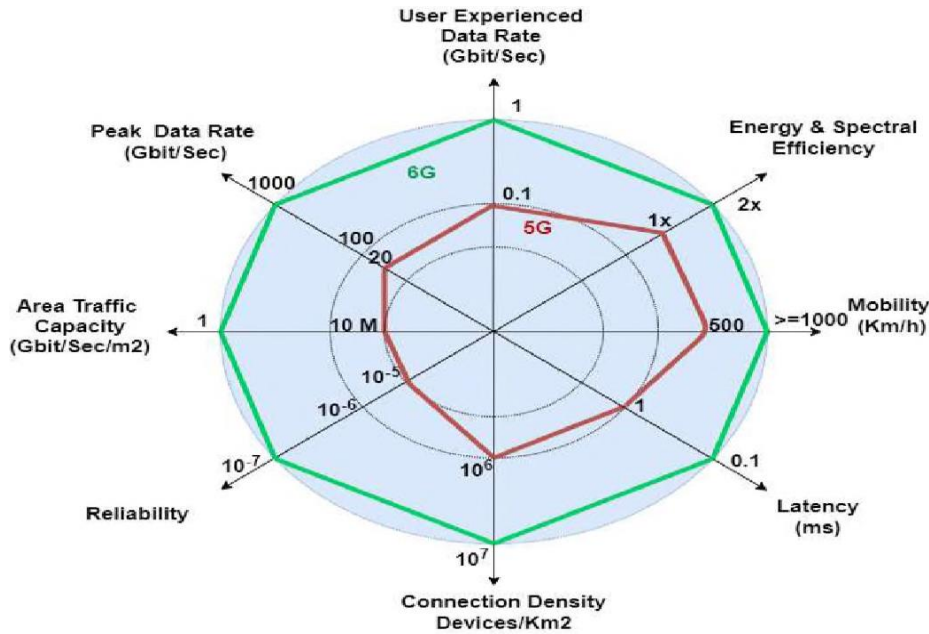


Fig. 1: 5G vs 6G key performance indicators.

Αντίστοιχα και στον πίνακα

TABLE I: Comparison between 5G and 6G KPIs

KPIs	5G Networks	6G Networks
Peak Data Rate	20 Gb/s	1 Tb/s
Maximum Bandwidth	1 GHz	100 GHz
Mobility	500 Km/h	> 1000 Km/h
Peak Spectral Efficiency	1x (30 b/s/Hz)	2x (60 b/s/Hz)
Energy Efficiency	1x	2x (1 pJ/b)
Experienced Data Rate	0.1 Gb/s	1 Gb/s
Area Traffic Capacity	10 Mb/s/m ²	1 Gb/s/m ²
Latency	1 ms	10 to 100 ps
Jitter	Not Mentioned	1 JS
Connection Density	10 ⁶ devices/Km ²	10 ⁹ devices/Km ²
Reliability	10 ⁻⁵	10 ⁻⁹

Επίσης οι βασικοί KPIs που απαιτούνται για τις κύριες υπηρεσίες 5G και 6G φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Η υποστήριξη όλων αυτών των KPIs είναι πρόκληση, καθώς διάφορες

περιπτώσεις χρήσης και υπηρεσίες θα απαιτείται να πληρούν διαφορετικούς συνδυασμούς KPIs στα δίκτυα 6G¹¹⁴.

TABLE II: Fundamental KPIs for 5G/ 6G Services.

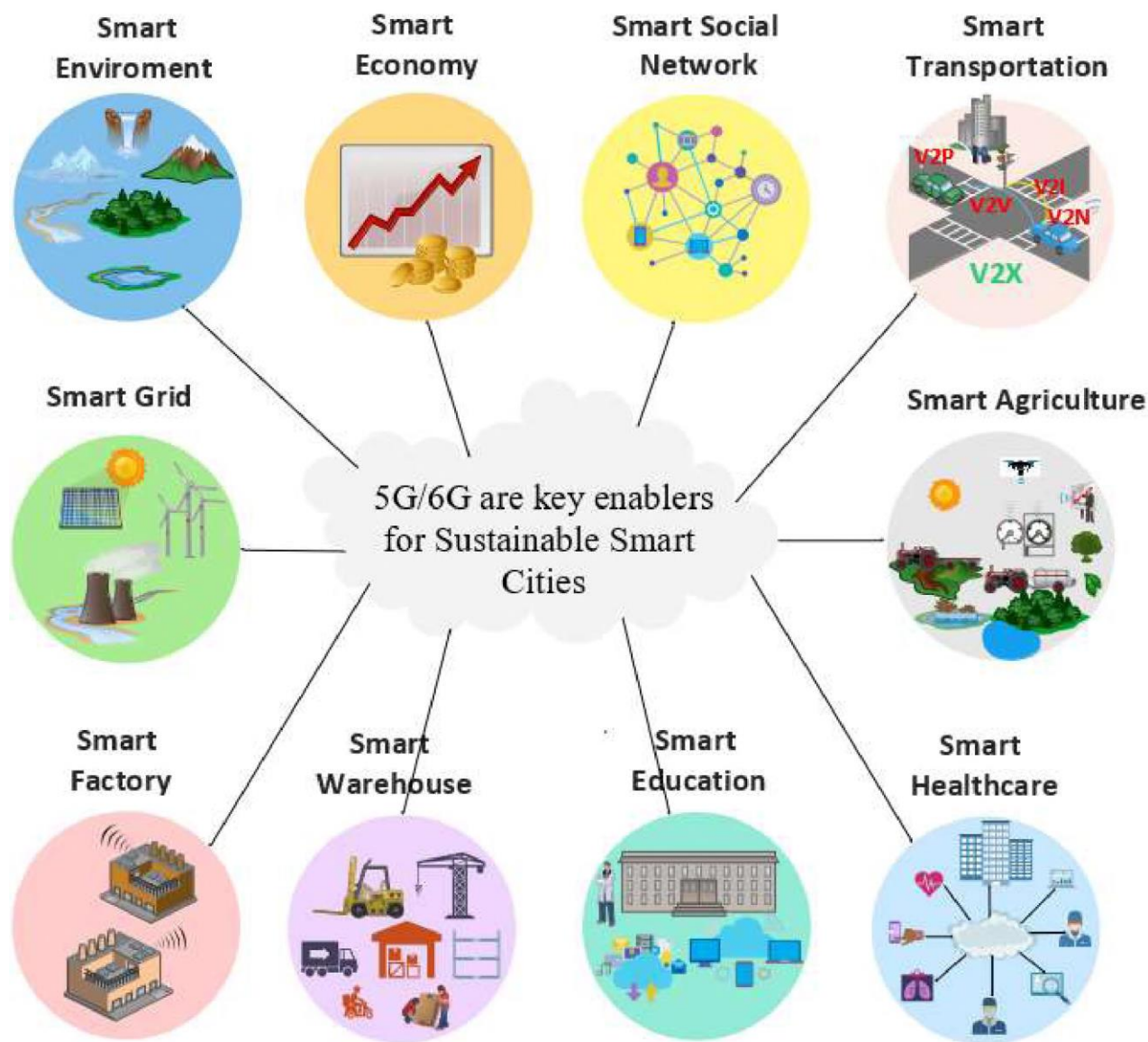
Future Communication Systems' Main Services and Use Cases						
Fundamental KPIs	5G			6G		
	eMBB	uRLLC	mMTC	uMBB	mULC	ULBC
Peak data Rate	✓✓			✓✓		✓✓
User Experienced Data Rate	✓✓			✓✓		✓✓
Latency	✓	✓✓		✓	✓✓	✓✓
Mobility				✓✓		✓
Connection Density	✓		✓✓		✓✓	
Energy Efficiency	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓
Peak Spectral Efficiency	✓✓			✓✓		✓✓
Area Traffic Capacity	✓✓			✓✓		✓✓
Reliability		✓✓		✓	✓✓	✓✓
Signal Bandwidth	✓✓	✓		✓✓	✓	✓✓
Positioning Accuracy		✓		✓	✓	✓
Coverage	✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Security and Privacy	✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓
CAPEX and OPEX	✓✓			✓✓		
Legend: ✓✓ = Significant Impact, ✓ = General Impact						

Οι εφαρμογές και υπηρεσίες των δικτύων 5G μπορεί να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες που αποσκοπούν στην ενίσχυση του κινητού Ευρυζωνικού δικτύου (eMBB), τη Μαζική Επικοινωνία Μηχανών (mMTC), την Εξαιρετικά Αξιόπιστη Επικοινωνία με Χαμηλή Καθυστέρηση (uRLLC),. Το eMBB παρέχει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, υψηλή ροή και μεγάλο εύρος ζώνης. Αυτό επιτρέπει τη μεταφορά μεγάλου όγκου κίνησης και δεδομένων, πράγμα που καθιστά αυτήν την περίπτωση χρήσης σημαντική για πολύπλοκες οπτικές λύσεις και εφαρμογές όπως η εικονική πραγματικότητα (VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR). Η Machine Type Communication (MTC) είναι μια κατηγορία επικοινωνίας που αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε συσκευές που ανήκουν σε διάφορους τύπους μηχανών ή συσκευών. Στην ουσία, είναι η επικοινωνία μεταξύ μηχανημάτων, αισθητήρων, συσκευών Internet of Things (IoT) και άλλων αυτοματοποιημένων συστημάτων. Η MTC έχει ευρύ φάσμα εφαρμογών και χρησιμοποιείται για να επιτρέπει την αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ συσκευών για διάφορους σκοπούς. Για παράδειγμα, σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ρομπότ και μηχανημάτων παραγωγής. Επίσης, σε ένα έξυπνο σύστημα μεταφοράς, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους για τη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με την κυκλοφορία, την ασφάλεια και άλλες πτυχές. Το Machine Type Communication

¹¹⁴ Akyildiz I. F. Kak A. and Nie S. (2020). 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems. in IEEE Access, vol. 8, pp. 133995134030, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010896.

αποτελεί σημαντικό μέρος των εξελίξεων προς τις τεχνολογίες 5G και 6G, καθώς αυξάνεται η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ μεγάλου αριθμού συσκευών που ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες μηχανημάτων. Το mMTC επιτρέπει έως 105 συνδέσεις ανά km² και είναι σημαντικό για βιομηχανικές εφαρμογές και την αυτοματοποίηση των λειτουργιών παραγωγής. Σε αυτήν την κατηγορία χρησιμοποιούνται μαζικές συσκευές και αισθητήρες χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους, παρέχοντας σημαντική κάλυψη άκρου προς άκρο. Η Ultra-Reliable Low Latency Communication (uRLLC) αναφέρεται σε μια κατηγορία επικοινωνίας στα δίκτυα επόμενης γενιάς, όπως το 5G και το 6G, που εστιάζει στην παροχή εξαιρετικά αξιόπιστης επικοινωνίας με χαμηλή χρονική καθυστέρηση (latency). Ο στόχος είναι να διασφαλίσει την αξιόπιστη και γρήγορη μετάδοση πληροφοριών, ιδίως για εφαρμογές που απαιτούν άμεση ανταπόκριση και χαμηλή καθυστέρηση στη μετάδοση δεδομένων. Η uRLLC αναδύθηκε ως απάντηση σε εφαρμογές που έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε όρους αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης. Στα πλαίσια των δικτύων 5G και 6G, η uRLLC είναι ένας σημαντικός στόχος προς επίτευξη, καθώς επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών που βασίζονται σε πραγματικούς χρόνους ανταπόκρισης και αξιοπιστίας. Το uRLLC επιτρέπει αυτόνομες και έξυπνες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η περίπτωση χρήσης παρέχει χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή διαθεσιμότητα, αξιόπιστη συνδεσιμότητα, εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ανθεκτική κάλυψη και εξασφαλίζει βιωσιμότητα και ασφάλεια. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τον τομέα της υγείας, την απομακρυσμένη χειρουργική, το V2V (οχήματα προς οχήματα), την αυτόνομη οδήγηση, τα τρένα υψηλής ταχύτητας, το έξυπνο δίκτυο, τα έξυπνα συστήματα μεταφορών, τη βιομηχανική αυτοματοποίηση, την αυτοματοποίηση εργοστασίων και την επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής (haptic communication). Αντίστοιχα οι εφαρμογές και υπηρεσίες των δικτύων 6G μπορεί να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες που αποσκοπούν στην Πανταχού παρούσα (Ubiquitous), Ευρυζωνική Επικοινωνία (uMBB), τη Μαζική Επικοινωνία Με Υπερ-Αξιόπιστη Χαμηλή Καθυστέρηση (mULC) και την Επικοινωνία Ευρυζωνικού Δικτύου με εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση (ULBC). Η uMBB διαθέτει τη δύναμη να επιτρέψει την επικοινωνία τεράστιων τεχνολογιών. Αυτό θα καταστήσει δυνατή μια μαζική σειρά τεχνολογιών, όπως η VR, η AR, η αυτόνομη λειτουργία, η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η μηχανική μάθηση (ML) και η αυτοματοποίηση. Θα υποστηρίξει παγκόσμια συνδεσιμότητα, υψηλής ποιότητας επικοινωνία και θα ενισχύσει τη χωρητικότητα του δικτύου και τη ροή δεδομένων. Το mULC υποστηρίζει εφαρμογές που απαιτούν τόσο την uRLLC όσο και την πολύ υψηλή ροή δεδομένων, όπως το Tactile Internet, το immersive gaming, η διάχυτη νοημοσύνη και η πολυαισθητηριακή εμπειρία. Το "immersive gaming" αναφέρεται σε μια εμπειρία παιχνιδιού που προσφέρει στον παίκτη μια βαθιά και συναρπαστική αίσθηση βύθισης στον εικονικό κόσμο του παιχνιδιού. Στόχος του immersive gaming είναι να δημιουργήσει μια αίσθηση ότι ο παίκτης βρίσκεται πραγματικά μέσα στο περιβάλλον του παιχνιδιού, με τη χρήση τεχνολογιών που ενισχύουν την αφή, την όραση και τον ήχο. Για την επίτευξη της βύθισης, συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα εικονικής πραγματικότητας (VR) ή επαυξημένης πραγματικότητας (AR), όπου οι παίκτες φορούν ειδικά γυαλιά ή χρησιμοποιούν συσκευές που προβάλλουν εικόνες

και πληροφορίες απευθείας στο πεδίο του οράματός τους. Με αυτόν τον τρόπο, οι παίκτες βιώνουν το παιχνίδι σαν να βρίσκονται μέσα σε αυτό, αντί να παρακολουθούν απλά μια οθόνη. Το "Tactile Internet" αναφέρεται σε μια εξελιγμένη μορφή επικοινωνίας διαδικτύου που παρέχει υπερβολικά χαμηλή καθυστέρηση (latency) και υψηλή αξιοπιστία, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο με αντικείμενα και περιβάλλοντα που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις. Προορίζεται να μεταδώσει την αίσθηση της αφής και της υφής μέσω του διαδικτύου. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν και να αλληλεπιδρούν με αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις με τον ίδιο τρόπο που θα το έκαναν αν τα είχαν μπροστά τους. Αυτή η επικοινωνία με υψηλή αίσθηση ευαισθησίας στην αφή είναι κρίσιμη σε εφαρμογές όπως η χειρουργική από απόσταση, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση, η εξομοίωση περιβαλλόντων και πολλά άλλα. Οι τεχνολογίες όπως τα δίκτυα 5G και 6G αναπτύσσονται με στόχο να επιτύχουν αυτήν την υψηλή αίσθηση αφής και ανταπόκρισης σε πραγματικό χρόνο, ανοίγοντας το δρόμο για εφαρμογές που εξαρτώνται από την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της αφής, όπως η χειρουργική, η κατασκευή, η τηλεδιάσκεψη και άλλες. Η ULBC συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και της uRLLC και της mMTC. Διευκολύνει την εγκατάσταση ενεργοποιητών και μαζικών αισθητήρων στις βιομηχανίες. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε πώς τα συστήματα επικοινωνίας 5G/6G αποτελούν θεμελιώδεις ενεργοποιητές για τις βιώσιμες έξυπνες πόλεις.



Το έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grid), μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μία από τις περιπτώσεις χρήσης που εξυπηρετούνται από τα δίκτυα 5G και 6G και συμβάλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη μείωση εκπομπών CO₂. Θεωρείται ένα σύστημα ενέργειας της επόμενης γενιάς. Είναι ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο, που ενσωματώνεται με το βασικό ηλεκτρικό δίκτυο για τη συλλογή και ανάλυση πληροφοριών που προέρχονται από υποσταθμούς, γραμμές μεταφοράς και χρήστες. Είναι αποδοτικό σε κόστος (Στόχος Βιώσιμης Ανάπτυξης 8), αποδοτικό στην ενέργεια (Στόχος 7), βιώσιμο (Στόχος 11), με χαμηλές απώλειες και υψηλή ποιότητα εφοδιασμού, ασφάλειας και ασφάλειας πληροφοριών (Στόχος 15). Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο της έξυπνης ενέργειας και έχει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της κοινωνικής συνεργασίας, της οικονομίας (Στόχος 8) και της βιώσιμης ανάπτυξης (Στόχος 11). Ωστόσο, για να αυξηθεί η αξιοπιστία και η ευελιξία αυτών των δικτύων και να βελτιωθεί η συνδεσιμότητα, χρειάζεται να

τροφοδοτείται από συστήματα επικοινωνίας 5G / 6G¹¹⁵. Αν και η εξ αποστάσεως εκπαίδευση υπάρχει ήδη, τα μελλοντικά δίκτυα επικοινωνίας με την εξαιρετικά γρήγορη συνδεσιμότητά τους αναμένεται να ενισχύσουν αυτήν την υπηρεσία και να βελτιώσουν την ποιότητα της εκπαίδευσης μέσω απόστασης (Στόχος 4) που συμβάλει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη μείωση εκπομπών CO₂. Επιπλέον, τα δίκτυα 5G / 6G θα επιτρέψουν την αλληλεπίδραση πραγματικού χρόνου με μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, πράγμα που θα επιτρέψει στους μαθητές να συνεργάζονται σε μαθήματα πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, η βελτίωση της ποιότητας της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης (Στόχος 4) θα αυξήσει τον αριθμό του αρμόδιου προσωπικού, το οποίο θα αποτελέσει θετική ανταπόκριση σε άλλους στόχους όπως η αύξηση του υψηλής εξειδίκευσης εργατικού δυναμικού. Αυτό, με τη σειρά του, θα βελτιώσει την παραγωγική απασχόληση, θα ενισχύσει ισχυρά θεσμικά όργανα (Στόχος 16) και θα εξασφαλίσει βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη (Στόχος 8)¹¹⁶. Τα δίκτυα 5G/6G είναι απαραίτητα για τη βελτίωση της βιωσιμότητας στον τομέα των μεταφορών και για την ενεργοποίηση των έξυπνων μεταφορών. Ο λόγος είναι ότι τα 5G και 6G χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές καθυστερήσεις, που μπορούν να φτάσουν κάτω από 1 ms στα δίκτυα 5G και κάτω από 0,1 ms στα δίκτυα 6G. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες στις έξυπνες μεταφορές περιλαμβάνουν την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (V2V), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και «οτιδήποτε» (V2X), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και συσκευών (V2D), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και πεζών (V2P), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και δικτύου (V2N), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και δικτύου ρεύματος (V2G), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομής (V2I), την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και cloud (V2C), νέα ραδιοεπικοινωνία για V2X (NR-V2X), καθώς και την κυψελωτή επικοινωνία οχήματος-προς-κάθε τι (C-V2X). Αυτές οι τεχνολογίες θα επιτρέψουν στα οχήματα να μοιράζονται δεδομένα για τις τοποθεσίες και την ταχύτητά τους μέσω των δικτύων 5G, 6G, Bluetooth και Wifi. Επιπλέον, θα βοηθήσουν τους οδηγούς να αποφεύγουν τις συγκρούσεις (Στόχος 3), να εξοικονομούν ενέργεια (Στόχος 7), να βελτιώνουν την οδική ασφάλεια (Στόχος 3) και να ενισχύουν την αποδοτικότητα της κυκλοφορίας. Έτσι, τα 5G/6G θα παρέχουν μια αξιόπιστη σύνδεση για αυτόνομα οχήματα για να λειτουργούν και να ελέγχονται με αξιοπιστία και ασφάλεια (Στόχος 3)¹¹⁷. Τέλος, Τα

¹¹⁵ S. Hu, X. Chen, W. Ni, X. Wang and E. Hossain, "Modeling and Analysis of Energy Harvesting and Smart Grid-Powered Wireless Communication Networks: A Contemporary Survey," in IEEE Transactions on Green Communications and Networking, vol. 4, no. 2, pp. 461-496, June 2020, doi: 10.1109/TGCN.2020.2988270.

¹¹⁶ B. Kizilkaya, G. Zhao, Y. A. Sambo, L. Li and M. A. Imran, "5G- Enabled Education 4.0: Enabling Technologies, Challenges, and Solutions," in IEEE Access, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136361.

¹¹⁷ "Smart vehicles and 5G mobile transport -Use case," www.ericsson.com, May 23, 2016.

<https://www.ericsson.com/en/cases/2016/smart-vehicles-and-transport> (accessed Dec. 20, 2021).

συστήματα επικοινωνίας 5G/6G αποτελούν βασικά εργαλεία στην ενεργοποίηση του τομέα της έξυπνης υγείας (Στόχος 3), καθώς αυτά τα δίκτυα διαθέτουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, υψηλή κινητικότητα, μαζική πυκνότητα συνδέσεων, χαμηλή καθυστέρηση και μπορούν να υποστηρίξουν καλύτερες συνδέσεις και υψηλή ποιότητα ζωντανών βίντεο. Έτσι, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη δυνατότητα εφαρμογών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), η εικονική πραγματικότητα (VR), η απομακρυσμένη χειρουργική, η τηλεϊατρική, η ενδοноσοκομειακή παρακολούθηση, η απομακρυσμένη φροντίδα ασθενών, η απομακρυσμένη εκπαίδευση για γιατρούς, νοσοκόμους και προσωπικό (Στόχος 4), η απομακρυσμένη συμβουλευτική, η μεταφορά μεγάλων αρχείων, η ανάλυση δεδομένων, η γρήγορη ανταπόκριση σε έκτακτες ανάγκες και η ασύρματη διάγνωση προβλημάτων. Σήμερα, η τηλεϊατρική είναι παρούσα, αλλά με τα δίκτυα 5G/6G η ταχύτητα σύνδεσης θα αυξηθεί και νέες τεχνολογίες όπως το edge computing, θα ενισχύσουν την υιοθέτησή της¹¹⁸. Τα μελλοντικά πράσινα δίκτυα αποτελούν πάντα έναν σημαντικό στόχο για την τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία, αποσκοπώντας στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, στην ελαχιστοποίηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και στη μείωση των εκπομπών CO₂ (Στόχος 15). Στα δίκτυα 5G/6G, το μέγεθος της υποδομής του δικτύου και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών θα αυξηθούν εκθετικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Έτσι, αποτελεί ένα αυξανόμενο ενδιαφέροντος ερευνητικό σημείο ενδιαφέροντος και αξίζει να εξετάσουμε τις πράσινες τεχνολογίες στα δίκτυα 5G/6G. Ωστόσο, είναι σίγουρο ότι το 6G θα έχει διαφοροποιημένες και αυστηρές απαιτήσεις για ευελιξία, ασφάλεια και Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (Στόχος 7). Η τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία διεξήγαγε εκτενείς έρευνες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και την υιοθέτηση της ενεργειακής «συγκομιδής» σε διάφορα μοντέλα επικοινωνίας (Στόχος 7)¹¹⁹. Μία από τις πράσινες τεχνολογίες είναι οι Έξυπνες Ανακλαστικές Επιφάνειες (IRS) που αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία και βασικούς ενεργοποιητές για τα δίκτυα 6G. Βοηθούν στη μετάδοση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, ειδικά όταν δεν υπάρχει οπτική

L. Hobert, A. Festag, I. Llatser, L. Altomare, F. Visintainer and A. Ko- vacs, "Enhancements of V2X communication in support of cooperative autonomous driving," in IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 64-70, Dec. 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7355568.

M. M. Saad, M. T. R. Khan, S. H. A. Shah and D. Kim, "Advancements in Vehicular Communication Technologies: C-V2X and NR-V2X Comparison," in IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 8, pp. 107-113, August 2021, doi: 10.1109/MCOM.101.2100119.

¹¹⁸ N. Gupta, P. K. Juneja, S. Sharma and U. Garg, "Future Aspect of 5G- IoT Architecture in Smart Healthcare System," 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2021, pp. 406-411, doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432082.

¹¹⁹ Zhisheng Niu; Sheng Zhou; Noel Crespi, "Greening 6G," in Shaping Future 6G Networks: Needs, Impacts, and Technologies , IEEE, 2022, pp.39-53, doi: 10.1002/9781119765554.ch4.

επαφή (LOS) μεταξύ πομπού και δέκτη, ή αν οι χρήστες είναι μακριά από το βασικό σταθμό (BS). Οι IRS ελέγχουν το περιβάλλον και ρυθμίζουν το κανάλι για να αυξήσουν την εναλλαγή και την ενεργειακή απόδοση (Στόχος 7). Είναι οικονομικές (Στόχος 8) και αναμένεται να είναι μια υποσχόμενη λύση για τα δίκτυα 6G¹²⁰. Σε αυτήν την ενότητα, θα εξετάσουμε τις πράσινες τεχνολογίες και τον αντίκτυπό τους στη βιωσιμότητα. Επίσης, η Μη-Ορθογώνια Πολλαπλή Πρόσβαση (NOMA), προσφέρει υψηλή αποδοτικότητα φάσματος και υποστηρίζει μαζική συνδεσιμότητα. Επιτυγχάνει μεγαλύτερη χωρητικότητα και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από τις παραδοσιακές τεχνικές ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (OMA), διατηρώντας παράλληλα τη δικαιοσύνη μεταξύ των χρηστών, καθώς επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μεταδίδουν ταυτόχρονα στο ίδιο σύνολο κοινόχρηστων πόρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα παρεμβολές, αλλά η NOMA χρησιμοποιεί μια διαδικασία που αποκαλείται διαδοχική ακύρωση παρεμβολών (SIC) για να ελαχιστοποιήσει τις παρεμβολές που προκύπτουν. Σήμερα, τα ερευνητικά άρθρα της NOMA επικεντρώνονται στην καλύτερη απόδοση της φασματικής αποτελεσματικότητας. Ωστόσο, αρκετές ερευνητικές μελέτες έχουν τονίσει την απόδοση ενεργειακής αποταμίευσης της NOMA. Η SWIPT είναι μια αναδυόμενη πράσινη τεχνολογία που μπορεί να επεκτείνει τη διάρκεια της μπαταρίας των ασύρματων συσκευών με τη χρήση ανάκτησης ενέργειας από ραδιοκύματα. Η ένταξη της SWIPT με την NOMA θα βελτιώσει την εναλλαγή και την ενεργειακή απόδοση (Στόχος 7)¹²¹. Επιπλέον, τα κύματα mmWave και THz χαρακτηρίζονται από στενές δέσμες και μικρότερο μήκος κύματος, το οποίο αυξάνει την ταχύτητα μετάδοσης, ενισχύει τη ροή δεδομένων, βελτιώνει την φασματική αποδοτικότητα και αυξάνει τη χωρητικότητα σε συστήματα 5G/6G, αλλά οι αποστάσεις μετάδοσης αυτών των κυμάτων είναι περιορισμένες. Αυτό δικαιολογεί την ανάγκη για UDNs που αποτελούνται από έναν τεράστιο αριθμό μικρών κελιών. Η βασική ιδέα αυτών των κυττάρων είναι να παρέχουν υψηλή χωρητικότητα, ρυθμό δεδομένων και να αυξάνουν τη φασματική και ενεργειακή αποδοτικότητα (Στόχος 3, Στόχος 7) καθώς και να μειώνουν την καθυστέρηση. Αυτό μειώνει την απόσταση μεταξύ του BS και των χρηστών, μειώνει την απώλεια εξάπλωσης, μειώνει τις παρεμβολές και οδηγεί σε μια σύνδεση υψηλής ποιότητας. Ο συνδυασμός μαζικής MIMO με μικρά κύτταρα αυξάνει τη χωρητικότητα, την QoS και μειώνει τον AWGN¹²². Οι επικοινωνίες THz υποστηρίζουν χαμηλή καθυστέρηση και

¹²⁰ E. Bjornson, G. Ozdogan and E. G. Larsson, "Reconfigurable Intelligent Surfaces: Three Myths and Two Critical Questions," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 12, pp. 90-96, December 2020, DOI: 10.1109/MCOM.001.2000407.

¹²¹ P. Jain, A. Gupta, S. Tanwar and N. Kumar, "Customized NOMA and Sector Model for Battery Efficient Beyond 5G Green Networks," in *IEEE Network*, vol. 34, no. 6, pp. 281-287, November/December 2020, doi: 10.1109/MNET.011.2000187.

¹²² M. Hawasli and S. A. Qolak, "Toward green 5G heterogeneous smallcell networks: power optimization using load balancing technique," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 82, pp. 474-485, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.aeue.2017.09.012.

εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης όπως η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), Εικονική Πραγματικότητα (VR) και ultra-HD βίντεο. Θα επιτρέψει επίσης τη χρήση εφαρμογών όπως το Διαδίκτυο των νανοπραγμάτων, την επικοινωνία εντός του ανθρώπινου σώματος με νανομηχανές, την επικοινωνία εντός μικροκυμάτων, και την επικοινωνία νανομηχανών¹²³. Τέλος, η τεχνολογία M-MIMO χρησιμοποιεί έναν τεράστιο αριθμό κεραιών για να επιτύχει υψηλό εύρος ζώνης μετάδοσης και αυξημένη ενεργειακή απόδοση (Στόχος 7) καθώς και φασματική αποδοτικότητα χωρίς να απαιτεί περισσότερο φάσμα. Ωστόσο, η M-MIMO έχει τα μειονεκτήματα και την πολυπλοκότητά της. Σήμερα, οι κεραιές των κινητών εκπέμπουν σήματα προς όλες τις κατευθύνσεις ταυτόχρονα και όλα αυτά τα διασταυρούμενα σήματα προκαλούν σοβαρή παρεμβολή, καλώντας στην ανάγκη για την τεχνολογία beamforming¹²⁴. Η τεχνολογία "beamforming" αναφέρεται σε μια τεχνική στην οποία τα σήματα που εκπέμπονται από μια ασύρματη συσκευή, όπως μια βάση σταθμού (base station) ή έναν ασύρματο δρομολογητή, καθοδηγούνται και στοχεύουν προς συγκεκριμένους αποδέκτες (receivers) ή χρήστες. Ο στόχος της τεχνολογίας beamforming είναι να αυξήσει την αποδοτικότητα της ασύρματης επικοινωνίας, βελτιώνοντας την ποιότητα και την ευστάθεια της σύνδεσης. Η τεχνολογία beamforming χρησιμοποιείται ευρέως σε ασύρματα δίκτυα, όπως τα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα Wi-Fi δίκτυα και άλλες ασύρματες συσκευές, προκειμένου να βελτιστοποιήσει την επικοινωνία και την απόδοση του δικτύου. Η τεχνολογία εκπομπής δέσμης εστιάζει το ασύρματο σήμα προς μια συγκεκριμένη συσκευή λήψης, αντί να διαδίδει το σήμα προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως θα έκανε κανονικά από μια εκπομπή κεραιάς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια ταχύτερη, αξιόπιστη και πιο άμεση σύνδεση, επιτρέποντας στους BS να μεταδίδουν μια εστιασμένη ροή προς έναν συγκεκριμένο χρήστη, αποτρέποντας την παρεμβολή και αυξάνοντας τη φασματική απόδοση. Σαφέστατα δεν αρκεί απλά να γνωρίζουμε ότι κάποιες εφαρμογές συμβάλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αλλά πρέπει να έχουμε κάποιους δείκτες βιωσιμότητας καθώς και κάποιες δυνατές λύσεις για την προώθησή της. Για να αξιολογηθεί ο βαθμός βιωσιμότητας στα δίκτυα επικοινωνίας πολλοί δείκτες λαμβάνονται υπόψη. Αυτοί ταξινομούνται σε περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις βιωσιμότητας. Κάθε δείκτης βιωσιμότητας περιλαμβάνει πολλούς υποδείκτες. Ο περιβαλλοντικός δείκτης περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση, την ενεργειακή αποδοτικότητα, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον και τις εκπομπές CO₂. Ο κοινωνικός δείκτης περιλαμβάνει την ιδιωτικότητα, την ασφάλεια, την ασφάλεια πληροφοριών, την ποιότητα ζωής και την ανθρώπινη υγεία. Ο οικονομικός δείκτης περιλαμβάνει τη φασματική αποδοτικότητα και την οικονομική αποδοτικότητα. Οι πράσινες

123 S. Tripathi, N. V. Sabu, Ab. K. Gupta, H. S. Dhillon, "Millimeter-wave and Terahertz Spectrum for 6G Wireless," in arXiv:2102.10267v1, 20 Feb 2021.

124 E. Vlachos and J. Thompson, "Energy-Efficiency Maximization of Hybrid Massive MIMO Precoding With Random-Resolution DACs via RF Selection," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 2, pp. 1093-1104, Feb. 2021, doi: 10.1109/TWC.2020.3030772.

τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα 5G/6G και τους δείκτες βιωσιμότητας τους φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Fig. 4: Sustainability indicators in 5G and 6G Networks.

Για την προώθηση της βιωσιμότητας και την ενίσχυση αυτών των δεικτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες προσεγγίσεις. Η χρήση πράσινων τεχνολογιών 5G/6G, επικοινωνιών D2D, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συλλογής ενέργειας, ηλιακής ενέργειας, αποτελεσματικών ενισχυτών ισχύος, αποτελεσματικής ανάπτυξης αισθητήρων IoT, βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης και μείωσης των εκπομπών CO₂ στους τομείς των έξυπνων πόλεων. Οι πράσινες τεχνολογίες 5G/6G θα αυξήσουν την ενεργειακή και φασματική απόδοση, όπως οι mmWave και οι THz, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της φασματικής απόδοσης, καθώς και οι mmWave και οι THz βοηθούν σε ένα ευρύ bandwidth και μεγάλο ρυθμό μετάδοσης. Τα "Ultra-Dense Networks" (UDNs), ή αλλιώς τα "Υπερ-Πυκνά Δίκτυα" και οι επικοινωνίες D2D μειώνουν την απόσταση μεταξύ της πηγής και του προορισμού, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας (Στόχος 7) και την αύξηση της διάρκειας των μπαταριών των κινητών συσκευών. Η μαζική MIMO διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην ενίσχυση της ενεργειακής και φασματικής απόδοσης (Στόχος 7). Η συλλογή ενέργειας, οι κυψέλες καυσίμων, η ηλιακή και

η αιολική ενέργεια, μειώνουν το κόστος (Στόχος 8), τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Στόχος 15) και αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση (Στόχος 7). Η μαζική ανάπτυξη αισθητήρων IoT σε πολλούς τομείς, όπως η έξυπνη μεταφορά για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας, η έξυπνη γεωργία για την εξοικονόμηση νερού (Στόχος 6), η μέτρηση της ποιότητας του αέρα (Στόχος 13), η παροχή στους αγρότες ειδικών πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων που βελτιώνουν τη γεωργία (Στόχος 15), οι έξυπνοι μετρητές για το έξυπνο, καθαρό σχεδιασμό ενέργειας (Στόχος 7) και τη μείωση του κόστους ενέργειας (Στόχος 8), θα ενισχύσουν τη βιωσιμότητα σε αυτούς τους τομείς. Αυτοί οι αισθητήρες απαιτούν αξιόπιστες, ταχύτατες και υψηλής ποιότητας συνδέσεις, πράγμα που δείχνει τη σημασία των δικτύων 5G/6G στην υποστήριξη των αισθητήρων IoT για τη βελτίωση της βιωσιμότητας. Επομένως, η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων των δικτύων 5G/6G για την προώθηση της βιωσιμότητας είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό περιλαμβάνει επίσης τη διαθεσιμότητα φάσματος, την διαφύλαξη των δεδομένων ασφαλείας, το σχεδιασμό κοινότητας, τις πολιτικές αγορές, την αλληλεπίδραση και την εναρμονισμένη λειτουργία των παγκόσμιων αγορών για τη μείωση της πολυπλοκότητας και του κόστους (Στόχος 8). Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες ενισχύει τη διαχείριση των πόρων και τη βιωσιμότητα στις έξυπνες πόλεις (Στόχος 11). Παράλληλα, η αξιοποίηση των 5G/6G και των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) όπως η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ), η μηχανική μάθηση (ΜΜ), τα μεγάλα δεδομένα, το νέφος και το IoT μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και να βελτιώσει τη βιωσιμότητα στους τομείς των έξυπνων πόλεων. Η συνδυασμένη χρήση αυτών των εργαλείων θα βελτιώσει την κυκλική οικονομία, η οποία μειώνει την παραγωγή αποβλήτων και τη χρήση πόρων όπως πρώτες ύλες, νερό και ενέργεια. Η διαχείριση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ), της Μηχανικής Μάθησης (ΜΜ), με τα μεγάλα δεδομένα μπορεί να ανιχνεύσει τα προβλήματα απόδοσης και να προβλέψει τα μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συνεισφέρει σε πολλά κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

5.7 Επίδραση των Δικτύων 6G στις Έξυπνες Πόλεις: Μια Προσέγγιση προς τη Βιωσιμότητα

Οι Έξυπνες Πόλεις έχουν κυρίως την πρόθεση να διαχειριστούν τα προβλήματα επόμενου επιπέδου που προκύπτουν λόγω της υπερβολικής πληθυσμιακής πίεσης¹²⁵. Ωστόσο, οι μελλοντικές έξυπνες πόλεις είναι κάπως διαφορετικές και βασίζονται σε πιο πυκνές και

125 A. R. Javed et al., "Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects," *Cities*, vol. 129, p. 103794, 2022, doi: 10.1016/j.cities.2022.103794.

εξειδικευμένες πόλεις που επικεντρώνονται στην τεχνητή νοημοσύνη^{126 127}. Επομένως, αναμένεται μεγάλη συνδεσιμότητα συσκευών με μαζική κίνηση δεδομένων στην επερχόμενη εποχή, όπου τα κανάλια ή τα δίκτυα επικοινωνίας αναμένεται να προσφέρουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες, πλήρως διαθέσιμη συνδεσιμότητα και περιεχόμενο κατά παραγγελία, προκειμένου να λειτουργούν και να διαχειρίζονται ένα μεγάλο πλήθος συνδεδεμένων συσκευών¹²⁸. Όλες αυτές οι πιθανότητες απαιτούν έξυπνες προσεγγίσεις για να ανταποκριθούν στην εξέλιξη των πόλεων στο σύγχρονο περιβάλλον και να ενισχύσουν περαιτέρω την έννοια των έξυπνων πόλεων¹²⁹. Έτσι, οι έξυπνες πόλεις έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ευκαιρίες για την επίλυση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη μελλοντική κίνηση ανάμεσα στα κανάλια επικοινωνίας, παρέχοντας υψηλής ποιότητας τρόπους ζωής μέσω έξυπνων υπηρεσιών IoT και ICT¹³⁰. Η πιο κάτω εικόνα δείχνει τις διακριτές εφαρμογές των έξυπνων πόλεων όσον αφορά συγκεκριμένα σενάρια με εφαρμογές που προβλέπονται από την τεχνολογία IoT.

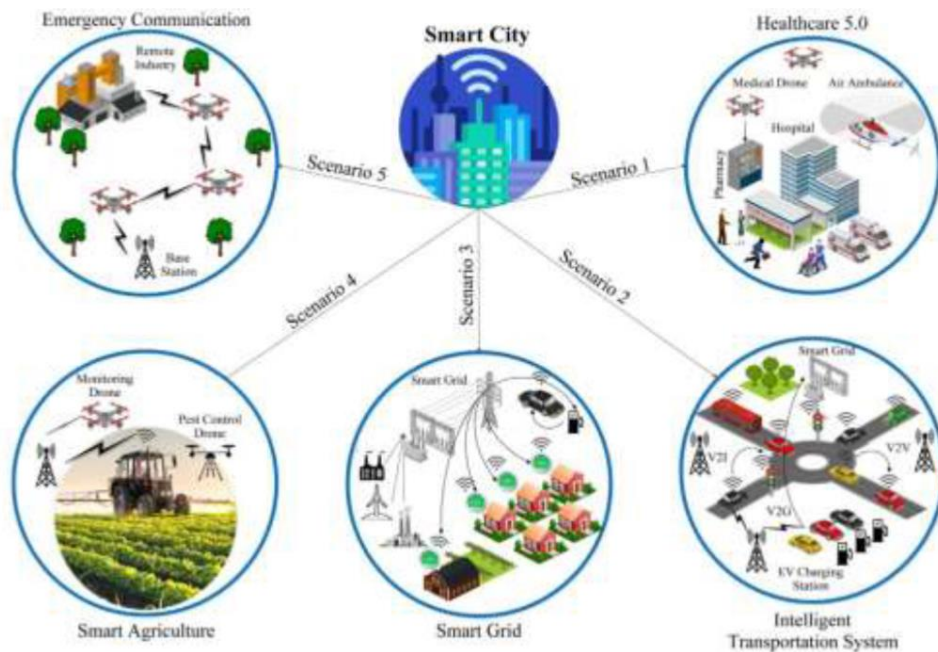
126 M. Batty, "Artificial intelligence and smart cities," *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 45, no. 1. SAGE Publications Sage UK: London, England, pp. 3–6, 2018, doi: 10.1177/2399808317751169

127 A. J. Jara, D. Genoud, and Y. Bocchi, "Big data in smart cities: from poisson to human dynamics," in 2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2014, pp. 785–790, doi: 10.1109/WAINA.2014.165.

128 M. S. Farooq, R. M. Nadir, F. Rustam, S. Hur, Y. Park, and I. Ashraf, "Nested Bee Hive: A Conceptual Multilayer Architecture for 6G in Futuristic Sustainable Smart Cities," *Sensors*, vol. 22, no. 16, p. 5950, 2022, doi: 10.3390/s22165950. & P. Rizwan, K. Suresh, and M. R. Babu, "Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data," in 2016 international conference on emerging technological trends (ICETT), 2016, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICETT.2016.7873660

129 J. Sun, J. Yan, and K. Z. K. Zhang, "Blockchain-based sharing services: What blockchain technology can contribute to smart cities," *Financ. Innov.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1186/s40854-016-0040-y.[19]R. Rivera, J. G. Robledo, V. M. Larios, and J. M. Avalos, "How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment," in 2017 International smart cities conference (ISC2), 2017, pp. 1–4, doi: 10.1109/ISC2.2017.8090839.[20]E. Tabane, S. M. Ngwira, and T. Zuva, "Survey of smart city initiatives towards urbanization," in 2016 international conference on advances in computing and communication engineering (ICACCE), 2016, pp. 437–440, doi: 10.1109/ICACCE.2016.8073788

130 A. Kumari, R. Gupta, and S. Tanwar, "Amalgamation of blockchain and IoT for smart cities underlying 6G communication: A comprehensive review," *Comput. Commun.*, vol. 172, pp. 102–118, 2021, doi: 10.1016/j.comcom.2021.03.005



Εντός αυτού του πλαισίου, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να επιτρέψει στις έξυπνες πόλεις να επιτύχουν το όραμα του "Internet of Everything (IoE)" σχεδιάζοντας ένα έξυπνο σύνδεσμο μεταξύ των συσκευών χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Η διαρκώς αυξανόμενη ανάπτυξη των συσκευών IoT αποτελεί στο συνολικό πλαίσιο μεγάλο μέρος των επιχειρηματικών δεδομένων που παράγονται από τις επικοινωνίες τύπου μηχανής (MTC). Έτσι, σε σχέση με αυτό, οι μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC), καθώς και οι επικοινωνίες υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης (URLLC), αποτελούν μερικά από τα κύρια σενάρια εφαρμογής που απαιτούν υψηλότερη αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να προσφερθούν αποτελεσματικά μόνο από την τεχνολογία 6G. Υπερβαίνοντας τα δίκτυα πέμπτης γενιάς, το 6G διαθέτει ακόμα ισχυρότερες κλίμακες URLLC και mMTC που μπορούν να συνυπάρχουν στις επικοινωνίες τύπου μηχανής (MTC) για να καθιερώσουν τις έξυπνες πόλεις με δυνατότητα 6G¹³¹. Η ενεργειακά αποδοτική καινοτομία του 6G μπορεί να καταστήσει τις έξυπνες κοινότητες πιο παραγωγικές και αποτελεσματικές. Η χρήση του 6G από τις συσκευές IoT μπορεί να μεταμορφώσει τις έξυπνες πόλεις σε υπερ-έξυπνες κοινότητες. Η τρέχουσα επανάσταση στον 18ο αιώνα αξιολογήθηκε και άλλαξε τις πόλεις παγκοσμίως. Σύμφωνα με ερευνητές οι έξυπνες πόλεις που κατασκευάστηκαν έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη συνδεσιμότητα¹³². Παρ' όλα αυτά, ορισμένες σύγχρονες συνδέσεις

131 H. Han, J. Zhao, W. Zhai, Z. Xiong, and W. Lu, "Smart city enabled by 5G/6G networks: An intelligent hybrid random access scheme," arXiv. 2022, doi: 10.48550/arXiv.2101.06421.

132 Research and Market, "6G and Smart Cities: Transformation of Communications, Services, Content, and Commerce 2025–2030," Mind Commerce, 2021

δεν κατάφεραν να επιτύχουν τις απαιτήσεις των έξυπνων πόλεων. Ο Afifi ¹³³δήλωσε ότι η υποδομή IoT αναμένεται να φτάσει σε ένα δισεκατομμύριο συσκευές, υπό την προϋπόθεση της δικτύωσης. Ωστόσο, το δίκτυο που προσφέρεται από τις γενιές 2G-5G δεν είναι αρκετό για να καλύψει τις υψηλές απαιτήσεις για συσκευές IoT, ιδίως στις έξυπνες αστικές κοινότητες. Έτσι, είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναγνωρίσουμε τις βασικές τεχνολογικές καινοτομίες για το 6G στις έξυπνες αστικές περιοχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ικανοποιήσουν τις υψηλές απαιτήσεις δικτύου. Ο Allam et.al¹³⁴ εξέτασαν την έκφραση '15-Minute City', αναφερόμενοι στην έξυπνη αστικοποίηση σε μια μεταπανδημική εποχή που προσφέρει καλύτερες προοπτικές για την καθημερινή ζωή και βελτιωμένες υπηρεσίες μητροπολιτικής ευημερίας. Η βελτίωση του επιπέδου δικτύου της επικοινωνίας 6G μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη με βάση τη μηχανική μάθηση και τις πολιτικές αυτοοργάνωσης. Χρειάζονται βασικές καθημερινές λειτουργίες της τεχνητής νοημοσύνης, αλλά για την πραγματική επανάσταση, χρειάζεται η χρήση συνεργατικής τεχνητής νοημοσύνης. Ορισμένοι ερευνητές έχουν αναφέρει ότι η τεχνολογία του blockchain είναι η πιο συγκλονιστική, καθώς υστερεί να επιτρέψει την άρτια τεχνική λειτουργία του δικτύου 6G. Ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να παρέχει το blockchain στο δίκτυο 6G είναι η Έξυπνη Διαχείριση Πόρων. Μια άλλη τεχνολογία που δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά τη μελέτη ενός δικτύου 6G είναι η τεχνολογία VLC. Διαθέτει τη δυνατότητα μεταφοράς και λήψης δεδομένων μέσω ορατού φωτός¹³⁵. Διαθέτει τη δυνατότητα να μεταφέρει δεδομένα από 400 έως 750 THz καθώς ανήκει στην κατηγορία της οπτικής ασύρματης επικοινωνίας. Όλες αυτές οι τεχνολογίες και δυνατότητες του 6G προσθέτουν διάφορα οφέλη στο σύστημα IoT, το οποίο μπορεί να γίνει ανταγωνιστικό και να βελτιστοποιηθεί βάσει της ταχύτητάς του και του εύρους ζώνης του. Ο A. L. Imoize ¹³⁶παρουσίασε μια συζήτηση για τις τεχνολογίες του 6G. Μια εικονική κατανόηση των διαφόρων τεχνολογιών του 6G παρουσιάζεται στην εικόνα 3. Μία από τις βασικές τεχνολογίες του 6G είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη, η εισαγωγή της οποίας έγινε τελικά στο 5G αλλά έχει εξελιχθεί σε ένα απόλυτα έξυπνο δίκτυο 6G. Για την ανακλαστική των σημάτων και τη διατήρηση της γραμμής ορατότητας (LoS), χρησιμοποιούνται αναδιαμορφώσιμες έξυπνες επιφάνειες στα παράθυρα, τα κτίρια και τις πόρτες. Το 6G έχει επίσης

133 M. A. M. Afifi, T. M. Ghazal, and D. Kalra, "The impact of deploying the internet of things and how will it change our lives," *Solid State Technol.*, vol. 64, no. 2, pp. 2049–2055, 2021.

134 Z. Allam, S. E. Bibri, D. S. Jones, D. Chabaud, and C. Moreno, "Unpacking the '15-Minute City' via 6G, IoT, and Digital Twins: Towards a New Narrative for Increasing Urban Efficiency, Resilience, and Sustainability," *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1369, 2022

135 N. Chi, Y. Zhou, Y. Wei, and F. Hu, "Visible light communication in 6G: Advances, challenges, and prospects," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 15, no. 4, pp. 93–102, 2020

136 A. L. Imoize, O. Adedeji, N. Tandiya, and S. Shetty, "6G enabled smart infrastructure for sustainable society: Opportunities, challenges, and research roadmap," *Sensors*, vol. 21, no. 5, p. 1709, 2021, doi: 10.3390/s21051709

επισημάνει την επίδρασή του στην τεχνολογία Cell-free Massive MIMO, TeraHertz και Optical Wireless. Παρά το γεγονός ότι κάποιες τεχνολογίες είναι ανεξερεύνητες, όπως η Κβαντική Επικοινωνία, το 6G την διευκολύνει για χρήση σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα. Στη λογοτεχνία για το Χώρο των Πραγμάτων, η επικοινωνία στο χώρο έχει εφαρμόσει τεχνολογίες όπως τα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη (UAV) και τα CubeSats. Μια άλλη μεγάλη τεχνολογία ενός δικτύου 6G είναι το Σύστημα Επικοινωνίας Ambient Backscatter (ABCS), το οποίο έχει αλλάξει προς το επιθυμητό το ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας. Ο Zhao¹³⁷ ανέφερε ότι μια εκτενής έρευνα σχετικά με τις βασικές τεχνολογίες του IoT που σχετίζονται με την ασύρματη επικοινωνία των δικτύων 6G και συνδέονται με τις έξυπνες πόλεις έχει εκπονηθεί από πολλούς ερευνητές και επιστήμονες. Σύμφωνα με αυτήν την έκθεση, ο Zhang¹³⁸ δημιούργησε βασικές τεχνολογίες όπως η μετατροπή της ενέργειας και των ασύρματων πληροφοριών που θα χρησιμοποιηθούν στις έξυπνες πόλεις μέσω της ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου 6G. Σύμφωνα με τον Kohli και τους συνεργάτες του¹³⁹, υπάρχουν πολλές τεχνολογίες, όπως η ασύρματη επικοινωνία 6G στις έξυπνες πόλεις, που περιλαμβάνουν μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Επειδή αυτή είναι μια από τις αναδυόμενες τεχνολογίες, χρησιμοποιεί την ανθρώπινη συνείδηση περισσότερο από εξωτερικές πηγές για καλύτερη αλληλεπίδραση. Η βελτιστοποίηση της μεθόδου 6G στις έξυπνες πόλεις μπορεί να επανασχεδιάσει τον καθημερινό τρόπο ζωής των ατόμων. Μπορεί να διευκολύνει τα αυτόνομα συστήματα μαζί με τη συνδεσιμότητα των ρομπότ που ακολουθούν τα συστήματα παράδοσης με τη χρήση Αυτόματων Εναέριων Οχημάτων (UAVs). Αυτή η στρατηγική, που ονομάζεται σύστημα παράδοσης με τα drone, μπορεί να εξασφαλίσει την παράδοση των δεμάτων στην ακριβή ώρα. Επιπλέον, αν ένα δίκτυο 6G υλοποιηθεί σε έξυπνες πόλεις, μπορεί να επιτρέψει στους ανθρώπους να είναι ασφαλείς από τον θόρυβο και τα σοβαρά ατυχήματα στην κυκλοφορία¹⁴⁰. Μια έξυπνη και βιώσιμη προσέγγιση για τις πόλεις έχει ήδη ληφθεί υπόψη και περιλαμβάνει μια περιοχή που ονομάζεται "Βιομηχανική πόλη", η οποία βρίσκεται στην περιοχή της "Μητροπολιτικής Περιοχής της Μπανγκόκ (BMR)". Οι Chimmanee και Jantavongso¹⁴¹

137 Y. Zhao, J. Zhao, W. Zhai, S. Sun, D. Niyato, and K.-Y. Lam, "A survey of 6G wireless communications: Emerging technologies," in Future of Information and Communication Conference, 2021, pp. 150–170

138 R. Zhang, R. G. Maunder, and L. Hanzo, "Wireless information and power transfer: From scientific hypothesis to engineering practice," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 8, pp. 99–105, 2015.

139 V. Kohli, U. Tripathi, V. Chamola, B. K. Rout, and S. S. Kanhere, "A review on Virtual Reality and Augmented Reality use-cases of Brain Computer Interface based applications for smart cities," Microprocess. Microsyst., vol. 88, p. 104392, 2022

140 M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed, and Y. M. Jang, "6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions," IEEE Open J. Commun. Soc., vol. 1, pp. 957–975, 2020

141 K. Chimmanee and S. Jantavongso, "Practical mobile network planning and optimization for Thai smart cities: Towards a more inclusive globalization," Res. Glob., vol. 3, p. 100062, 2021

δήλωσαν ότι αυτή η πόλη έχει τη δυνατότητα να εγκαταστήσει ένα δίκτυο 6G με όλες τις εγκαταστάσεις που επιτρέπονται από τις υπηρεσίες IoT, μαζί με την ταχύτερη σύνδεση στο Διαδίκτυο. Χρησιμοποιώντας αυτές τις εξελίξεις, τα πλαίσια IoT στις έξυπνες αστικές περιοχές μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά για να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας, την ασφάλεια, την έρευνα, κλπ. Αυτά τα πλαίσια είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τα ζητήματα της βιωσιμότητας και να καταστήσουν τις έξυπνες αστικές κοινότητες οικολογικά βιώσιμες. Εκτός από αυτό, τα μοτίβα στην καινοτομία στις τεχνολογίες IoT και 6G δείχνουν ότι οι μελλοντικές έξυπνες αστικές περιοχές θα είναι πιο αποτελεσματικές και ισχυρές, καθώς θα είναι σε θέση να χειριστούν τα δεδομένα με εξαιρετικές ταχύτητες.

Ως μία από τις πρωτοποριακές τεχνολογίες στον τομέα του έξυπνου δικτύου, το 6G έχει τη δυνατότητα να υπερβεί τα υπάρχοντα δίκτυα κεραίας κυψελών για να υιοθετήσει πιο προηγμένες μεθόδους συνδεσιμότητας¹⁴². Στο εγγύς μέλλον, τα αποτελέσματα του 6G θα διαμορφώσουν δημιουργικά τον όρο του βιώσιμου μέλλοντος. Αναμένεται ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), καθώς και το Διαδίκτυο των Πάντων (IoE), θα αναλάβουν τον έλεγχο των συσκευών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και να συνεισφέρει στη βελτιστοποίηση για συνδεδεμένα οχήματα, αυτοματοποιημένη κατασκευή, γεωργία με χρήση drone κ.λπ. Το 6G θα έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με το 5G και τις προηγούμενες γενιές. Αυτό, αντίστοιχα, θα οδηγήσει σε μελλοντικές εφαρμογές με μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και θα συμβάλει στην επίτευξή της μέσω της ψηφιοποίησης. Το 6G θα κάνει δυνατή επίσης την έξυπνη μεταφορά σε ένα περιβάλλον όπου διασυνδεδεμένες κάμερες, ηλεκτρικά οχήματα και δρόμοι θα επικοινωνούν για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας. Η έξυπνη γεωργία θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει έξυπνους αισθητήρες για την παρακολούθηση των κτηνοτροφικών προϊόντων, τον έλεγχο του νερού και την παροχή ακριβών φυτοφαρμάκων που μπορεί να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα. Οι διασυνδεδεμένοι ρομποτικοί εξοπλισμοί και έξυπνες μηχανές θα διαχειρίζονται τις αλυσίδες εφοδιασμού ακόμα πιο αποτελεσματικά για να μειώσουν τη χρήση νερού και ενέργειας, καθώς και τις εκπομπές άνθρακα. Τέλος, το 6G θα αποδειχθεί χρήσιμο στην υποστήριξη της μετάβασης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και τα έξυπνα πλέγματα θα μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διανομή ενέργειας.

5.8 Oktett64

Το Oktett64 είναι ένα λογισμικό που δημιουργήθηκε από την Oktett, μια εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού με έδρα στο Βερολίνο. Το Oktett64 είναι ένα λογισμικό διαχείρισης ταυτότητας και

142 European Commission, "Smart Cities." European Commission Website, [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/es-regionu-ir-miestu-pletra/temos/miestai-ir-miestu-pletra/miestu-iniciatyvos/smart-cities_en#:~:text=Related links-, What are smart cities%3F,resource use and less emissions.

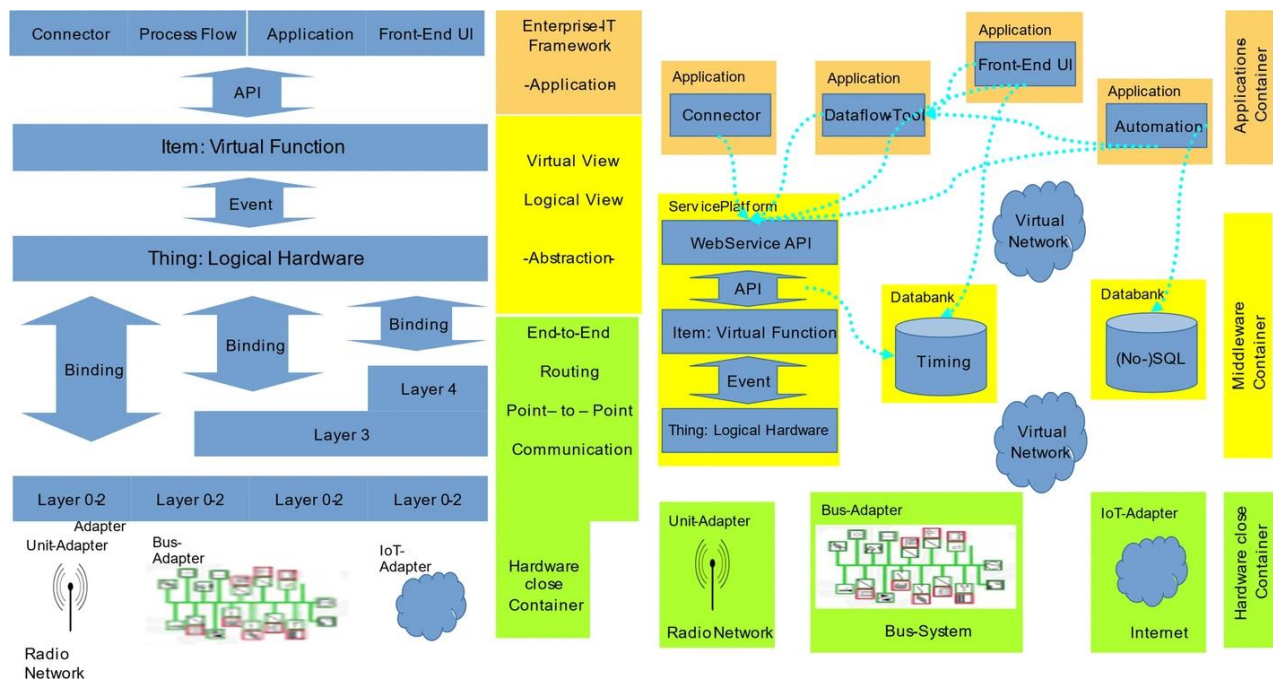
πρόσβασης (IAM) που επιτρέπει στους οργανισμούς να διαχειρίζονται τις ταυτότητες και τις άδειες των χρηστών τους. Βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική cloud και είναι διαθέσιμο ως λογισμικό (SaaS). Διαθέτει μια σειρά χαρακτηριστικών που το καθιστούν μια ισχυρή λύση IAM, συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης ταυτοτήτων. Το Oktett64 επιτρέπει στους οργανισμούς να δημιουργούν και να διαχειρίζονται ταυτότητες χρηστών, συμπεριλαμβανομένων των ονομάτων χρηστών, των κωδικών πρόσβασης και των πληροφοριών επαφής. Επίσης επιτρέπει στους οργανισμούς να διαχειρίζονται την πρόσβαση των χρηστών σε συστήματα και εφαρμογές. Υποστηρίζει MFA, το οποίο βοηθά στην προστασία των συστημάτων και των εφαρμογών από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Το Oktett64 παρέχει δυνατότητες αναφοράς που επιτρέπουν στους οργανισμούς να παρακολουθούν τη χρήση του και να εντοπίζουν πιθανά ζητήματα. Χρησιμοποιείται από μια ποικιλία οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων (SMEs), των μεγάλων επιχειρήσεων και των οργανισμών του δημόσιου τομέα. Είναι ένα ισχυρό λογισμικό IAM που μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να προστατεύσουν τα συστήματα και τις εφαρμογές τους από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.

Το Oktett64 είναι διαθέσιμο ως λογισμικό (SaaS), πράγμα που σημαίνει ότι οι οργανισμοί μπορούν να το χρησιμοποιήσουν χωρίς να χρειάζεται να επενδύσουν σε υλικό ή λογισμικό.

Είναι εύκολο στη χρήση και διαθέτει μια ποικιλία χαρακτηριστικών που το καθιστούν μια ισχυρή λύση IAM.

Η πλατφόρμα Oktett64 είναι κτισμένη σε τεχνολογίες με ανοικτή σύνδεση των ατομικών στοιχείων, χωρίς μονοπωλιακές λύσεις, στέρη αρχιτεκτονική βασισμένη σε πρότυπα της επιχειρηματικής τεχνολογίας. Το Oktett64 ελέγχει τη λειτουργική βελτιστοποίηση επηρεάζοντας την κατανάλωση και την απόδοση παραγωγής καθώς και χρησιμοποιώντας άμεση και έμμεση αποθήκευση. Οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να παρεμβαίνουν σε ένα σύστημα συνήθως συνεχούς ελέγχου, ελεγχόμενο από επιχειρηματικές παραμέτρους και παραμέτρους ζήτησης. Οι αλγόριθμοι είναι δυναμικά προσαρμόσιμοι ή μαθαίνουν μόνοι τους (προγνωστικά μοντέλα). Η απόδοση αναπτύσσεται με τις πιο σύγχρονες αρχιτεκτονικές λογισμικού με λύσεις περιεχομένου και πίνακες ελέγχου βασισμένες σε ανοικτές τεχνολογίες επιχειρηματικής τεχνολογίας που έχουν ήδη δοκιμαστεί χιλιάδες φορές. Το Oktett64 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προσαρμοσμένες λύσεις διασυνοριακού συμβολαίου για διαχείριση ενέργειας σε μικρές μονάδες, όπως γραφεία, διαμερίσματα και εργαστήρια, διαχείριση ενέργειας σε κτίρια, ξενοδοχεία ή εγκαταστάσεις, σε αστικές περιοχές ή βιομηχανικά πάρκα, σε κτίρια αεροδρομίων, για απόκτηση δεδομένων μέτρησης σε μια ευρεία γκάμα συστημάτων, τα οποία παρέχουν κατάλληλες πληροφορίες για την ψηφιακή πλατφόρμα ελέγχου για προϊόντα, εφαρμογές και για επιπλέον ψηφιοποίηση στα ακίνητα.

Η αρχιτεκτονική Oktett64 και η δομή των δοχείων φαίνονται στο Σχήμα 4.



Τα δίκτυα ραδιοφώνου, οι προσαρμογείς Bus και οι προσαρμογείς IoT μπορούν να συνδεθούν μέσω του δοχείου υλικού. Η αρχιτεκτονική διακρίνει μεταξύ λογικού υλικού και εικονικών λειτουργιών. Μπορούν να δημιουργηθούν συνδέσεις με άλλα συστήματα, ροές διαδικασίας και διεπαφές χρήστη, όπως πίνακες ελέγχου. Στο δοχείο μεσολάβησης υπάρχουν εσωτερικές βάσεις δεδομένων, αν για λόγους ασφαλείας δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν εξωτερικές λύσεις νέφους για την αποθήκευση των δεδομένων από τους αισθητήρες και τους μετρητές. Το Σχήμα 5 δείχνει τα δεδομένα ενός συστήματος παρακολούθησης σε χρήση που εμφανίζονται σε έναν πίνακα ελέγχου με παρακολούθηση των καταγεγραμμένων δεδομένων. Εάν παρουσιαστούν αποκλίσεις, το σύστημα ενημερώνει την υπηρεσία συντήρησης.



Dashboard with various sensors:

- Temperature heating plant Forward and return
- Ambient temperature
- Heating water pressure
- Maintenance control button
- ... and much more

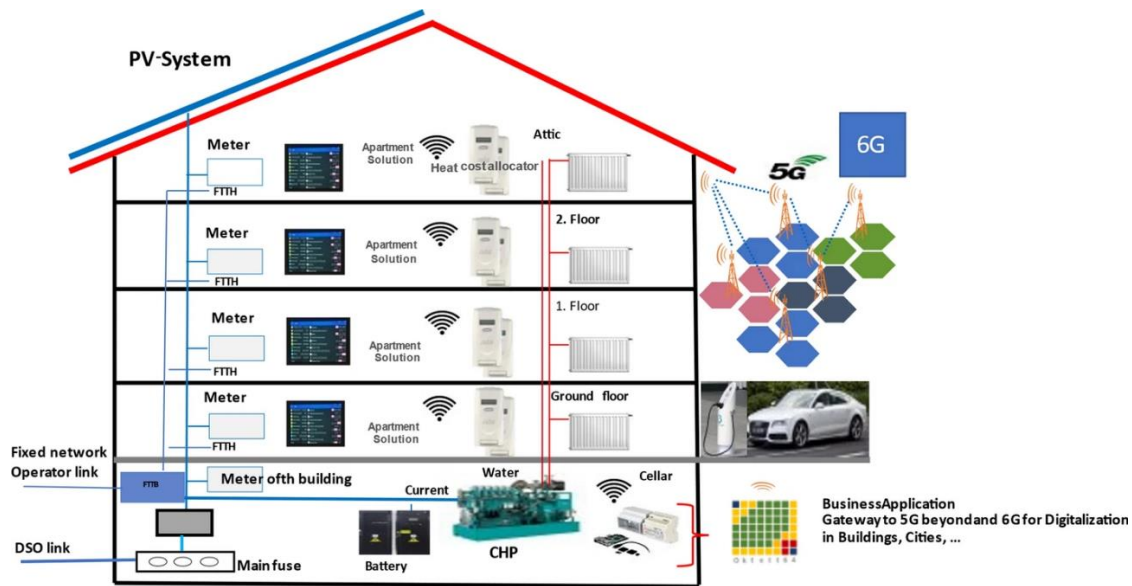
Boiler change strategy and implementation



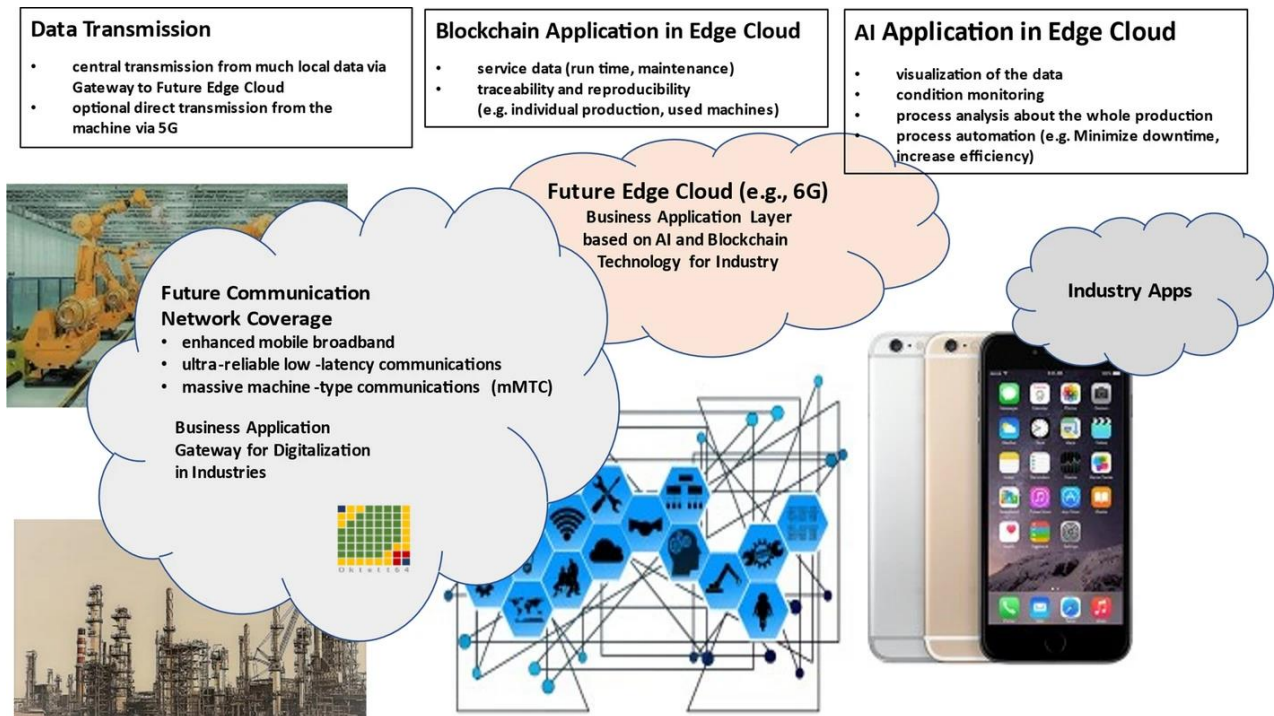
- Review of boiler change timetable and curves

Παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη λύση για μία πολυκατοικία στο Σχήμα 6. Το σύστημα φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή του κτιρίου και ο συμπαραγωγός θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) στο υπόγειο παράγουν για τους ενοίκους ηλεκτρική ενέργεια, ζεστό νερό και θέρμανση. Η ευρυζωνική επικοινωνία συνδέεται μέσω πρόσβασης FTTB και τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζονται από ένα σταθμό φόρτισης μπροστά από το κτίριο και να τροφοδοτούνται από το δημόσιο δίκτυο, την τοπική παραγωγή ενέργειας ή από τη μπαταρία. Η πύλη εφαρμογών επιχειρήσεων βασίζεται στην πλατφόρμα Oktett64 και μεταδίδει όλες τις πληροφορίες του κτιρίου στις Edge Clouds των δικτύων 5G beyond ή μελλοντικών δικτύων 6G¹⁴³.

¹⁴³Konhäuser W. (2021) Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G. Ανακτήθηκε από <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-021-09069-9>



Για τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 4.0, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαθέσιμα δίκτυα 5G beyond και 6G, ακριβώς όπως και στη βιομηχανία κτηματικών. Η τοπική δημιουργία δεδομένων και η διανομή διεργασιών σε βιομηχανικές περιοχές πραγματοποιείται από αισθητήρες με κατάλληλη ραδιοτεχνολογία, όπως Mesh, LoRa, SigFox, και τη χρήση υπαρχόντων αισθητήρων, όπως πεδία επικοινωνίας όπως OPC-UA, Profinet/Profibus, Modbus Ether CAT. Η μετάδοση δεδομένων στο Edge Cloud του 5G beyond όπου οι εφαρμογές θα πρέπει να εγκατασταθούν, μπορεί να διαχειρίζεται μέσω κεντρικής μετάδοσης λόγω του κόστους από πολλά τοπικά δεδομένα μέσω της πύλης 5G beyond ή 6G (π.χ., από το Oktett64) ή προαιρετικής άμεσης μετάδοσης από τις μηχανές μέσω ραδιοσυχνοτήτων 5G beyond ή 6G. Οι εφαρμογές εγκαθίστανται στο Edge Cloud με βάση την τεχνολογία AI όπως οπτικοποίηση δεδομένων, παρακολούθηση κατάστασης, ανάλυση διαδικασίας για όλη την παραγωγή και αυτοματισμός διαδικασιών όπως για παράδειγμα ελαχιστοποίηση χρόνου απενεργοποίησης, αύξηση απόδοσης et.al. Επίσης, εφαρμογές με την τεχνολογία Blockchain στο Edge Cloud όπως δεδομένα υπηρεσίας (χρόνος λειτουργίας, συντήρηση) και ανιχνευσιμότητα και παραγωγικότητα (π.χ., μεμονωμένη παραγωγή, χρησιμοποιούμενες μηχανές).

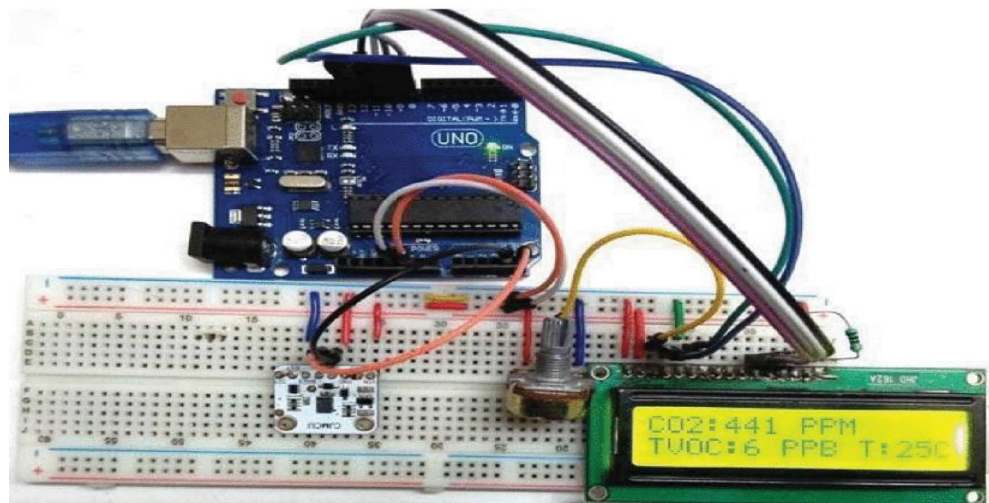


6

Ανάλυση περιπτώσεων μελέτης

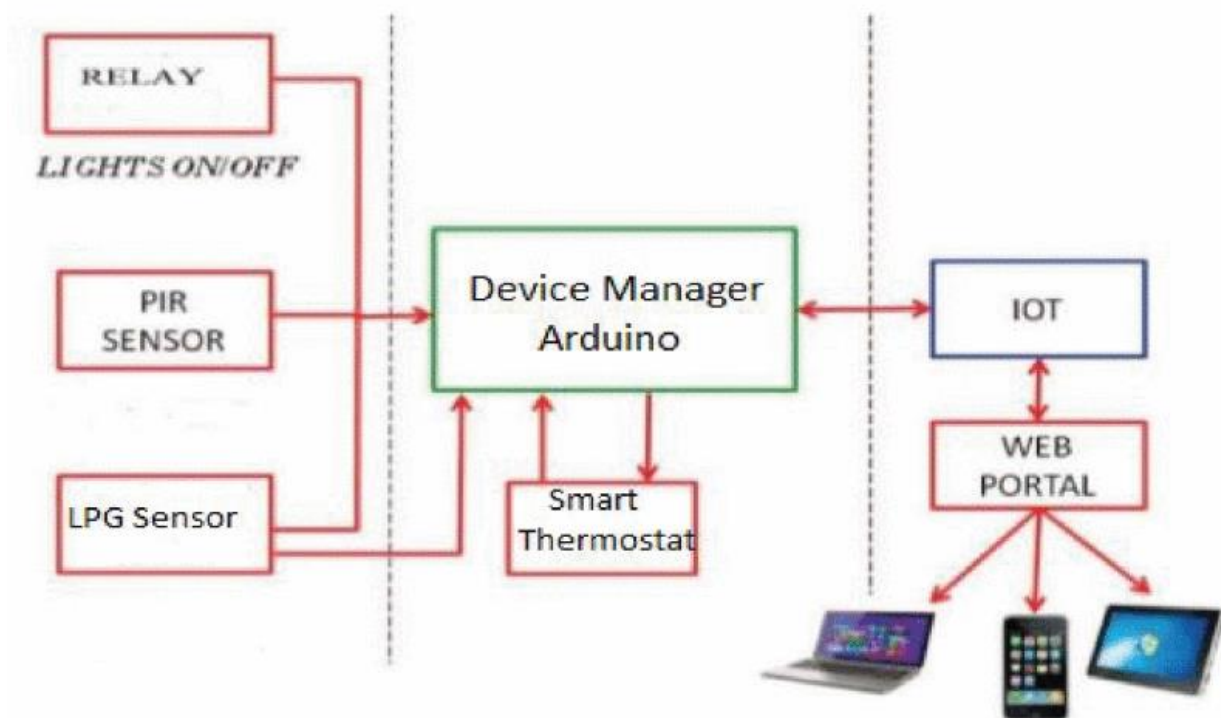
6.1 Εφαρμογή του IoT χρησιμοποιώντας το Arduino

Η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με τη χρήση του Arduino μπορεί να γίνει με τρόπο που να ενσωματώνει αισθητήρες, μικροελεγκτές και συσκευές για την επικοινωνία με το διαδίκτυο. Μια γενική περιγραφή του πώς μπορεί να επιτευχθεί μια τέτοια υλοποίηση ξεκινάει με την επιλογή αισθητήρων. Αρχικά, πρέπει να επιλεγούν οι αισθητήρες που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για τη συλλογή δεδομένων. Αυτοί μπορεί να είναι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης κ.λπ.. Έπειτα οι αισθητήρες συνδέονται με το Arduino χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες ακίδες και καλώδια. Ακολουθεί ο προγραμματισμός του Arduino. Χρησιμοποιώντας μία γλώσσα προγραμματισμού μπορεί να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα που θα διαβάζει τις τιμές των αισθητήρων και θα τις αποστέλλει στο διαδίκτυο. Χρησιμοποιώντας ένα ασύρματο module, όπως Wi-Fi ή Ethernet Shield, το Arduino συνδέεται με το διαδίκτυο. Με τη χρήση προγραμματισμού, το Arduino μπορεί να στέλνει τα δεδομένα που συλλέγει από τους αισθητήρες σε έναν διακομιστή ή σε μια πλατφόρμα IoT. Στην πλατφόρμα IoT, μπορούν να αναλυθούν και να οπτικοποιηθούν τα δεδομένα που συλλέγονται από το Arduino, δημιουργώντας γραφήματα και πίνακες για την παρακολούθηση των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο, μπορείτε να υλοποιηθεί μια εφαρμογή IoT χρησιμοποιώντας το Arduino για την ενσωμάτωση αισθητήρων, την καταγραφή δεδομένων και την αποστολή τους στο διαδίκτυο για ανάλυση και οπτικοποίηση.



Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μία από τις ευέλικτες τεχνολογίες που καθιστούν μία διαδικασία αυτόματη, εξοικονομώντας έτσι πολλή ενέργεια. Σε αυτήν την ερευνητική μελέτη, η τεχνολογία του IoT ενσωματώθηκε σε ένα κτίριο με έξι άτομα μέσα. Αρχικά, υπολογίστηκε το οικολογικό αποτύπωμα σε ένα κανονικό κτίριο (χωρίς IoT) βασισμένο στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση LPG. Βρέθηκε ότι το οικολογικό αποτύπωμα είναι 3,48 τόνοι CO₂ ανά έτος στο κανονικό κτίριο. Από την άλλη πλευρά, για το κτίριο με ενεργοποιημένο το IoT, η τιμή του οικολογικού αποτυπώματος είναι 2,7 τόνοι CO₂ ανά έτος. Επομένως, υπάρχει συνολική εξοικονόμηση περίπου 22,4% στο οικολογικό αποτύπωμα χρησιμοποιώντας το κτίριο με ενεργοποιημένο το IoT. Η εξοικονόμηση 22,4% είναι πολύ θετική και θα αυξηθεί περαιτέρω εάν χρησιμοποιηθούν εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες με υψηλή ακρίβεια και πιστότητα. Το διάγραμμα του κτιρίου με ενεργοποιημένο το IoT φαίνεται πιο κάτω¹⁴⁴.

BLOCK DIAGRAM



Μία άλλη περίπτωση με μαθηματική μοντελοποίηση περιγράφεται στο κείμενο που ακολουθεί.

Α. Αποτύπωμα άνθρακα ενός σπιτιού (6 ατόμων) το καλοκαίρι χωρίς IoT (ανά μήνα)

Ηλεκτρικές Συσκευές – 499 kWh

¹⁴⁴ Asopa P. Purohit P. Nadikattu Reddy R. Reducing Whig P. (2021). Carbon Footprint for Sustainable development of Smart Cities using IoT. Ανακτήθηκε από <https://ieeexplore.ieee.org/document/9388466/>

LPG – 28 λίτρα

Συνολικό αποτύπωμα του σπιτιού – 0.40 τόνοι CO₂ (0.35 τόνοι – 499 kWh ηλεκτρισμού στα 0.708 KgCO₂/kWh, 0.04 τόνοι – 28 λίτρα LPG)

Β. Αποτύπωμα άνθρακα ενός σπιτιού (6 ατόμων) το καλοκαίρι με IoT (ανά μήνα)

Ηλεκτρικές Συσκευές – 385 kWh

LPG – 21 λίτρα

Συνολικό αποτύπωμα του σπιτιού – 0.31 τόνοι CO₂ (0.27 τόνοι – 385 kWh ηλεκτρισμού στα 0.708 KgCO₂/kWh, 0.03 τόνοι – 21 λίτρα LPG)

Γ. Αποτύπωμα άνθρακα ενός σπιτιού (6 ατόμων) το χειμώνα χωρίς IoT (ανά μήνα)

Ηλεκτρικές Συσκευές – 200 kWh

LPG – 28 λίτρα

Συνολικό αποτύπωμα του σπιτιού – 0.18 τόνοι CO₂ (0.14 τόνοι – 200 kWh ηλεκτρισμού στα 0.708 KgCO₂/kWh, 0.04 τόνοι – 28 λίτρα LPG)

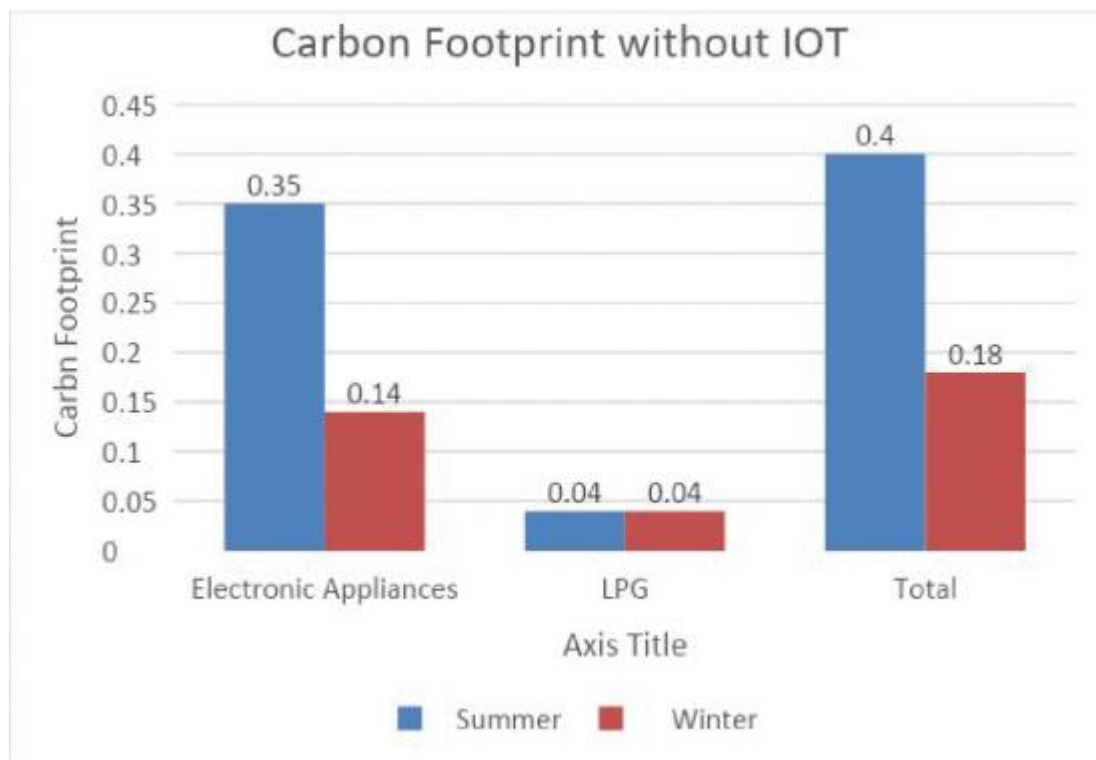
Δ. Αποτύπωμα άνθρακα ενός σπιτιού (6 ατόμων) το χειμώνα με IoT (ανά μήνα)

Ηλεκτρικές Συσκευές – 154 kWh

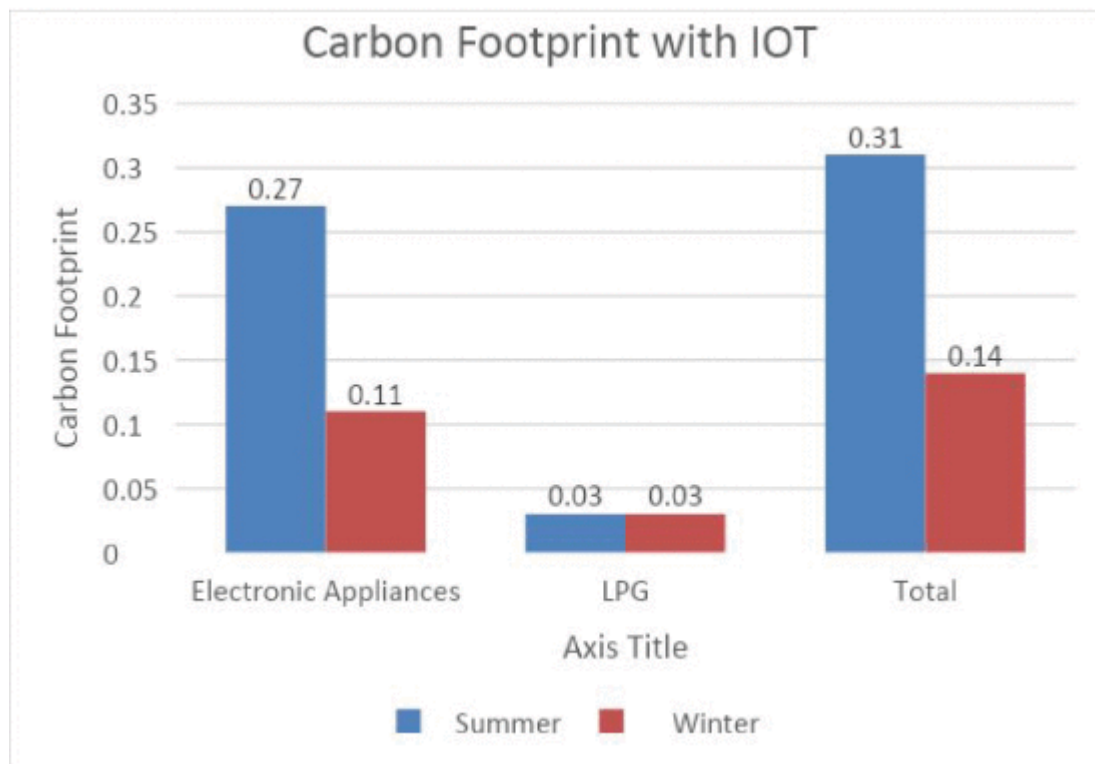
LPG – 21 λίτρα

Συνολικό αποτύπωμα του σπιτιού – 0.14 τόνοι CO₂ (0.11 τόνοι – 154 kWh ηλεκτρισμού στα 0.708 KgCO₂/kWh, 0.03 τόνοι – 21 λίτρα LPG)

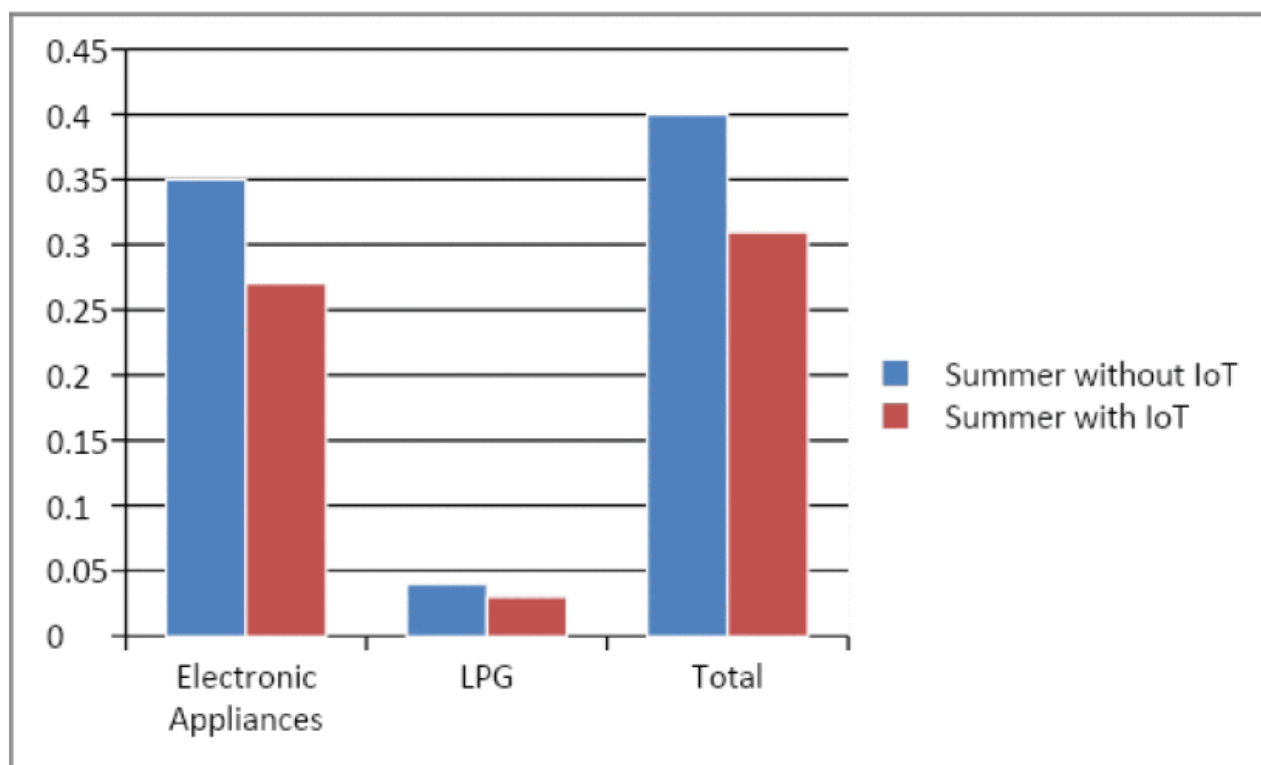
Carbon footprint comparison Without IoT for summer and winter



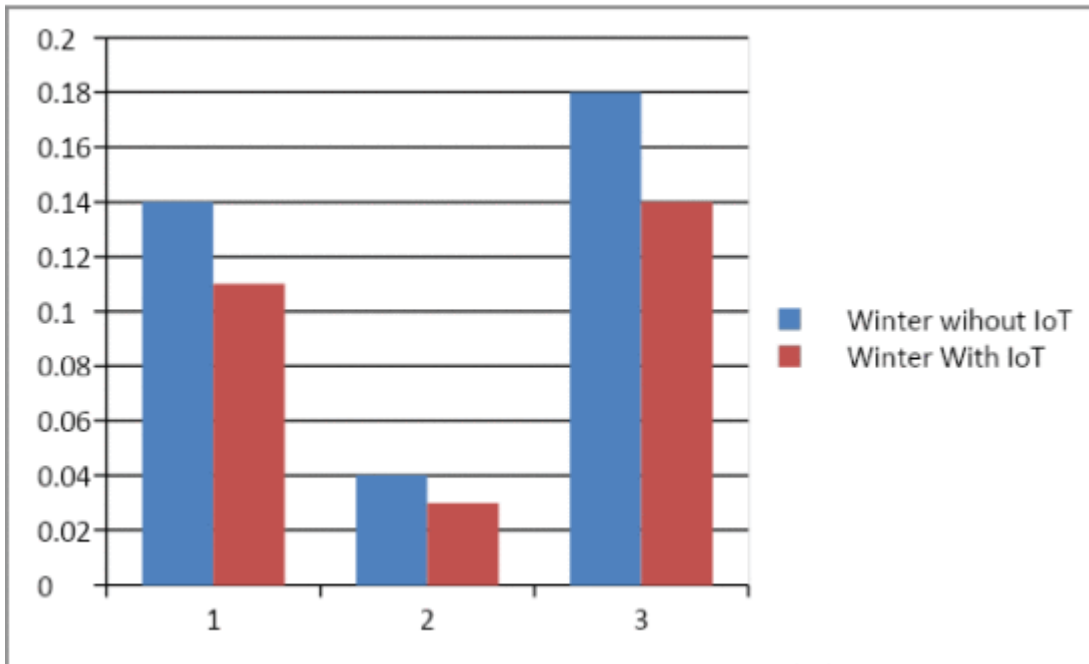
Carbon footprint comparison With IoT for summer and winter



Carbon footprint comparison with and without IoT for summer



Carbon footprint comparison with and without IoT for winter



Από την παραπάνω έρευνα, συμπεραίνεται ότι το IoT είναι μία από τις ελπιδοφόρες τεχνολογίες που μπορεί να βοηθήσει στη σημαντική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε κατοικίες. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες όπως τα αυτοκίνητα, η γεωργία, οι πυρκαγιές κ.λπ. που συνεισφέρουν στο αποτύπωμα άνθρακα. Με καλύτερα ποιοτικά αισθητήρια και μια πολύ πιο προηγμένη δικτυακή υποδομή, η διαφορά θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη από το 22% και μπορεί να αυξηθεί η ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες που συνεισφέρουν στους υπολογισμούς. Επιπλέον, παρατηρείται ότι μία εφαρμογή έξυπνου θερμοστάτη βασισμένου στα δεδομένα με τη χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης θα βοηθήσει στη βελτιστοποίηση αυτής της διαδικασίας.

7

Συμπεράσματα

Η πρόοδος στον κλάδο των επικοινωνιών και των τεχνολογιών αιχμής συνεχίζει να επιταχύνεται με τη μετάβαση από το 5G στο 6G. Αυτή η εξέλιξη προσφέρει μια νέα διάσταση στην ανταλλαγή πληροφοριών, ανοίγοντας νέες προοπτικές για την ψηφιακή επικοινωνία και την αυξημένη συνδεσιμότητα. Καθώς οι έξυπνες πόλεις αναδύονται ως κρίσιμο στοιχείο της σύγχρονης κοινωνίας, η εφαρμογή του 6G σε αυτές προσφέρει πρωτοφανείς δυνατότητες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας.

Ένα από τα βασικά κινητήρια στοχεύσεων αυτής της έρευνας ήταν η αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής πρόκλησης που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Με την ενσωμάτωση του 6G στις έξυπνες πόλεις, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα γίνεται εφικτή μέσω της έξυπνης χρήσης των πόρων και της βελτιστοποίησης των υποδομών. Η συνεργασία μεταξύ διαφόρων τομέων, όπως η τηλεπικοινωνία, οι ενεργειακές υποδομές και οι ψηφιακές υπηρεσίες, οδηγούν σε ολοκληρωμένες λύσεις που εξυπηρετούν την κοινωνία.

Συνολικά, η μετάβαση από το 5G στο 6G δεν είναι μόνο μια εξέλιξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αλλά και μια ευκαιρία να διαμορφώσουμε ένα βιώσιμο και έξυπνο μέλλον. Με την υποστήριξη της προηγμένης τεχνολογίας, η επόμενη γενιά πόλεων μπορεί να δημιουργήσει περιβάλλοντα που συνδυάζουν την καινοτομία, την οικολογική υπευθυνότητα και την καλή ποιότητα ζωής.

Τέλος, η προοπτική της υλοποίησης του 6G στις έξυπνες πόλεις απαιτεί διαρκή παρακολούθηση, εφαρμογή και προσαρμογή. Με τη συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι οι νέες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται με βιώσιμο τρόπο για την ευημερία της κοινωνίας μας. Συνοψίζοντας, η μετάβαση στο 6G και η εφαρμογή του στις έξυπνες πόλεις αντιπροσωπεύουν έναν σημαντικό βήμα προς ένα πιο αειφόρο και τεχνολογικά προηγμένο μέλλον.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Βιβλιογραφία

- G. Interdonato et al., "Ubiquitous Cell-Free Massive MIMO Communications", EURASIP J. Wireless Commun. Net., vol. 2019, no. 1, pp. 197, 2019.
- H. Q. Ngo et al., "Cell-Free Massive MIMO Versus Small Cells", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 3, Mar. 2017
- H. Q. Ngo et al., "On the Total Energy Efficiency of Cell-Free Massive MIMO", IEEE Trans. Green Commun. Net., vol. 2, no. 1, pp. 25-39, 2017
- H. Han, J. Zhao, W. Zhai, Z. Xiong, and W. Lu, "Smart city enabled by 5G/6G networks: An intelligent hybrid random access scheme," arXiv. 2022, doi: 10.48550/arXiv.2101.06421.
- "Qualcomm TIM, Ericsson and Qualcomm Set World Record for Long Distance Speed with 5GmmWave Applied to FWA.," 2020. Ανακτήθηκε από <https://www.qualcomm.com/news/releases/2020/12/04/tim-ericsson-and-qualcomm-set-world-recordlong-distance-speed-5g-mmwave> (accessed on 8 December 2020)
- A. Kumari, R. Gupta, and S. Tanwar, "Amalgamation of blockchain and IoT for smart cities underlying 6G communication: A comprehensive review," Comput. Commun., vol. 172, pp. 102–118, 2021, doi: 10.1016/j.comcom.2021.03.005
- A. R. Javed et al., "Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects," Cities, vol. 129, p. 103794, 2022, doi: 10.1016/j.cities.2022.103794.
- A. J. Jara, D. Genoud, and Y. Bocchi, "Big data in smart cities: from poisson to human dynamics," in 2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2014, pp. 785–790, doi: 10.1109/WAINA.2014.165.
- A. L. Imoize, O. Adedeji, N. Tandiya, and S. Shetty, "6G enabled smart infrastructure for sustainable society: Opportunities, challenges, and research roadmap," Sensors, vol. 21, no. 5, p. 1709, 2021, doi: 10.3390/s21051709
- A.-A. A. Boulogeorgos et al. "Terahertz technologies to deliver optical network quality of experience in wireless systems beyond 5G," IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 6, pp. 144–151, June 2018. doi: 10.1109/MCOM.2018.1700890.
- Abu-Lughod J, Hay RJ (2013) Third world urbanization. Routledge Kegan & Paul, Abingdon
- Akyildiz I. F. Kak A. and Nie S. (2020). 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems. in IEEE Access, vol. 8, pp. 133995134030, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010896.

- Al Ridhawi, I., Aloqaily, M., Boukerche, A., & Jararweh, Y. (2021). Enabling intelligent IoCV services at the edge for 5G networks and beyond. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3053095>
- Ang, J.B. CO2 emissions, energy consumption and output in France. *Energy Policy* 2007, 35, 4772–4778
- Apergis, N.; Payne, J.E. CO2 emissions, energy usage and output in Central America. *Energy Policy* 2009, 37, 3282–3286
- Arif Khan, M. (2019). Fog computing in 5G enabled smart cities: Conceptual framework, overview and challenges. In *IEEE international smart cities conference (ISC2)*. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ISC246665.2019.9071695>
- Asopa P. Purohit P. Nadikattu Reddy R. Reducing Whig P. (2021). Carbon Footprint for Sustainable development of Smart Cities using IoT. Ανακτήθηκε από <https://ieeexplore.ieee.org/document/9388466/>
- B. Kizilkaya, G. Zhao, Y. A. Sambo, L. Li and M. A. Imran, "5G- Enabled Education 4.0: Enabling Technologies, Challenges, and Solutions," in *IEEE Access*, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136361.
- Chen, H., Yuan, L., & Jing, G. (2020). 5G boosting smart cities development. In *2nd international conference on artificial intelligence and advanced manufacture (AIAM)*. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/AIAM50918.2020.00038>
- Chen, F.Z.; Jiang, G.H.; Kitila, G.M. Trade openness and CO2 emissions: The heterogeneous and mediating effects for the Belt and Road Countries. *Sustainability* 2021, 13, 1958
- D. Cuff, M. Hansen and J. Kang, "Urban sensing: Out of the woods", *Commun. ACM*, vol. 51, no. 3, pp. 24-33, Mar. 2008.
- E. Tabane, S. M. Ngwira, and T. Zuva, "Survey of smart city initiatives towards urbanization," in *2016 international conference on advances in computing and communication engineering (ICACCE)*, 2016, pp. 437–440, doi: 10.1109/ICACCE.2016.8073788
- E. Bjornson, G. Ozdogan and E. G. Larsson, "Reconfigurable Intelligent Surfaces: Three Myths and Two Critical Questions," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 12, pp. 90-96, December 2020, DOI: 10.1109/MCOM.001.2000407.
- E. Björnson, L. Sanguinetti, H. Wymeersch, J. Hoydis, T. L. Marzetta, Massive MIMO is a reality—What is next? Five promising research directions for antenna arrays. 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1902.07678>
- E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov, and G. Bianchi, "A tutorial on IEEE 802.11ax high efficiency WLANs," *IEEE Commun. Surv. Tut.*, vol. 21, no. 1, pp. 197–216, 1st Quarter 2019.

- E. Vlachos and J. Thompson, "Energy-Efficiency Maximization of Hybrid Massive MIMO Precoding With Random-Resolution DACs via RF Selection," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 2, pp. 1093-1104, Feb. 2021, doi: 10.1109/TWC.2020.3030772.
- El-Dessouki, I., & Saeed, N. (2021). Smart grid integration into smart cities. In IEEE international smart cities conference (ISC2). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ISC253183.2021.9562769>
- European Commission, "Smart Cities." European Commission Website, [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/es-regionu-ir-miestu-pletra/temos/miestai-ir-miestu-pletra/miestu-iniciatyvos/smart-cities_en#:~:text=Related links-,What are smart cities%3F,resource use and less emissions.
- Farhadi Zavleh A, Bakhshi H. Resource allocation in sparse code multiple access-based systems for cloud-radio access network in 5G networks. Trans Emerging Tel Tech. ;e4153. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1002/ett.4153> (2020)
- FG-NET-2030, Network 2030, "A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond", (2019) M.Katz, M.Matinmikko, M.L.Aho, "6Genesis Flagship Program Building the Bridges towards 6G- Enabled Wireless Smart Society and Ecosystem", IEEE, 10th Latin-American Conference on Communications (LATICOM), pp. 1-9, (2018):
- Fourati, H., Maaloul, R., & Chaari, L. (2020). A survey of 5G network systems: Challenges and machine learning approaches. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 385–431.
- Grossman, G.M.; Krueger, A.B. Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement; NBER Working Paper; National Bureau of Economic Research, Inc.: Cambridge, MA, USA, 1991; p. 3914.
- H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson and A. Oliveira, "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation", The Future Internet Lect. Notes Comput. Sci, vol. 6656, pp. 431-446, 2011.
- H. T. Chen, A. J. Taylor and N. Yu, "A Review of Metasurfaces: Physics and Applications", Reports on Progress in Physics, vol. 79, no. 7, pp. 076401, 2016
- Haque, A. K., Bhushan, B., & Dhiman, G. (2021). Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends. Expert Systems. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1111/exsy.12753>
- Harish Viswanathan, Preben E. Mogensen. Communications in the 6G Era. IEEE Access

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9388466> Reducing Carbon Footprint for Sustainable development of Smart Cities using IoT
- <https://www.ericsson.com/en/cases/2016/smart-vehicles-and-transport> (accessed Dec. 20, 2021).
- I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini, and H. Flinck, “Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions,” *IEEE Commun. Surveys Tut.*, vol. 20, no. 3, pp. 2429–2453, 2018. doi: 10.1109/COMST.2018.2815638.
- Ibrahim, K., & Sadkhan, S. B. (2021). Radio access network techniques beyond 5G network: A brief overview. In *International conference on advanced computer applications (ACA)*. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACA52198.2021.9626804>
- IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks— Amendment 2: 100 Gb/s Wireless Switched Point-to-Point Physical Layer, IEEE Standard 802.15.3d, 2017.
- IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, International Telecommunication Union—Radiocommunications Sector, Recommendation ITU-R M.2083-0, Sept. 2015.
- Indicators”, ResearchGate, 2021, Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/347990078_Toward_6G_Understanding_network_requirements_and_key_performance_indicators
- J. Sun, J. Yan, and K. Z. K. Zhang, “Blockchain-based sharing services: What blockchain technology can contribute to smart cities,” *Financ. Innov.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1186/s40854-016-0040-y.[19]R. Rivera, J. G. Robledo, V. M. Larios, and J. M. Avalos, “How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment,” in 2017 International smart cities conference (ISC2), 2017, pp. 1–4, doi: 10.1109/ISC2.2017.8090839.[20]
- J. Liu, Y. Shi, Z. M. Fadlullah, and N. Kato, “Space-air-ground integrated network: A survey,” *IEEE Commun. Surveys Tut.*, vol. 20, no. 4, pp. 2714–2741, 2018. doi: 10.1109/COMST.2018.2841996.
- Jalil, A.; Feridunm, M. The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis. *Energy Econ.* 2011, 33, 284–291
- Jalil, A.; Mahmud, S.F. Environment Kuznets Curve for CO2 emissions: A co-integration analysis for China. *Energy Policy* 2009, 37, 5167–5172
- Jamil, S. U., Arif Khan, M., & Sabih ur Rehman (2020). Intelligent task off-loading and resource allocation for 6G smart city environment. In *IEEE 45th conference on local computer networks (LCN)*. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/LCN48667.2020.9314819>

- Joshi, H., & Joshi, S. (2022). A decision support framework to conceptualize the impact of 5G on smart city ecosystem. In International conference on decision aid sciences and applications (DASA). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/DASA54658.2022.9765185>
- K. Chimmanee and S. Jantavongso, "Practical mobile network planning and optimization for Thai smart cities: Towards a more inclusive globalization," Res. Glob., vol. 3, p. 100062, 2021
- K. David and H. Berndt, "6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G?" IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 13, no. 3, pp. 72–80, Sept. 2018. doi: 10.1109/MVT.2018.2848498.
- K. Kotobi and S. G. Bilen, "Secure blockchains for dynamic spectrum access: A decentralized database in moving cognitive radio networks enhances security and user access," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 13, no. 1, pp. 32–39, Mar. 2018. doi: 10.1109/MVT.2017.2740458.
- Kim, J., Jang, S., Jee, D., Ko, E., Choi, S. H., & Han, M. K. (2020). 5G based smart city convergence service platform for data sharing. In International conference on information and communication technology convergence (ICTC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ICTC49870.2020.9289155>
- Konhäuser W. (2021) Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G. Ανακτήθηκε από <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-021-09069-9>
- L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The internet of things: A survey", Comput. Netw, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010. & Rahul Reddy Nadikattu, Sikender Mohsienuddin Mohammad and Pawan Whig, "Novel Economical Social Distancing Smart Device For Covid 19", International Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET) Scopus Indexed, vol. 11, no. 4, pp. 204-217, 2020.
- L. Hobert, A. Festag, I. Llatser, L. Altomare, F. Visintainer and A. Kovacs, "Enhancements of V2X communication in support of cooperative autonomous driving," in IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 64-70, Dec. 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7355568.
- Li, C., Yang, H., Bao, B., Guo, H., Jiang, Y., & Zhang, J. (2020). Spearman correlation coefficient abnormal behavior monitoring technology based on RNN in 5G network for smart city. International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/IWCMC48107.2020.9148469>
- M. A. M. Afifi, T. M. Ghazal, and D. Kalra, "The impact of deploying the internet of things and how will it change our lives," Solid State Technol., vol. 64, no. 2, pp. 2049–2055, 2021.
- M. Batty, "Artificial intelligence and smart cities," Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, vol. 45, no. 1. SAGE Publications Sage UK: London, England, pp. 3–6, 2018, doi: 10.1177/2399808317751169

- M. Chen et al., "Artificial Neural Networks-Based Machine Learning for Wireless Networks: A Tutorial", IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3039-71, 2019
- M. Hawasli and S. A. Qolak, "Toward green 5G heterogeneous smallcell networks: power optimization using load balancing technique," AEU - International Journal of Electronics and Communications, vol. 82, pp. 474-485, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.aeue.2017.09.012.
- M. Latva-aho, "Radio access networking challenges towards 2030," in Proc. 1st International Telecommunication Union Workshop on Network 2030, New York, Oct. 2018. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201810/Documents/Matt_Latvaaho_Presentation.pdf
- M. M. Saad, M. T. R. Khan, S. H. A. Shah and D. Kim, "Advancements in Vehicular Communication Technologies: C-V2X and NR-V2X Comparison," in IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 8, pp. 107-113, August 2021, doi: 10.1109/MCOM.101.2100119.
- M. S. Farooq, R. M. Nadir, F. Rustam, S. Hur, Y. Park, and I. Ashraf, "Nested Bee Hive: A Conceptual Multilayer Architecture for 6G in Futuristic Sustainable Smart Cities," Sensors, vol. 22, no. 16, p. 5950, 2022, doi: 10.3390/s22165950. & P. Rizwan, K. Suresh, and M. R. Babu, "Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data," in 2016 international conference on emerging technological trends (ICETT), 2016, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICETT.2016.7873660
- M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed, and Y. M. Jang, "6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions," IEEE Open J. Commun. Soc., vol. 1, pp. 957–975, 2020
- Malik, A., & Bhushan, B. (2022). Challenges, standards, and solutions for secure and intelligent 5G Internet of Things (IoT) Scenarios. In Smart and sustainable approaches for optimizing performance of wireless networks: Real-time applications (pp. 139–165). Wiley. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1002/9781119682554.ch7>
- Martínez-Zarzoso, I.; Maruotti, A. The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries. Ecol. Econ. 2011, 70, 1344–1353.
- Matthaïou M. Yurduseven O. et al. 2021. Διαθέσιμο στο: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9356519/references#references>
- Mehta, S., Bhushan, B., & Kumar, R. (2022). Machine learning approaches for smart city applications: Emergence, challenges and opportunities. In V. E. Balas, V. K. Solanki, & R. Kumar (Eds.), Recent advances in Internet of Things and machine learning (Intelligent systems reference library) (Vol. 215). Springer. Ανακτήθηκε από https://doi.org/10.1007/978-3-030-90119-6_12

- Mishra Ram K., Kumari Lakshmi Ch., Chachra S., Krishna Janaki P. S., Dubey A., Singh R. B. (2022). Smart Cities for Sustainable Development, Ανακτήθηκε από <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-7410-5>
- Mohanty SP, Choppali U, Kougianos E (July 2016) Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. IEEE Consumer Electron Magaz 5(3):60–70. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879>
- N. Chi, Y. Zhou, Y. Wei, and F. Hu, "Visible light communication in 6G: Advances, challenges, and prospects," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 15, no. 4, pp. 93–102, 2020
- N. Gupta, P. K. Juneja, S. Sharma and U. Garg, "Future Aspect of 5G- IoT Architecture in Smart Healthcare System," 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2021, pp. 406-411, doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432082.
- N. Maisonneuve, M. Stevens, M. E. Niessen, P. Hanappe and L. Steels, "Citizen noise pollution monitoring", Proc. 10th Annu. Int. Conf. Digital Gov. Res.: Soc. Netw.: Making Connec. Between Citizens Data Gov, pp. 96-103, 2009. & Pawan Whig and S. N. Ahmad, "Novel FGMOS Based PCS Device for Low Power Applications", Photonic Sensor(Springer), vol. 5, no. 2, pp. 1-5, 2015.
- Nishith D. Tripathi and Jeffrey H. Reed, "5G Cellular Communications-Journey and Destination", Multimedia eBook, Ανακτήθηκε από <https://thewirelessuniversity.com/>, (2019)
- Nokia, "Elisa and Qualcomm Achieve 5G Speed Record in Finland," 2020. Ανακτήθηκε από <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2020/11/18/nokia-elisa-and-qualcomm-achieve-5g-speed-record-in-finland/#:~:text=Espoo%2CFinland--Nokiahttps%2CElisa,5GmmWavede>.
- O. B. Akan, H. Ramezani, T. Khan, N. A. Abbasi, and M. Kuscu, "Fundamentals of molecular information and communication science," Proc. IEEE, vol. 105, no. 2, pp. 306–318, Feb. 2017. doi: 10.1109/JPROC.2016.2537306.
- P. Botsinis et al., "Quantum search algorithms for wireless communications," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 21, no. 2, pp. 1209–1242, 2019. doi: 10.1109/COMST.2018.2882385.
- P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, "Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, Sept. 2015. doi: 10.1109/COMST.2015.2476474.
- P. Jain, A. Gupta, S. Tanwar and N. Kumar, "Customized NOMA and Sector Model for Battery Efficient Beyond 5G Green Networks," in IEEE Network, vol. 34, no. 6, pp. 281-287, November/December 2020, doi: 10.1109/MNET.011.2000187.
- Pawan Whig and S. N Ahmad, "Simulation and Performance Analysis of Low Power Quasi Floating Gate PCS Model", International Journal of Intelligent Engineering and Systems, vol. 9,

- no. 2, pp. 8-13, 2016. & Y Li et al., "IoT-CANE: a unified knowledge management system for data-centric internet of things application systems", J Parallel Distrib Comput, vol. 131, pp. 161-72, 2019.
- Pawan Whig and S. N. Ahmad, "A Novel Pseudo PMOS Integrated CC-ISFET device for water quality monitoring", Journal of integrated circuit and system published 2013, vol. 8, no. 2, pp. 1-6, October 2013. & A. R. Al-Ali, I. Zulkernain and F. Aloul, "A mobile GPRS-sensors array for air pollution monitoring", IEEE Sensors J, vol. 10, no. 10, pp. 1666-1671, Oct. 2010.
 - Pawan Whig and S. N. Ahmad, "Simulation of Linear Dynamic Macro Model of Photo Catalytic Sensor in SPICE", Compel the international journal of computation and mathematics in electrical and electronic engineering, vol. 33, no. 1/2, 2014. & J. P. Lynch and J. L. Kenneth, "A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring", Shock and Vibration Digest, vol. 38, no. 2, pp. 91-130, 2006.
 - Petrović, N., Al-Azzoni, I., & Blank, J. (2021). Model-driven multi-objective optimization approach to 6G network planning. In 15th international conference on advanced technologies, systems and services in telecommunications (TELSIKS). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/TELSIKS52058.2021.9606345>
 - Q. Mao, F. Hu, and Q. Hao, "Deep learning for intelligent wireless networks: A comprehensive survey," IEEE Commun. Surveys Tut., vol. 20, no. 4, pp. 2595–2621, 2018. doi: 10.1109/COMST.2018.2846401.
 - Qingbin Guo A. Yong Wang A. Xiaobin Dong B. (2022) Effects of smart city construction on energy saving and CO2 emission reduction: Evidence from China, Ανακτήθηκε από <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261922003087>
 - R. Zhang, R. G. Maunder, and L. Hanzo, "Wireless information and power transfer: From scientific hypothesis to engineering practice," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 8, pp. 99–105, 2015.
 - R. Li, "Network 2030: Market drivers and prospects," in Proc. 1st International Telecommunication Union Workshop on Network 2030, New York, Oct. 2018. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201810/Documents/Richard_Li_Presentation.pdf
 - Research and Market, "6G and Smart Cities: Transformation of Communications, Services, Content, and Commerce 2025–2030," Mind Commerce, 2021
 - Rogelj, J.; Popp, A.; Calvin, K.V.; Luderer, G.; Emmerling, J.; Gernaat, D.; Fujimori, S.; Strefler, J.; Hasegawa, T.; Marangoni, G.; et al. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. Nat. Clim. Chang. 2018, 8, 325–332. 2. Duan, H.; Zhou, S.; Jiang, K.; Bertram, C.;

- Harmsen, M.; Kriegler, E.; van Vuuren, D.P.; Wang, S.; Fujimori, S.; Tavoni, M.; et al. Assessing China's efforts to pursue the 1.5 °C warming limit. *Science* 2021, 372, 378–385
- Rusti, B., Stefanescu, H., Iordache, M., Ghenta, J., Brezeanu, C., & Patachia, C. (2019). Deploying smart city components for 5G network slicing. In European conference on networks and communications (EuCNC). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/EuCNC.2019.8802054>
 - S. Nayak and R. Patgiri, "6G Communication: A Vision on the Potential Applications," in *Edge Analytics*, Springer, 2022, pp. 203–218.
 - S. Hu, X. Chen, W. Ni, X. Wang and E. Hossain, "Modeling and Analysis of Energy Harvesting and Smart Grid-Powered Wireless Communication Networks: A Contemporary Survey," in *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 4, no. 2, pp. 461-496, June 2020, doi: 10.1109/TGCN.2020.2988270.
 - S. Tripathi, N. V. Sabu, Ab. K. Gupta, H. S. Dhillon, "Millimeter-wave and Terahertz Spectrum for 6G Wireless," in arXiv:2102.10267v1, 20 Feb 2021.
 - Satterthwaite, D. Environmental transformations in cities as they get larger, wealthier and better managed. *Geogr. J.* 1997, 163, 216–224/ <https://www.jstor.org/stable/3060185?origin=crossref>
 - Sharma, M., Choudhary, N., Ahuja, R., & Malhotra, S. (2021). A compact multiband 2x2 MIMO antenna For 5G 28GHz/38GHz IoT and smart city applications. In International conference on computing, communication and green engineering (CCGE). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/CCGE50943.2021.9776458>
 - Shehab, M., Khattab, T., Kucukvar, M., & Trincherro, D. (2022). The role of 5G/6G networks in building sustainable and energy-efficient smart cities. In IEEE 7th international energy conference (ENERGYCON). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830364>
 - Shi, D.Q.; Ding, H.; Wei, P.; Liu, J.J. Can smart city construction reduce environmental pollution? *China Ind. Econ.* 2018, 6, 117–135
 - Singh AP, Nigam S, Gupta NK (2007) A study of next generation wireless network 6G. *Int.J Innovative Res Computer Commun Eng* 4(1):871–874.
 - Slalmi A. Chaibi H. "Toward 6G : Understanding network requirements and key performance
 - Smart vehicles and 5G mobile transport -Use case. www.ericsson.com, May 23, 2016.
 - Syed Agha Hassnain Mohsan , Alireza Mazinani, Warda Malik , Imran Younas Nawaf Qasem Hamood Othman , Hussain Amjad , Arfan Mahmood(2020) 6G: Envisioning the Key Technologies, Applications and Challenges. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 11, No. 9, 2020.

- Tealab, M., Hassebo, A., Dabour, A., & Abdel Aziz, M. (2020). Smart cities digital transformation and 5G – ICT architecture. In 11th IEEE annual ubiquitous computing, electronics & mobile communication conference (UEMCON). Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/UEMCON51285.2020.9298156>
- Transforming City Governments for Successful Smart Cities pp 9–21 Part of the Public Administration and Information Technology book series (PAIT,volume 8) Leonidas G Anthopoulos διαθέσιμο στο https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-03167-5_2
- Unified Architecture for Machine Learning in 5G and Future Networks, International Telecommunication Union–Telecommunication Standardization Sector, Technical Specification ITU-T FG-ML5G-ARC5G, Jan. 2019.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World urbanization prospects: the 2014 revision. New York (2014). Ανακτήθηκε από <https://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>
- V. Kohli, U. Tripathi, V. Chamola, B. K. Rout, and S. S. Kanhere, “A review on Virtual Reality and Augmented Reality use-cases of Brain Computer Interface based applications for smart cities,” Microprocess. Microsyst., vol. 88, p. 104392, 2022
- Vlacheas, P., Giaffreda, R., Stavroulaki, V., Kelaidonis, D., Foteinos, V., Poullos, G., et al. (2013). Enabling smart cities through a cognitive management framework for the internet of things. In IEEE communications magazine (pp. 102–111).
- W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek and H. M. Newmann, "Communication systems for building automation and control", Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1178-1203, Jun. 2005. & "Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0", World Wide Web Consortium, Feb. 2014, [online] Ανακτήθηκε από: <http://www.w3.org/TR/exi/>.
- Wagner, M. The Carbon Kuznets Curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics. Resour. Energy Econ. 2008, 30, 388–408
- Y. Ren et al. “Line-of-sight millimeter-wave communications using orbital angular momentum multiplexing combined with conventional spatial multiplexing,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 5, pp. 3151–3161, May 2017. doi: 10.1109/TWC.2017.2675885.
- Y. Zhao, J. Zhao, W. Zhai, S. Sun, D. Niyato, and K.-Y. Lam, “A survey of 6G wireless communications: Emerging technologies,” in Future of Information and Communication Conference, 2021, pp. 150–170
- Y.Zhou, L.Liu, L.Wang, N.Hui, X.Cui, J.Wu, Y.Peng, Y.Qi, C.Xing, “Service aware 6G : An intelligent and open network based on convergence of communication, computing and caching”, Digital Communications and Networks, Elsevier, (2020)

- Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional smart city development focus: The South Korean national strategic smart city program. IEEE Access. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047139>
- Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional smart city development focus: The South Korean national strategic smart city program. IEEE Access. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047139>
- Z. Allam, S. E. Bibri, D. S. Jones, D. Chabaud, and C. Moreno, "Unpacking the '15-Minute City' via 6G, IoT, and Digital Twins: Towards a New Narrative for Increasing Urban Efficiency, Resilience, and Sustainability," Sensors, vol. 22, no. 4, p. 1369, 2022
- Zhisheng Niu; Sheng Zhou; Noel Crespi, "Greening 6G," in Shaping Future 6G Networks: Needs, Impacts, and Technologies , IEEE, 2022, pp.39-53, doi: 10.1002/9781119765554.ch4.
- Zhongxin Ma, Fenglan Wu (2022) Smart City, Digitalization and CO2 Emissions: Evidence from 353 Cities in China Διαθέσιμο στο: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/225>
- Zhang, W.; Liu, X.M.; Wang, D.; Zhou, J.P. Digital economy and carbon emission performance: Evidence at China's city level. Energy Policy 2022, 165, 112927
- Zhou, J.; Lan, H.L.; Zhao, C.; Zhou, J.P. Haze pollution levels, spatial spillover influence, and impacts of the digital economy: Empirical evidence from China. Sustainability 2021, 13, 9076