ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ & ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (5G)

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΛΟΥΜΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Α.Μ 4558

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΟΛΙΟΥΣΚΑ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ

ΚΑΣΤΟΡΙΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2023

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε και θα αναπτύξουμε τη λειτουργία του νέου δικτύου 5G και τις σημαντικές επιρροές που αυτό μπορεί να επιφέρει στην καθημερινότητα μας. Αρχικά παρουσιάζονται οι ασύρματες τεχνολογίες που αποτελούν τον πυλώνα των τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια αναλύεται η πορεία και η μετάβαση από την 1η γενιά ασύρματων δικτύων μέχρι και την σημερινή εποχή , όπου βρισκόμαστε στο νέο δίκτυο 5G. Η τεχνολογία 5G πρόκειται να προσφέρει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, αξιόπιστη λειτουργία, εξοικονόμηση ενέργειας και δυνατότητα διασύνδεσης διαφόρων συσκευών σε ένα ενιαίο δίκτυο. Για την επίτευξη αυτών των χαρακτηριστικών, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν δίκτυα που θα είναι ικανά να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του νέου συστήματος τηλεπικοινωνιών. Επιπλέον, η πέμπτη γενιά τηλεπικοινωνιών αναμένεται να αλλάξει ριζικά πολλούς κλάδους όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ενέργεια, η γεωργία, η διαχείριση της πόλης, η υγειονομική περίθαλψη, η εκπαίδευση και θα σχεδιαστούν έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), ανοίγοντας έτσι νέους ορίζοντες για υπηρεσίες και εφαρμογές. Παρ' όλα αυτά, ο δρόμος προς την επίτευξη του οράματος 5G δικτύων είναι δύσκολος, καθώς χρειάζεται να ξεπεραστούν πολλά εμπόδια, προκειμένου οι στόχοι του 5G να πραγματοποιηθούν. Τέλος, δίνεται έμφαση στους κινδύνους που εγκυμονούν από τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αλλά και την εξέλιξη που αναμένεται να επιτευχθεί με τις νέες τεχνολογίες που το ανερχόμενο δίκτυο 6G θα ενσωματώνει.

Λέξεις κλειδιά: ασύρματα δίκτυα, κυψελωτά δίκτυα, τηλεπικοινωνίες, πέμπτη γενιά, κινητή τηλεφωνία

Abstract

In this work we will study and develop the operation of the new 5G network and the important influences that this may bring to our daily lives. First, the wireless technologies that form the pillar of telecommunications are presented. Then it analyzes the course and transition from the 1st generation of wireless networks up to the present day, where we are in the new 5G network. The 5G technology offers high data transmission speeds, reliable operation, energy efficiency and the ability to connect various devices into a unified network To achieve these characteristics, it is necessary to create networks capable of meeting the requirements of the new telecommunications system. In addition, the fifth generation of telecommunications is expected to radically change many sectors such as automotive, energy, agriculture, city management, healthcare, education and will be designed to be able to support the Internet of Things (IoT), opening up new horizons for services and applications. Nevertheless, the road to achieving the vision of 5G networks is difficult, as many obstacles need to be overcome in order for 5G's goals to be realized. Finally, emphasis is placed on the risks posed by fifth generation networks and the evolution that is expected to be achieved with the new technologies that the emerging 6G network will incorporate.

Keywords: wireless networks, cellular networks, telecommunications, fifth generation, mobile telephony

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **1**

ABSTRACT **2**

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ **6**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ **10**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ **12**

1.1 Ορισμός ασύρματου δικτύου 12
1.2 Ασύρματα Δίκτυα WPAN 12
1.2.1 Bluetooth 13
1.2.2 Bluetooth® Classic 13
1.2.3 Bluetooth® Low Energy (LE) 13
1.2.4 Zigbee 14
1.2.5 EnOcean 15
1.2.6 NFC (Near Field Communication - Επικοινωνία κοντινού πεδίου) 17
1.3 Ασύρματα Δίκτυα WLAN 18
1.3.1 Wi-Fi (Wireless Fidelity) 19
1.3.2 Li-Fi (Light Fidelity) 20
1.4 Ασύρματα Δίκτυα WMAN 21
1.4.1 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 22
1.5 Ασύρματα Δίκτυα WWAN 23
1.5.1 LoRa (Long Range) 24
1.5.2 LTE-M 24
1.5.3 Narrowband – Internet of Things (NB-IoT) 25
1.5.4 Sigfox 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ **28**

2.1 Η εξέλιξη των δικτύων και των κινητών επικοινωνιών 28
2.2 1G (1980) 1η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 30
2.3 2G (1991) 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας 31
2.4 3G (1999) 3η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 31
2.5 4G (2009) 4η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΩΝ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G) 34

3.1 Τρία τυπικά σενάρια 34
3.1.1 Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB) 34
3.1.2 Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) 34
3.1.3 Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) 35
3.2 Απαιτήσεις του ασύρματου δικτύου 5G 36
3.3 Σημαντικές τεχνολογίες του 5G 38
3.3.1 Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) 38
3.3.2 Χιλιοστομετρικά Κύματα (Millimeter Waves) 40
3.3.3 Διαμόρφωση δέσμης (Beamforming) 40
3.3.4 Τεμαχισμός δικτύου (Network slicing) 41
3.3.5 Multi-access Edge Computing (MEC) 41
3.3.6 Cloud radio access network (C-RAN) 42
3.3.7 Device-to-device (D2D) 42
3.3.8 Μαζικό διαδίκτυο των πραγμάτων – Massive Internet of Things (mIoT) 43
3.4 Προκλήσεις 44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G 45

4.1 Το 5G στην υγεία 48
4.1.1 Τηλεϊατρική 49
4.1.2 Τηλεχειρουργική 49
4.1.3 Συσκευές ελέγχου υγείας 50
4.2 Αυτόνομες υπηρεσίες 5G 50
4.2.1 Έξυπνες μεταφορές 50
4.3 Δημόσιες υπηρεσίες 5G 52
4.3.1 Δομική παρακολούθηση κτιρίων και υποδομών 52
4.3.2 Παρακολούθηση καταστροφών 53
4.4 Το 5G στην ψυχαγωγία και τα μέσα ενημέρωσης 54
4.4.1 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα στην ψυχαγωγία 55
4.4.2 Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα στην Πολιτιστική Κληρονομιά 56
4.5 Το 5G στην εκπαίδευση 56

4.5.1 Εκπαίδευση με εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) 57
4.5.2 Εκπαίδευση με επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality – AR) 58
4.5.3 «Έξυπνες» τάξεις και «έξυπνα» πανεπιστήμια 58
4.5.4 Άυλες σχολικές τάξεις 59
4.6 Το 5G στη βιομηχανία 60
4.6.1 Κατασκευαστική βιομηχανία 60
4.6.2 Έξυπνα εργοστάσια 61
4.7 Το 5G στην έξυπνη γεωργία 62
4.7.1 Χρήση UAV (Unmanned Aerial Vehicle - Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος) 63
4.7.2 Εικονική διαβούλευση και προληπτική συντήρηση 64
4.7.3 Επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα στην γεωργία 65
4.7.4 Ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη 66
4.8 Το 5G στις έξυπνες πόλεις 67
4.8.1 Έξυπνο δίκτυο (Smart Grid) 68
4.8.2 Έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο 70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ 5G 72

5.1 Βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας 72
5.2 Ανησυχίες για την ασφάλεια 5G 74
5.3 Σκοπός του 6G 77
5.4 Δυνατότητες του 6G 79
5.5 Βασικές υπηρεσίες του 6G 80
5.5.1 Τεχνολογία XR (Extended Reality - Διευρυμένη πραγματικότητα) 80
5.5.2 Κινητό ολόγραμμα υψηλής πιστότητας 81
5.5.3 Ψηφιακό αντίγραφο 82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 84

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 85

Ακρωνύμια

1G: 1th Generation Mobile Network

2G: 2th Generation Mobile Network

3G: 3th Generation Mobile Network

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

5G PPP: 5G Infrastructure Public Private Partnership

4G: 4th Generation Mobile Network

5G: 5th Generation Mobile Network

6G: 6th Generation Mobile Network

AR: Augmented Reality

AMPS: Advanced Mobile Phone System

AI: Artificial Intelligence

bps: bytes per second

BS: Base Station

CDMA: Code Division Multiple Access

C-RAN: Cloud Radio Access Network

CSS: Chirp Spread Spectrum

C-V2X: Cellular Vehicle to Everything

D2D: Device to Device

DBPSK: Differential Binary Phase Shift Keying

EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution

EMBB: Enhanced Mobile Broadband

ETSI: European Telecommunication Standard Institute

GPS: Global Positioning System

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile

HD: High Definition

HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access

HSUPA: High-Speed Uplink Packet Access

ICNIRP: International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection -

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT: Internet of Things

IMT-Advanced: International Mobile Telecommunications-Advanced

IP: Internet Protocol

ITU-R: International Telecommunication Union

LaaS: Licensing-as-a-Service

LPWAN: Low Power Wide Area Networks

LTE: Long Term Evolution

LTE-A Long Term Evolution Advanced

MEC: Multi-access Edge Computing

MR: Mixed Reality

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MMTC: Massive Machine-Type Communications

M2M: Machine to Machine

MMS: Multimedia Messaging Service

mmWave: Millimeter Wave

MHz: Mega Hertz

NMT: Nordic Mobile Telephone

NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

FDMA: Frequency division multiple access

P2P: Point to Point

PSM: Power Saving Mode

QoS: Quality of Services

RAT: Radio Access Technology

RF: Radio Frequency

RFID: Radio Frequency Identification

RSU: Road Side Units

SAR: Specific Energy Absorption Rate

SMS: Short Message Service

TACS: Total Access Communication System

TDMA: Time Division Multiple Access

THz: Tera Hertz

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

UHD: Ultra High Definition

URRLC: Ultra Reliable Low Latency Communications

VLC: Visible Light Communication

VR: Virtual Reality

VoLTE: Voice over Long-Term Evolution

KPI: Key Performance Indicators

XR: Extended Reality

Wi-Fi: Wireless Fidelity

WLAN: Wireless Local Area Network

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network

WPAN: Wireless Personal Area Network

WRC: World Radiocommunication Conference

WWAN: Wireless Wide Area Network

Εισαγωγή

Η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων ήταν πάντα σημαντική από την εποχή της ανθρωπότητας. Η επικοινωνία αναφέρεται στη μεταφορά πληροφοριών από ένα σημείο σε ένα άλλο μέσω διαδικασιών. Σε περιπτώσεις όπου η μεταφορά πληροφοριών απαιτεί μεγάλες αποστάσεις, δημιουργήθηκαν οι τηλεπικοινωνίες. Ο όρος «τηλεπικοινωνίες» αναφέρεται στη μετάδοση πληροφοριών ανάμεσα σε δύο σημεία που απέχουν κάποια απόσταση, όπως υποδηλώνει το πρόθεμα "τηλέ-", που σημαίνει μεγάλη απόσταση. Η κινητή τηλεφωνία και τα ασύρματα συστήματα δικτύων επαναστάτησαν στις τηλεπικοινωνίες και αναδείχθηκαν ως ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στην κοινωνία και την οικονομία σε όλο τον κόσμο. (Μήτρος, 2021, σσ. 11-14). Από την αρχαιότητα ακόμα, η αναγκαιότητα χρήσης της ασύρματης επικοινωνίας ωθούσε τον πολιτισμό κάθε κοινωνίας στην ανακάλυψη διάφορων μέσων όπως για παράδειγμα τα σήματα καπνού, η ανάκλαση φωτός με κάτοπτρα, η χρήση ταχυδρομικών περιστεριών για αποστολή μηνυμάτων, θεωρούνται ως βασική αφετηρία της ασύρματης επικοινωνίας (Αϊφωτίτης & Θεοδοσίου, 2021, σσ. 1). Πρώτος ο Ιταλός φυσικός Γουλιέλμο Μαρκόνι με την ανακάλυψή του κατόρθωσε να βάλει στη ζωή μας τις ασύρματες επικοινωνίες. Καθώς κατάφερε να επικοινωνήσει με την εκπομπή ραδιοκυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις, τον γνωστό τηλέγραφο, χρησιμοποιώντας κώδικα Morse. Όσο προοδεύει η τεχνολογία άλλο τόσο πολλαπλασιάζεται η ανάγκη για επικοινωνία. Καθώς περνά ο χρόνος, οι χρήστες έχουν αυξανόμενη ανάγκη για ασύρματη επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων, ειδικά με την ανάπτυξη φορητών συσκευών. Αυτό οδήγησε σε συνεχή εξέλιξη των ασύρματων τεχνολογιών, με στόχο τη δημιουργία και ανάπτυξη της 5ης γενιάς ασύρματων δικτύων. Η ανάπτυξη αυτή αποτελεί ανταπόκριση στην αυξανόμενη ζήτηση για υψηλής ταχύτητας ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο και την ανάγκη για αξιόπιστη και γρήγορη μεταφορά δεδομένων (Αϊφωτίτης & Θεοδοσίου, 2021, σσ. 1). Η σημαντική και πρωτεύουσα ανάγκη για συνδεσιμότητα υψηλής ποιότητας είναι ένας βασικός λόγος για αυτήν την αλλαγή, καθώς η ζήτηση για χωρητικότητα και κάλυψη των κινητών δικτύων συνεχίζει να αυξάνεται. Το (4G) LTE έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα να έχει φτάσει στην ωρίμανσή του. Από τη στιγμή που μικρές βελτιώσεις και λιγοστές ποσότητες νέου φάσματος μπορούν να εκχωρηθούν, είναι εύλογο για την επιστημονική κοινότητα να αναρωτηθεί τι θα γίνει στο απώτερο μέλλον. Με μια ανασκόπηση στο πρόσφατο παρελθόν, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ανά δεκαετία οι τεχνολογίες

κινητών δικτύων προοδεύουν και μεταβάλλονται. Έτσι λοιπόν, το 5G δεν είναι πλέον μια απλή καινοτομία και δεν σχετίζεται μόνο με επιστημονικά και ερευνητικά ιδρύματα, καθώς είναι πλέον μια πραγματικότητα που έχει αρχίσει να εφαρμόζεται σε πολλές πόλεις και χώρες κατά τα πρώτα χρόνια της τρίτης δεκαετίας του 21ου αιώνα. Παράλληλα, με δυναμικότητα εισέρχονται στο επόμενο στάδιο, πολυάριθμες νέες συσκευές και εφαρμογές τελικού χρήστη όπου αξιοποιούν στον μέγιστο βαθμό τα τεχνολογικά οφέλη που παρέχει το 5G, ενώ παράλληλα οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας ανά την υφήλιο εξακολουθούν να αναπτύσσουν την τεχνολογία 5G. Καθώς η κοινωνία μεταμορφώνεται ραγδαία, καθίσταται σαφές ότι τα κυψελοειδή δίκτυα είναι μια ουσιαστική υποδομή που θα συνεχίσει να υποστηρίζει πολλές εκφάνσεις της καθημερινότητάς μας. Στη σύγχρονη εποχή, οι περισσότεροι χρήστες χρησιμοποιούν το διαδίκτυο (internet) παντού. Δεν είναι λίγα τα περιστατικά, που άτομα συνεργάζονται από απόσταση και παρέχουν είτε αξιοποιούν διαφορετικές δικτυακές υπηρεσίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το ηλεκτρονικό εμπόριο, το e-banking, η εργασία εξ αποστάσεως, η ηλεκτρονική μάθηση κλπ. Με την ανάπτυξη του 5G, τέτοιου τύπου εφαρμογές θα υλοποιούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και αποτελεσματικότητα, δίχως προβλήματα στη συνδεσιμότητα. Το πιο σημαντικό όμως, είναι οι νέοι τύποι εφαρμογών που θα προκύψουν με τη χρήση του 5G, με παραδείγματα όπως αυτά της επαυξημένης πραγματικότητας, της τηλεϊατρικής, των αυτόνομων οχημάτων, και άλλων εφαρμογών που θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια της παρούσας εργασίας. Επίσης επισημαίνονται και ανοικτά προς διερεύνηση θέματα καθώς και μελλοντικές καινοτόμες τεχνολογίες, οι οποίες βρίσκονται σε εξέλιξη και αφορούν δίκτυα 6ης γενιάς. Επομένως, η τεχνολογία 5G αποτελεί ένα σημαντικό θέμα έρευνας στον τομέα των κινητών επικοινωνιών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη διεξοδική ανάλυση και παρουσίαση της τεχνολογίας 5G, καθώς και της απήχησης που θα έχει στο κοινωνικό σύνολο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, θα γίνει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην οποία θα αξιοποιηθούν ελληνικές, διεθνείς και διαδικτυακές πηγές. Στο πλαίσιο αυτό, θα εξεταστούν το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της τεχνολογίας 5G, καθώς και οι επιδράσεις στον κοινωνικό και οικονομικό τομέα (Μήτρος, 2021, σσ. 11-14).

Κεφάλαιο 1 - Ασύρματες Τεχνολογίες

1.1 Ορισμός ασύρματου δικτύου

Η ασύρματη επικοινωνία είναι ένα δίκτυο, όπου η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των χρηστών και των δομικών στοιχείων του δικτύου μπορεί να πραγματοποιηθεί εντελώς ή εν μέρει χωρίς τη χρήση καλωδίων. Στα ασύρματα δίκτυα οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω ραδιοκυμάτων. Στις αρετές τους κατατάσσονται και η ευελιξία τους αφού από τη μια πλευρά δεν απαιτούνται καλώδια για τη σύνδεση τερματικών και από την άλλη πλευρά καθίσταται δυνατή η χρήση τους κατά την διάρκεια που οι χρήστες βρίσκονται εν κινήσει. Στα ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνονται διάφορες κατηγορίες, όπως των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, των δορυφορικών επικοινωνιών, των ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (WMAN), των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), των ασύρματων προσωπικών δικτύων (WPAN) και των ασύρματων δικτύων ευρείας περιοχής (WWAN) (Αντωνίου, 2019, σσ. 15).

1.2 Ασύρματα Δίκτυα WPAN

Χάρη σε αυτά τα δίκτυα (Wireless Personal Area Network) μεταφέρονται πληροφορίες και δεδομένα μεταξύ μικρών αποστάσεων ανάμεσα στα μέλη των ομάδων που τα χρησιμοποιούν. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να συνδεθούν με πλατφόρμες (cloud - νέφος) μέσω μιας κεντρικής συσκευής ή ενός διακομιστή. Τα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων είναι η χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, ενώ χαμηλή εξίσου είναι και η αποδοτικότητα τους αναφορικά με την ισχύ τους. Επιπλέον η χρήση τους αρκείται σε μικρές αποστάσεις και αποτελούν μια προσιτή, οικονομικά, επιλογή για τους χρήστες. Στις σημαντικότερες τεχνολογίες WPAN συμπεριλαμβάνονται τα Zigbee, Bluetooth, Enocean (Chaudhari, Zennaro & Borkar, 2020: 46).

1.2.1 Bluetooth

Μία ασύρματη τεχνολογία αποτελεί το Bluetooth το οποίο εφευρέθηκε το 1994 από τον Σουηδό L. M. Ericsson. Το πρότυπο πήρε το όνομά του Harald Blaatand «Bluetooth» II, βασιλιά της Δανίας 940–981 μ.Χ. Η ομάδα που δημιουργήθηκε για να ασχοληθεί με το Bluetooth (SIG), συστήθηκε με πρωτοβουλία των εταιριών της Ericsson, IBM, Intel, Nokia και Toshiba τον Φεβρουάριο του 1998 ώστε να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την επίτευξη ασύρματης συνδεσιμότητας κοντινών αποστάσεων (Sairam, Gunasekaran, & Redd, 2002: 90-96).

1.2.2 Bluetooth® Classic

Το ραδιόφωνο Bluetooth Classic, που αναφέρεται ως Βασικός Ρυθμός/Βελτιωμένος Ρυθμός Δεδομένων Bluetooth (BR/EDR), είναι ένα ραδιόφωνο χαμηλής ισχύος. Καταφέρνει να μεταδώσει δεδομένα σε 79 κανάλια στη ζώνη συχνοτήτων βιομηχανικής, επιστημονικής και ιατρικής (ISM) χωρίς άδεια στα 2,4 GHz. Με το Bluetooth Classic ενεργοποιείται η ροη ήχου ασύρματα δίχως δηλαδή την πρόσθετη χρήση καλωδίων. Αυτό το γεγονός καθιστά το Bluetooth ιδιαίτερα δημοφιλές αναφορικά με ασύρματα ηχεία και τα ακουστικά συστήματα ψυχαγωγίας του ραδιοφώνου στο αυτοκίνητο. Με το ραδιόφωνο Bluetooth Classic είναι εφικτή επίσης η μεταφορά δεδομένων καθώς και της εκτύπωσης από συσκευές.[1]

1.2.3 Bluetooth® Low Energy (LE)

Το ραδιόφωνο Bluetooth Low Energy (LE) έχει σχεδιαστεί για λειτουργία πολύ χαμηλής ισχύος. Μεταδίδοντας δεδομένα σε περισσότερα από 40 κανάλια στη ζώνη συχνοτήτων ISM χωρίς άδεια 2,4 GHz, το ραδιόφωνο Bluetooth LE παρέχει στους προγραμματιστές τεράστια ευελιξία για την κατασκευή προϊόντων που πληρούν τις μοναδικές απαιτήσεις συνδεσιμότητας της αγοράς τους. Το Bluetooth LE υποστηρίζει πολλαπλές τοπολογίες επικοινωνίας, που επεκτείνονται από σημείο σε σημείο, σε εκπομπή και πιο πρόσφατα σε πλέγμα, επιτρέποντας στην τεχνολογία Bluetooth να υποστηρίζει τη δημιουργία αξιόπιστων δικτύων συσκευών μεγάλης κλίμακας. Ενώ αρχικά ήταν γνωστό για τις δυνατότητες επικοινωνίας συσκευών του, σήμερα είναι

διαδεδομένη η χρήση του Bluetooth LE για να εντοπίζει τις θέσεις των συσκευών ενώ παράλληλα προσφέρει υπηρεσίες ώστε να εντοπίζεται μια θέση σε κλειστούς χώρους με ακρίβεια. Το Bluetooth LE περιλαμβάνει πλέον λειτουργίες που επιτρέπουν σε μια συσκευή να προσδιορίζει την παρουσία, την απόσταση και την κατεύθυνση μιας άλλης συσκευής.[1]

Εικόνα 1: Λογότυπο Bluetooth (https://www.bluetooth.com)

1.2.4 Zigbee

Υπάρχουν διάφοροι ασύρματοι έλεγχοι και εφαρμογές παρακολούθησης σε οικιακά περιβάλλοντα και βιομηχανίες που χρειάζεται χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και χαμηλότερη πολυπλοκότητα από τα υπάρχοντα πρότυπα. Για τέτοιους τύπους ασύρματων εφαρμογών, έχει αναπτυχθεί ένα νέο πρότυπο από το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) που ονομάζεται IEEE 802.15.4. ή ZigBee. Επιπλέον, για να εκπληρώσει την απαίτηση του σε κατανάλωση χαμηλής ισχύος και χαμηλής ταχύτητας σε ασύρματη σύνδεση συσκευές επικοινωνίας, μια νέα ασύρματη τεχνολογία ZigBee έρχεται σύμφωνα με την απαίτηση του χρόνου (Kaushal, Kaur & Kaur, 2014: 7752-7755).

Ο ZigBee έχει χαμηλό κόστος, χαμηλή πολυπλοκότητα και χαμηλή ισχύ τεχνολογίας που παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν πιο ωφέλιμη τη χρήση τους στις εφαρμογές του κλάδου.

[1] https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/ (πρόσβασή στίς 20 Νοεμβρίου 2022)

Τα χαρακτηριστικά του ZigBee δίνονται ως εξής:

- Το ZigBee δημιουργείται από τη ZigBee Alliance.
- Προσφέρει πλήρη δικτύωση ασύρματου πλέγματος.
- Υποστηρίζει περίπου 65.000 συσκευές σε ένα δίκτυο.
- Σχεδιασμένο να συνδέει την πολύ μεγάλη γκάμα των συσκευών σε έναν κλάδο σε ένα ενιαίο δίκτυο.
- Προσθέτει επίπεδο δικτύου, επίπεδα ασφαλείας και ένα πλαίσιο εφαρμογής για την ενίσχυση του προτύπου IEEE 802.15.4.
- Λειτουργεί διεθνώς στη ζώνη συχνότητας των 2,4 GHz σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4.
- Έχει περιφερειακή λειτουργία ζωνών στα 915 MHz (Αμερική) και 868 MHz (Ευρώπη).
- Απορροφά χαμηλή ισχύ για όλες τις κατηγορίες συσκευών.
- Το ZigBee έχει διάφορες επιλογές μετάδοσης όπως αναμετάδοση.
- Διαθέτει μηχανισμό δημιουργίας κλειδιών ασφαλείας και αυτό χρησιμοποιεί το σύστημα ασφαλείας AES-128.
- Υποστηρίζει πρότυπα όπως το δημόσιο προφίλ εφαρμογών ή κατασκευαστικό προφίλ εφαρμογών.

(Kaushal, Kaur & Kaur, 2014: 7752-7755).

Εικόνα 2: Λογότυπο zigbee (https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/)

1.2.5 EnOcean

Το EnOcean είναι μία από τις νεότερες τεχνολογίες στον οικιακό αυτοματισμού, με κύριο στόχο τη μηδενική κατανάλωση ενέργειας μέσω της συλλογής ενέργειας. Το

πλεονέκτημα του EnOcean είναι ότι μπορεί και βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς τη χρήση μπαταρίας και παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μικρομετατροπέων ενέργειας μαζί με ηλεκτρονικά συστήματα εξαιρετικά χαμηλής ισχύος. Στα πρώτα σχέδια των συσκευών EnOcean γινόταν χρήση πιεζοηλεκτρικών γεννητριών οι οποίες, κατόπιν αντικαταστάθηκαν από ηλεκτρομαγνητική πηγή ενέργειας. Το θετικό στοιχείο σχετικά με την δυνατότητα αυτοτροφοδότησής τους είναι ότι η συντήρησή που απαιτείται για αυτές είναι σχεδόν μηδαμινή. Αναφορικά με τις ραδιοπαρεμβολές αυτές είναι αμελητέες καθώς οι EnOcean συσκευές λειτουργούν στη ζώνη των 315 MHz η οποία δεν χρησιμοποιείται τόσο, όσο άλλες. (Withanage, Ashok, Yuen & Otto, 2014: 600-605).

Το ραδιοπρότυπο EnOcean είναι διεθνώς τυποποιημένο ως ISO (the International Organization for Standardization) και IEC (the International Electrotechnical Commission) ISO/IEC 14543-3-10 και μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί παντού όπως στο Wi-Fi ή το Bluetooth. Είναι ειδικά βελτιστοποιημένο για ασύρματες λύσεις και καταναλώνει χαμηλή ενέργεια την οποία και συγκομίζει. Όσον αφορά τα τηλεγραφήματα το πιο σύντομο διαρκεί περίπου ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου σε ρυθμό δεδομένων 125kbit/s. Η επανάληψή τους είναι συχνή μέσα σε 40 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Το γεγονός ότι η αποστολή τους είναι σποραδική, έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή συγκρούσεων τους και ως εκ τούτου λειτουργούν ταυτόχρονα άφθονοι διακόπτες και αισθητήρες χωρίς προβλήματα. Κάθε ραδιομονάδα EnOcean διαθέτει έναν αριθμό αναγνώρισης 32 bit που προσφέρει υψηλή αξιοπιστία στη μετάδοση δεδομένων. Η εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας είναι έως 300 μέτρα υπαίθρια και περίπου 30 μέτρα σε κτίρια. Το πρότυπο χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 868 MHz στην Ευρώπη, 902 MHz στη Βόρεια Αμερική και 928MHz στην Ιαπωνία. Ταυτόχρονα, ξεχωρίζει και για μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως το ότι αυτά τα ραδιοκύματα μπορούν εύκολα να διαπεράσουν τοίχους και προσφέρουν ισχυρή ισχύ μετάδοσης, ενώ η ακτινοβολία υψηλής συχνότητας είναι 100 φορές χαμηλότερη από ό,τι στις κλασικές ενσύρματες επιλογές. Ως φορέας προώθησης αυτού του προτύπου, η EnOcean Alliance προσφέρει ένα διαλειτουργικό οικοσύστημα με περισσότερες από 1.500 συσκευές από 400 μέλη που βασίζονται στο ανοικτό ασύρματο πρότυπο EnOcean. Η διαλειτουργική ασύρματη τεχνολογία EnOcean επιτρέπει τη γρήγορη και απλή, "peel and stick"

εγκατάσταση αισθητήρων, διακοπτών και άλλων συσκευών τελευταίας τεχνολογίας που τροφοδοτούνται με ενέργεια [2].

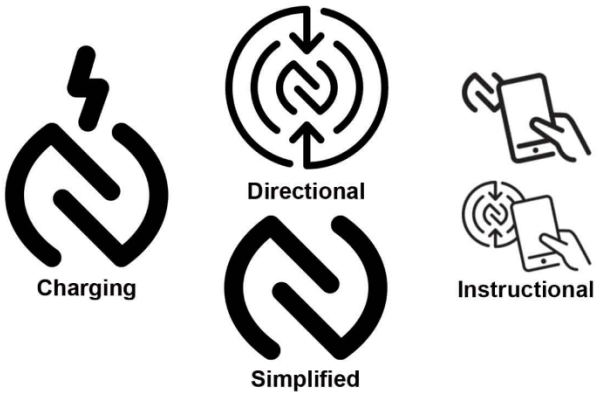
Εικόνα 3: Λογότυπο enocean (https://www.enocean.com/en/technology/radio-technology/)

1.2.6 NFC (Near Field Communication - Επικοινωνία κοντινού πεδίου)

Το Near Field Communication, NFC- είναι μια από τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Στα θετικά στοιχεία του NFC συγκαταλέγεται η παροχή ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρονικών μηχανημάτων (gadget). Οι συσκευές που διαθέτουν τη δυνατότητα του NFC επιτρέπουν στους χρήστες τους να τις κατευθύνουν ή να αγγίζουν με άλλες συσκευές που έχουν εξίσου τη δυνατότητα NFC για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ετσι με την τεχνολογία NFC, η επικοινωνία καθίσταται επιτυχής όταν μια συσκευή συμβατή με NFC βρίσκεται σε κοντινή απόσταση σε σχέση με μια άλλη, περίπου 20 cm θεωρητικά (4 cm είναι πρακτικά). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποτροπή υποκλοπών στις συναλλαγές με συσκευές που διαθέτουν τη δυνατότητα του NFC. Η τεχνολογία NFC εξετάζει ακόμη και πολλά καινούρια σχέδια χρήσης για κινητές συσκευές. Κάτι εξίσου αξιοπρόσεκτο αποτελεί και το γεγονός ότι η τεχνολογία NFC λειτουργεί με βάση την τεχνολογία RFID η οποία αξιοποιεί την επαγωγή μαγνητικού πεδίου για την εκκίνηση επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών σε κοντινή απόσταση. Το NFC λειτουργεί στα 13,56 MHz και διακρίνεται για την ανώτατη ταχύτητα μεταφοράς

[2] https://www.enocean.com/en/technology/radio-technology/ (πρόσβαση: 6 Φεβρουαρίου 2023)

δεδομένων 424 kbps. Το NFC συμπληρώνει το Bluetooth και το 802.11 με τις δυνατότητες μεγάλων αποστάσεων. Στον τρόπο που λειτουργεί η κάρτα εξομοίωσης, οι συσκευές NFC έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ένα μοντέλο έξυπνης κάρτας ανέπαφων/ασύρματου. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στα έξυπνα τηλέφωνα να αντικαθιστούν τις παραδοσιακές πλαστικές κάρτες για σκοπούς έκδοσης εισιτηρίων, πληρωμής κλπ. Η κοινή χρήση αρχείων μεταξύ τηλεφώνων, η ανακάλυψη υπηρεσιών, δηλαδή η λήψη πληροφοριών αγγίζοντας με τα έξυπνα τηλέφωνα κλπ. Είναι μερικές ακόμη από τις δυνατότητες του (Rahul, Rao & Raghu, 2015: 133).



Εικόνα 4: Λογότυπα NFC (https://nfc-forum.org/)

1.3 Ασύρματα Δίκτυα WLAN

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλοντα κατοικιών, πανεπιστημιουπόλεων και δρόμων καθώς και για εφαρμογές κοινής ωφέλειας και έξυπνων δικτύων. Με τη βοήθειά τους ανταλλάσσονται δεδομένα υψηλής ταχύτητας μεταξύ των συσκευών καλύπτοντας μια περιοχή αρκετών εκατοντάδων μέτρων όπως για παράδειγμα μιας πανεπιστημιούπολης. Οι τεχνολογίες WLAN περιλαμβάνουν τις διάφορες εκδοχές του προτύπου IEEE 802.11.Παράλληλα με το WLAN υπάρχει και το WNAN (ασύρματο δίκτυο γειτονιάς) το οποίο αποτελεί ένα εξίσου βολικό σύστημα για ευρυζωνικές ασύρματες εφαρμογές τοπικής εμβέλειας

καλύπτοντας ανάγκες λίγο μικρότερες από τις ανάγκες ενός μητροπολιτικού δικτύου. (Chaudhari et al., 2020: 46).

1.3.1 Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Για δύο δεκαετίες το Wi-Fi άλλαξε τον τρόπο λειτουργίας και επικοινωνίας του κόσμου. Η τεχνολογία Wi-Fi, που βασίζεται στο πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας 802.11 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), βελτιώνεται συνεχώς, με κάθε γενιά να φέρνει μεγαλύτερες ταχύτητες, χαμηλότερους χρόνους απόκρισης και καλύτερες εμπειρίες χρήστη σε πολλά περιβάλλοντα και σε μια ποικιλία από διαφορετικούς τύπους συσκευών. Το Wi-Fi είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών. Ο όρος Wi-Fi, αναπτύχθηκε από την Wi-Fi Alliance για την περιγραφή προϊόντων που συνδέονται σε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) και που βασίζονται στα πρότυπα που έχει θέσει το IEEE 802.11. Αρωγός των χρηστών στον εντοπισμό συσκευών που διαθέτουν την πιο πρόσφατη εμπειρία Wi-Fi, αποτελεί η Wi-Fi Alliance. Αυτή έχει χρησιμοποιήσει απλοποιημένα ονόματα για κάθε νέα γενιά συσκευών όπως φαίνεται στην εικόνα 5, που παράλληλα εμφανίζονται και στα ονόματα συσκευών και στις περιγραφές των προϊόντων [3].

Generational name	Technology supported
Wi-Fi 7	802.11be (in development)
Wi-Fi 6	802.11ax
Wi-Fi 5	802.11ac
Wi-Fi 4	802.11n

Εικόνα 5: Απλοποιημένα ονόματα γενεών (https://www.wi-fi.org/)

[3] https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi (πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2022)

1.3.2 Li-Fi (Light Fidelity)

Το Li-Fi είναι η μετάδοση δεδομένων μέσω φωτισμού. Χάρη στις οπτικές ίνες, στέλνονται δεδομένα μέσω ενός LED (light emitting diode) λαμπτήρα που μεταβάλλεται σε ένταση ταχύτερη από αυτήν που το ανθρώπινο μάτι μπορεί να ακολουθήσει. Το Li-Fi είναι ο όρος που κάποιοι έχουν χρησιμοποιήσει για να χαρακτηρίσουν το γρήγορο και φθηνό σύστημα ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο είναι η οπτική εκδοχή του Wi-Fi. Το φως φτάνει σχεδόν παντού, οπότε η επικοινωνία μπορεί επίσης να συμβαδίζει με το φως εύκολα. Η Li-Fi είναι ένας κλάδος της οπτικής ασύρματης επικοινωνίας που είναι μια καινούρια τεχνολογία. Η τεχνολογία Li-Fi παρέχει μετάδοση δεδομένων μέσω φωτισμού, στέλνοντας δεδομένα μέσω ενός λαμπτήρα LED που μεταβάλλεται σε ένταση γρηγορότερα από αυτήν που το ανθρώπινο μάτι μπορεί να ακολουθήσει. Η διαφορά του Wi-Fi είναι ότι αποτελεί ιδανική επιλογή για ευρύτερη ασύρματη κάλυψη μέσα στα κτήρια σε αντίθεση με το Li-Fi που θεωρείται ότι εξυπηρετεί για ασύρματη κάλυψη δεδομένων υψηλής πυκνότητας σε περιορισμένο χώρο και για την αποφυγή προβλημάτων λόγω ραδιοπαρεμβολών. Επιπλέον το Li-Fi προσφέρει καλύτερης ποιότητας ευρυζωνικότητα, αποδοτικότητα, μεγάλη διαθεσιμότητα και υψηλότερη ασφάλεια από το Wi-Fi και έχει ήδη επιτύχει εκπληκτικά υψηλές ταχύτητες σε εργαστηριακές συνθήκες (Karthika & Balakrishnan, 2015: 32-40).

Σύμφωνα με τον Harald Haas (2016) η LiFi είναι μια ανατρεπτική τεχνολογία που είναι έτοιμη να επηρεάσει πολλούς τομείς της βιομηχανίας. Στα πλεονεκτήματα του LiFi μπορεί να συμπεριληφθεί η δυνατότητά του να ξεκλειδώσει το IoT, να προωθήσει εφαρμογές στη βιομηχανία 4.0, όπως το φως υπό την μορφή υπηρεσίας Licensing-as-a-Service (LaaS). Αξιόλογη είναι και η συμβολή του ακόμη και στην 5η γενιά κυψελοειδών συστημάτων (5G) και πέραν αυτής ενώ καλοδεχούμενος αποτελεί και ο σχεδιασμός νέων έξυπνων συστημάτων μεταφοράς. Καθοριστικής σημασίας αποτελεί εξίσου και η συμβολή του στην οδική ασφάλεια καθώς στο μέλλον προβλέπεται η ύπαρξη ολοένα και περισσότερων αυτοκινούμενων οχημάτων, ενώ η δυνατότητα του να δημιουργήσει νέα ασύρματα δίκτυα με ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και να προχωρήσει έτσι σε νέες μεθόδους παρακολούθησης της υγείας των γηρασκόντων κοινωνιών, αυτό προσφέρει πρωτοπόρες λύσεις ώστε να κλείσει το ψηφιακό χάσμα. Το

LiFi θα αποβεί σημαντικό επειδή χάρη σε αυτό θα συγχωνευθούν οι βιομηχανίες των ασύρματων επικοινωνιών με αυτήν του φωτισμού. Σε 25 χρόνια από τώρα ο λαμπτήρας LED θα χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες εφαρμογές και θα συνιστά κομμάτι των έξυπνων πόλεων, των έξυπνων σπιτιών και των IoT. Το LaaS θα κυριαρχεί στον κλάδο του φωτισμού, δίνοντας παράλληλα τις κατευθυντήριες γραμμές σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα όταν οι λαμπτήρες LED θα έχουν διάρκεια ζωής πολύ μεγαλύτερη από ότι τώρα. Το LaaS σε συνδυασμό με το LiFi θα παρέχει, επομένως, έναν οδηγό για τις επιχειρήσεις σύμφωνα με την «έλξη» όπως τη βιομηχανία φωτισμού ώστε η συγκεκριμένη να εισέλθει σε μια αγορά που παραδοσιακά ήταν μια αγορά που αφορούσε τις ασύρματες επικοινωνίες (Haas, 2016: 680-681).

Εικόνα 6: Λογότυπο Li Fi (https://lifi.co/)

1.4 Ασύρματα Δίκτυα WMAN

Τα δίκτυα Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) παρέχουν υπηρεσίες σε μητροπολιτικές ή περιφερειακές περιοχές με ακτίνα κάλυψης έως 50 χιλιομέτρων. Γίνεται να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση WLANs/WPANs και να παρέχουν πρόσβαση σε δεδομένα, φωνής, βίντεο και υπηρεσίες πολυμέσων. Μολονότι τα WMAN καλύπτουν ολόκληρη την πόλη, μπορούν να είναι και μικρότερα καλύπτοντας για παράδειγμα μια πανεπιστημιούπολη ή μια ομάδα κτιρίων. Τα WMAN υπάγονται σε έναν φορέα εκμετάλλευσης δικτύου ή σε έναν πάροχο υπηρεσιών, σε πολλές

περιπτώσεις αποτελούν ασύρματη επέκταση των υπηρεσιών που παρέχονται από ενσύρματους ή ασύρματους φορείς (Ghetie, 2008: 172-190).

1.4.1 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Μια άλλη τεχνολογία ασύρματου δικτύου είναι το πρότυπο 802.16, πιο γνωστό ως WiMAX. Η IEEE ενέκρινε τα πρότυπα 802.16 τον Ιούνιο του 2004. Αυτή η τεχνολογία υποστηρίζει ταχύτητες έως και 70 Mbps και αυτονομία έως 48 χιλιόμετρα. Το WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ασύρματη δικτύωση όπως το δημοφιλές Wi-Fi. Επιπλέον επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, παρέχει αποτελεσματική χρήση ευρυζωνικότητας, ενώ αποφεύγει τις παρεμβολές σχεδόν στο ελάχιστο. Επομένως, θα ήταν εύλογο να χαρακτηριστεί δυνητικά εν μέρει διάδοχος του Wi-Fi πρωτοκόλλου. Οι σημερινοί τεχνολόγοι πάντως προσβλέπουν σε έναν δέκτη WiMAX εγκατεστημένο στο σπίτι ενός ατόμου, με πομπό WiFi για την οικιακή εξυπηρέτηση με συνδέσεις, και σε βάθος χρόνου την ύπαρξη φορητών υπολογιστών και προσωπικών συσκευών με δυνατότητα απευθείας μετάδοσης σε πύργους WiMAX. Η τεχνολογία WiMAX καθιστά επίσης δυνατή την πανταχού παρούσα πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το WiMAX, που λειτουργεί σε συγκρίσιμες αποστάσεις με το κινητό τηλέφωνο, μπορεί να εγκατασταθεί σε πύργους κινητής τηλεφωνίας και να επιτρέπει τη πρόσβαση στα δεδομένα του διαδικτύου σε όσες περιοχές υπάρχει πρόσβαση και μέσω κινητού τηλεφώνου. Αυτή η τεχνολογία παρέχει μια νέα διάσταση στις δυνατότητες των παρόχων δικτύου, καθώς προσφέρουν στους χρήστες ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο, ακόμη και κατά τη διάρκεια ταξιδιών (Sidhu, Bhavneet, Hardeep & Chhabra, 2007: 308-313).

Εικόνα 7: Λογότυπο WiMAX (https://wimaxforum.org/)

1.5 Ασύρματα Δίκτυα WWAN

Χάρη στα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής WWAN καλύπτονται ακόμη πιο εκτεταμένες περιοχές σε σύγκριση με τα WLAN και τα WNAN. Οι απαιτήσεις αναφορικά με τις εφαρμογές διαφέρουν τόσο ως προς την κάλυψη ,τους ρυθμούς δεδομένων όσο και ως προς την αποδοτικότητα ισχύος, τις δυνατότητες κλιμάκωσης, την επαναχρησιμοποίση πόρων. Τα WWAN γενικά μπορούν να διακριθούν σε κυψελοειδή δίκτυα και LPWAN. Ο σχεδιασμός των κυψελοειδών δικτύων όπως και των 3G και 4G, εξυπηρετεί κυρίως τη μεταφορά δεδομένων με υψηλό ρυθμό σε μια ακτίνα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Αυτά τα δίκτυα ενισχύουν την κινητικότητα και ως εκ τούτου, παρέχεται εκτεταμένη πέραν της εμβέλειας μιας κυψέλης με τη χρήση μηχανισμών μεταπομπής (Chaudhari et al., 2020: 46).

Τα LPWAN είναι οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που ο σχεδιασμός τους επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ μακρινών αποστάσεων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, διασύνδεση χαμηλού κόστους και σχετικά χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit για εφαρμογές IoT και για μηχανή σε μηχανή Machine to Machine (M2M). Το LPWAN αποτελεί σημαντικό τμήμα των εφαρμογών που βασίζονται στο IoT. Αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες γιατί ξεχωρίζουν για την εκτενή κάλυψη αποστάσεων ενώ ταυτόχρονα συγκρατούν το κόστος και την κατανάλωση της ενέργειας. Υπολογίζεται ότι περίπου το 25% των συνολικών συσκευών IoT/M2M θα επιτυγχάνει τη σύνδεση στο διαδίκτυο με τη χρήση είτε ιδιόκτητων είτε τυποποιημένων μορφών τεχνολογιών LPWAN. Σχετικά με τις λύσεις που προσφέρει το LPWAN, αυτές περικλείουν έναν τεράστιο αριθμό τελικών συσκευών που μπορούν να είναι ανεκτικές σε αρκετά μεγάλες χρονοκαθυστερήσεις ενώ ταυτόχρονα να αποστέλλουν σπανίως μικρά σε μέγεθος μηνύματα από άκρο σε άκρο. Η αξιοπιστία τους εξαρτάται από την εφαρμογή. Οι τεχνολογίες LPWAN συμβάλλουν στη συμπλήρωση και ενίοτε στην αντικατάσταση των συμβατικών κυψελοειδών και ασύρματων τεχνολογιών μικρής εμβέλειας αναφορικά με την απόδοση τους που παρατηρείται σε διάφορες καινούριες εφαρμογές (Chaudhari et al., 2020: 46).

1.5.1 LoRa (Long Range)

Το LoRa, που σημαίνει "Long Range", είναι ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών μεγάλης εμβέλειας, που προωθείται από τη LoRa Alliance. Αυτό το σύστημα στοχεύει στο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συσκευές με μπαταρία μεγάλης διάρκειας, όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι υψίστης σημασίας. Το LoRa είναι ένα σύστημα επικοινωνιών που αποτελείται από δύο επίπεδα: ένα φυσικό στρώμα που χρησιμοποιεί τη ραδιοδιαμόρφωση Chirp Spread Spectrum (CSS) και ένα πρωτόκολλο επιπέδου MAC (LoRaWAN),το οποίο επιτρέπει στις τελικές συσκευές να επικοινωνούν με μια πύλη. Το φυσικό στρώμα LoRa είναι αποκλειστικό προϊόν της Semtech και λειτουργεί στις ζώνες ISM 433,868 ή 915 MHz, ανάλογα με την περιοχή. Μπορεί να μεταδίδει ωφέλιμο φορτίο σε κάθε μετάδοση μεγέθους από 2 έως 255 οκτάδες και μπορεί να φτάσει σε ρυθμό δεδομένων έως 50 Kbps με τη χρήση της συνάθροισης καναλιών. Από την άλλη, το LoRaWAN αποτελεί ένα ανοιχτό πρότυπο που αναπτύσσεται από τη LoRa Alliance και παρέχει ένα μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης για πολλές τελικές συσκευές που ενσωματώνουν τη διαμόρφωση LoRa (Vangelista, Zanella & Zorzi, 2015: 51-58).

Εικόνα 8: Λογότυπο LoRa Alliance (https://lora-alliance.org/)

1.5.2 LTE-M

Το LTE-M, είναι ένα πρότυπο που ανήκει στην οικογένεια του LTE ή (4G), το οποίο είναι γνωστό είτε ως LTE Cat M1 είτε ως eMTC και αναπτύχθηκε από το 3GPP στην έκδοση 13. Ο σχεδιασμός του αφορά την Machine to Machine (M2M) επικοινωνία μεταξύ μηχανών (π.χ. IoT). Το eMTC είναι μια απλοποιημένη έκδοση του LTE που στοχεύει στη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας επεκτείνοντας ταυτόχρονα την εμβέλειά του. Σε αντίθεση με το κλασικό LTE, το eMTC καταφέρνει

να μειώσει τον ρυθμό δεδομένων στο ένα δέκατο του LTE (έως 1 Mbps) και παράλληλα να απογυμνώνει την ευρυζωνικότητά του από 20 MHz σε 1,4 MHz. Το eMTC είναι χρήσιμο γιατί υποστηρίζει επικοινωνίες πλήρους αμφίδρομης λειτουργίας, καθώς και προαιρετικές λειτουργίες ημιδιαμφίδρομης λειτουργίας που συμβάλλουν στη μείωση της ισχύος που απαιτείται προς κατανάλωση. Οι ενημερώσεις FotA είναι εφικτές με τη χρήση του eMTC. Αξίζει να σημειωθεί ότι η φωνή μέσω Voice over LTE (VoLTE) είναι επίσης ένα στοιχείο που χρησιμοποιείται στις επικοινωνίες LTE-M. Δύο νέα χαρακτηριστικά είναι ενεργοποιημένα στο eMTC, συγκεκριμένα η εκτεταμένη ασυνεχής λήψη (eDRX) και η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας Power Saving Mode (PSM). Το πρώτο επιτρέπει μεγαλύτερους κύκλους τηλεειδοποίησης, ενώ το δεύτερο επιτρέπει στους κόμβους να παραμένουν ανενεργοί για απεριόριστο χρονικό διάστημα και οι δύο στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το eMTC υποστηρίζει επίσης τη μεταπομπή, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο όταν εξετάζονται εφαρμογές κινητού IoT. (Foubert & Mitton, 2020: 13).

Εικόνα 9: Λογότυπο LTE-M (https://www.gsma.com/iot/ltem-logo-download/)

1.5.3 Narrowband – Internet of Things (NB-IoT)

Στο παρελθόν, η ιδέα ότι κάθε είδους συσκευή, θα μπορούσε να συνδεθεί στο διαδίκτυο και να ανταλλάσσει δεδομένα, ακόμη και οι πιο απίθανες, ήταν σαν ένα επιστημονικό σενάριο φαντασίας. Ωστόσο, σήμερα αυτή η ιδέα είναι μία από τις κυριότερες τεχνολογικές τάσεις παγκοσμίως, γνωστή ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή IoT (Internet Of Things). Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που ανήκουν στον κόσμο του IoT, ειδικά στους τομείς παρακολούθησης των μετρήσεων από απόσταση, όπως σε αγροκτήματα ή αποθήκες. Για να συλλέξουν δεδομένα απαιτείται η εγκατάσταση ειδικών αισθητήρων και η σύνδεση τους με ένα κεντρικό σύστημα. Όμως, αυτή η σύνδεση πρέπει να καταναλώνει όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια, αλλιώς οι αισθητήρες θα

χρειάζονται συνεχή φόρτιση, η οποία δεν είναι πρακτική. Η απάντηση είναι τα αποκαλούμενα δίκτυα Narrowband IoT. Πρόκειται για μια ειδική έκδοση των υπαρχόντων δικτύων κινητής, καταναλώνοντας ελάχιστη ενέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι αισθητήρες και γενικότερα οι συσκευές που συνδέονται σε αυτά να μη χρειάζεται να βρίσκονται συνδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Η μεγάλη διάρκεια ζωής αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για τους αισθητήρες, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται σε εγκατεστημένα συστήματα, όπου η πρόσβαση δεν είναι πάντα εύκολη. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα συστήματα στάθμευσης που τοποθετούνται κάτω από το οδόστρωμα. Αυτή η αγορά αναπτύσσεται ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα δίκτυα Narrowband IoT υπάρχουν ήδη στην Ελλάδα και είναι αρκετές οι επιχειρήσεις που τα χρησιμοποιούν. Επι του παρόντος, οι βασικές εφαρμογές αφορούν τη χρήση αισθητήρων σε αγροτικές καλλιέργειες και σε αποθήκες, καθώς και χρήση του NB-IoT για εφαρμογές «έξυπνης» στάθμευσης. Παρ' όλα αυτά, δεν σημαίνει ότι δεν θα αναπτυχθούν στο άμεσο μέλλον περισσότερες νέες χρήσεις, κυρίως για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, που θα δίνουν τη δυνατότητα για καλύτερη αξιοποίηση των πόρων και βελτιωμένη παρακολούθηση εξ αποστάσεως. Έτσι, μέσα στα επόμενα χρόνια, θα δούμε αρκετές ακόμη εφαρμογές που θα αξιοποιούν τα χαρακτηριστικά του NB-IoT. Αξίζει να τονισθεί η ευκολία στην εγκατάσταση της υποδομής και η απλή χρήση των σχετικών εφαρμογών. Δύο σημαντικά πλεονεκτήματα που θεωρούνται καθοριστικά για την ταχύτατη ανάπτυξη και αξιοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.[4]

Εικόνα 10: Λογότυπο NB-IoT, (https://www.gsma.com/iot/nbiot-logo-download/)

[4]https://www.growyourbusiness.gr/trends/ti_einai_to_NB_IoT_kai_giati_prepei_na_arxisei_na_sas_apasxolei (πρόσβαση: 20 Ιανουαρίου)

1.5.4 Sigfox

Η τεχνολογία της Sigfox λειτουργεί στα 868 MHz στην Ευρώπη και στα 902 MHz στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, και χρησιμοποιεί μια τεχνική διαμόρφωσης σήματος εξαιρετικά στενού εύρους ζώνης, γνωστή ως DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying). Αυτό επιτρέπει σε πολλές συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους σε αποστάσεις 10 έως 50 km με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο, λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης, η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί είναι μόλις 100 bps. Επίσης, Οι περιορισμοί λειτουργίας της τεχνολογίας Sigfox είναι αυστηροί, καθώς επιτρέπουν μόνο περιορισμένη χρήση του δικτύου. Κάθε συσκευή Sigfox μπορεί να στείλει μόνο μερικά μηνύματα ανά ώρα και ανά μήνυμα, με συνολικό όριο 140 uplink μηνυμάτων και 4 downlink μηνυμάτων ανά ημέρα. Τα μηνύματα μπορούν να σταλούν πολλές φορές σε διαφορετικά κανάλια συχνότητας για να βελτιωθεί η πιθανότητα επιτυχούς λήψης από πολλούς σταθμούς βάσης. Η επικοινωνία γίνεται μόνο με uplink μηνύματα που διαμορφώνονται με Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK), και η άμεση επικοινωνία μεταξύ της τελικής συσκευής και του χρήστη δεν είναι εφικτή (Aernouts, Berkvens, Van Vlaenderen & Weyn, 2018: 13).

Εικόνα 11: Λογότυπο Sigfox (https://www.sigfox.com/)

Κεφάλαιο 2 - Ιστορική Αναδρομή Κινητής Τηλεφωνίας

2.1 Η εξέλιξη των δικτύων και των κινητών επικοινωνιών

Η ανάπτυξη τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας ξεκίνησε στις αρχές του 20ου αιώνα, όταν μελετητές αναζητούσαν τρόπους να μεταδίδουν τη φωνή ασύρματα. Το 1908, ο Stubblefield κατόρθωσε να ευρεσιτεχνήσει ένα δικό του ασύρματο ραδιοτηλέφωνο, ενώ σε επόμενες δεκαετίες οι τεχνολογίες ασύρματης τηλεφωνίας εξελίχθηκαν σημαντικά. Στην Ευρώπη το 1926, η Γερμανική Σιδηροδρομική Εταιρεία εγκατέστησε ασύρματα τηλέφωνα στα βαγόνια των τρένων της, και τη δεκαετία του '40 η Motorola ανέπτυξε φορητά ασύρματα για τις ανάγκες του στρατού των ΗΠΑ. Στα μέσα της δεκαετίας του '40, οι Σοβιετικοί μηχανικοί επίσης δοκίμασαν ένα φορητό ασύρματο που μπορούσε να συνδεθεί με ένα τηλεφωνικό δίκτυο, και είχε εμβέλεια 20 χιλιομέτρων (Μήτρος, 2021, σσ. 20-21).

Μετά από μερικά χρόνια, αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία διπλής κατεύθυνσης ασύρματων επικοινωνιών που χρησιμοποιήθηκε σε οχήματα, όπως τα ταξί και άλλα. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία δεν θεωρήθηκε κινητή διότι δεν ήταν συνδεδεμένη με το τηλεφωνικό δίκτυο. Το 1958 ξεκίνησε η ανάπτυξη ενός παρόμοιου συστήματος που αφορούσε μηχανές και ονομαζόταν "Altay". Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε και τέθηκε σε λειτουργία το 1963 στη Μόσχα και μέχρι τα τέλη της δεκαετίας είχε διαδοθεί σε 30 διαφορετικές περιοχές. Σχεδόν ένα χρόνο μετά η S&T κατάφερε να παρέχει υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας οχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έτσι, καταλήξαμε στη δεκαετίας του ’60, όπου δημιουργήθηκε το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας για οχήματα, το οποίο υλοποιήθηκε στη Σουηδία και ονομαζόταν "MTA". Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρείχε τη δυνατότητα στο όχημα να πραγματοποιεί κλήσεις. Περίπου δέκα χρόνια αργότερα, ο Amos Joel συνέβαλλε στη εξέλιξη της τηλεφωνίας αυτής της μορφής με τη δημιουργία ενός αυτόματου συστήματος που επέτρεπε στις συσκευές να μετακινούνται από τη μία περιοχή στην άλλη χωρίς να υπάρχει διακοπή στην επικοινωνία. Το πρώτο δίκτυο τηλεφωνίας αυτού του είδους, που λειτούργησε επιτυχώς, παρέχοντας υπηρεσίες επικοινωνίας στο κοινό ήταν το δίκτυο ARP (Address Resolution Protocol – πρωτόκολλο επίλυσης

διευθύνσεων), το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί στις αρχές της δεκαετίας του ’70 στη Φινλανδία. Μάλιστα από αρκετούς ερευνητές θεωρείται σαν το δίκτυο κυψέλης (0G). Αν και η συγκεκριμένη τεχνολογία ήταν λίγο καλύτερη συγκριτικά με τα προηγούμενα δίκτυα, η περίοδος του 1973 ήταν ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της τηλεφωνία, αφού αναπτύχθηκε από τον Αμερικανό εφευρέτη Martin Cooper το πρώτο σύγχρονο κινητό τηλέφωνο, το οποίο χρησίμευε και εκτός οχήματος και δρούσε σε δίκτυο κυψελών. Αυτή η συσκευή ονομαζόταν Motorola DynaTac 8000X, ζύγιζε 1 κιλό και είχε μήκος μικρότερο από 25 εκατοστά (Μήτρος, 2021, σσ. 20-21).

Ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες τα δίκτυα κινητής ασύρματης επικοινωνίας έχουν βιώσει μια τεράστια αλλαγή μεταβάλλοντας ριζικά τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε. Η κινητή ασύρματη περιαγωγή (G) αναφέρεται γενικά σε μια εγγενώς αλλαγή του συστήματος, την ταχύτητα, την τεχνολογία και τη συχνότητα. Κάθε γενιά κινητής τηλεφωνίας διαθέτει καινοτόμες τεχνολογίες, ικανότητες, τεχνικές και νέα χαρακτηριστικά καθιστώντας την ξεχωριστή από την προηγούμενη (Κακογιάννης, 2020, σσ. 11).

Τα κυψελωτά δίκτυα είναι ένα είδος δικτύων που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες. Η βασική τους στρατηγική είναι να διαιρούν μια περιοχή σε μικρότερα κομμάτια, τα οποία αναπαριστούν τις κυψέλες. Κάθε κυψέλη είναι υπεύθυνη για μια συγκεκριμένη περιοχή και συνδέεται με έναν σταθμό βάσης. Έτσι, οι κυψέλες μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους και να παρέχουν κάλυψη σε όλη την περιοχή, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η παρεμβολή σήματος μεταξύ διαφορετικών κυψελών. Με βάση στατιστικές μελέτες κάθε δεκαετία περίπου εμφανίζεται μια νέα γενιά κυψελοειδούς συστήματος. Η γενιά 4G εμφανίστηκε το 2011 ενώ η τεχνολογία 5G αναμένεται να είναι τυποποιημένη στις αρχές της δεκαετίας του 2020. Η τυποποίηση των νέων διεπαφών για το 5G αναμενόταν να πραγματοποιηθούν μετά τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών- Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R) της παγκόσμιας ραδιοεπικοινωνίας (WRC), που διεξήχθη το 2015 (Αντωνίου, 2019, σσ. 15).

2.2 1G (1980) 1η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Τη δεκαετία του ’80 έκανε την εμφάνιση η πρώτη γενιά κινητής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας το αναλογικό σύστημα. Τα πιο δημοφιλή αναλογικά συστήματα 1G ήταν το Advanced Mobile Phone System (AMPS) που κυκλοφόρησε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, το Nordic Mobile Telephone (NMT), το Total Access Communication System (TACS) και κάποια άλλα αναλογικά συστήματα σε όλη την Ευρώπη. Οι ειδικοί για όλα τα στοιχεία κινητής επικοινωνίας του 1G χρησιμοποίησαν τεχνικές για να διαμορφώσουν τις συχνότητες των φωνητικών σημάτων. Συγκεκριμένα το φάσμα μέσα στο κύτταρο (cell) χωρίστηκε σε αριθμό καναλιών που δεν ήταν επαρκές γιατί δεν διέθετε ραδιοφάσμα τέτοιο που να είναι αρκετό. Αυτό λοιπόν περιόρισε τον αριθμό των κλήσεων που μπορούσαν να γίνουν ανά πάσα στιγμή. Το γεγονός ότι τα συστήματα ήταν αναλογικά και βασίζονταν σε τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος είχε ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων, αλλά μόνο η φωνητική επικοινωνία. Έπειτα από την εισαγωγή της τεχνολογίας 1G οι κινητές τηλεπικοινωνίες έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές και γνωρίζοντας τεράστια ανάπτυξη ενώ οι συνδρομητές προσέγγιζαν σχεδόν τα 20 εκατομμύρια μέχρι το 1990 (Agrawal, Patel, Mor, Dubey & Keller 2015: 1100-1103).

<u>Βασικά πλεονεκτήματα του 1G</u>

- Βασίζεται σε αναλογικό σύστημα.
- Υποστηρίζει ταχύτητα δεδομένων έως και 2,4 kbps.
- Το ασύρματο τηλέφωνο.

<u>Βασικά μειονεκτήματα του 1G</u>

- Μόνο φωνή, χωρίς επικοινωνία δεδομένων.
- Χαμηλή χωρητικότητα.
- Κακή μεταβίβαση.
- Λιγότερο ασφαλής.
- Κακή φωνητική σύνδεση

(Agrawal et al., 2015: 1100-1103).

2.3 2G (1991) 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Η δεύτερη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2G), κατα κανόνα έχει οδηγηθεί κάτω από το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile - GSM) στη Φινλανδία έως το 1991. Οι κλήσεις στο 2G μπόρεσαν να κωδικοποιηθούν και έτσι να πετύχουν την καθαρότητα των ηλεκτρονικών φωνητικών κλήσεων. Επιπλέον, σημαντικά χαρακτηριστικά που συμπεριλήφθησαν στη 2η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας ήταν η αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS), εικονομηνυμάτων και στη συνέχεια, φωνητικών και εικονικών μηνυμάτων (MMS). Η χρησιμοποίηση ψηφιακού σήματος έναντι του αναλογικού στις μεταδόσεις αποτέλεσε ένα ακόμη πρωτοποριακό στοιχείο. Εφάρμοσε τη έννοια του CDMA (Code Division Multiple Access). Το CDMA δίνει σε κάθε πελάτη ένα ασυνήθιστο κώδικα για τη μετάδοση πολλών φυσικών καναλιών που έχουν τελειώσει, για να επικοινωνούν όλο και περισσότεροι χρήστες. Χρησιμοποιούνται τεχνικές πρόσβασης, ειδικότερα (πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας) FDMA, (Time Division Multiple Access) TDMA και (Code Division Multiple Access) CDMA. Μετά το 2G κοντά στο 1995 εμφανίζεται το 2.5G περιλαμβάνει φωνή με δεδομένα, βελτιωμένος ρυθμός δεδομένων προόδου αυτής της διαδικασίας για το GSM Evolution, Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE). Στο ενδιάμεσο διάστημα εισήχθη το GPRS (General Packet Radio Service) που είχε το χαρακτηριστικό της μεταγωγής πακέτων που ήταν κατάλληλο για internet ταχύτητας δεδομένων έως 64 Kbps (Salih et al., 2020: 2139-2151).

2.4 3G (1999) 3η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Η τρίτη γενιά δικτύων ιδρύθηκε στα τέλη του 2000 και είχε ρυθμό μετάδοσης έως 2 Mbps. Τα τρίτης γενιάς (3G) συστήματα συγχωνεύουν την πρόσβαση κινητής τηλεφωνίας υψηλής ταχύτητας σε υπηρεσίες με βάση το Internet Protocol (IP). Εκτός από το ρυθμό μετάδοσης, έγινε αντισυμβατική βελτίωση για τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών (Quality of Services - QoS). Πρόσφερε πρόσθετες ανέσεις, όπως η παγκόσμια περιαγωγή και η βελτιωμένη ποιότητα φωνής έκανε το 3G μια αξιοσημείωτη γενιά. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα για τις συσκευές 3G είναι

ότι απαιτούν περισσότερη ισχύ από τα περισσότερα μοντέλα 2G. Μαζί με αυτό τα σχέδια δικτύου 3G είναι πιο ακριβά από το 2G και υψηλά σε απαίτηση εύρους ζώνης. Δεδομένου ότι το 3G περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως την εισαγωγή και αξιοποίηση (Wideband Code Division Multiple Access) WCDMA, Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) και Code Division Multiple Access (CDMA - 2000), τις εξελισσόμενες τεχνολογίες όπως η High Speed Uplink/Downlink (HSUPA/HSDPA) και το Evolution-Data Optimized (EVDO), έκανε ένα ενδιάμεσο ασύρματης παραγωγής μεταξύ 3G και 4G που ονομάζεται 3.5G ή 3.75G με βελτιωμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 5-30 Mbps. Το 3.75G είναι μια τεχνολογία μακροπρόθεσμης εξέλιξης του Long Term Evolution (LTE) και έχει επιδιορθωθεί σε παγκόσμια κλίμακα. Η διαλειτουργικότητα για την πρόσβαση μικροκυμάτων (WIMAX) αποτέλεσε το μέλλον των υπηρεσιών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας (Divya & Aswini, n.d).

2.5 4G (2009) 4η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Η γενιά 4G είναι διάδοχος των οικογενειών 2G και 3G προτύπων. Η πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω κινητού τηλεφώνου, η IP τηλεφωνία, οι υπηρεσίες παιχνιδιών, η κινητή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, το βίντεο συνδιάσκεψης και η 3D τηλεόραση είναι οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται με τα 4G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Επομένως, η προσαρμοστικότητα αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία. Το πρότυπο LTE για πρώτη φορά είχε κυκλοφορήσει και αναπτυχθεί εμπορικά στο Όσλο της Νορβηγίας και στη Στοκχόλμη της Σουηδίας από το 2009. Το 4G δεν υποστηρίζει δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος αλλά αποτελεί ένα σύστημα δικτύου που βασίζεται σε IP. Τα δίκτυα 4G είναι οι πυλώνες καθώς ενσωματώνουν πολλά δίκτυα ραδιοπρόσβασης με σταθερά δίκτυα διαδικτύου (Bhandari et al., 2017: 98-105).

Το LTE, όπως και το UMTS, αναπτύχθηκε και εξελίσσεται από την 3GPP και αποτελεί την εξέλιξη των τεχνολογιών του UMTS έτσι ώστε αυτές να είναι σύμφωνες με τα πρότυπα του International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced). Το LTE είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κυρίως από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Αν και συχνά αναφέρεται ως 4G, δεν έχει

αναγνωριστεί επίσημα ως τέτοια, καθώς δεν επιτυγχάνει την ελάχιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων των 100Mbps. Ωστόσο, η εξέλιξη του, το LTE-Advanced, έχει αναγνωριστεί ως 4G, διότι υποστηρίζει θεωρητικές ταχύτητες έως 1Gbps Downlink και 500Mbps για Uplink συνδέσεις. Αν και στο παρελθόν αναφερόταν ως 4G LTE, αυτό δεν είναι τεχνικά σωστό, καθώς υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες όπως το WiMax. Το πρότυπο LTE έχει γίνει διεθνώς αποδεκτό και χρησιμοποιείται παγκοσμίως από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Η τεχνολογία 4G είναι περίπου 7-10 φορές πιο γρήγορη από το 3G, προσφέροντας θεωρητικές ταχύτητες έως 150Mbps, μεγαλύτερη αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο, ενώ στην πράξη οι ταχύτητες αυτές φτάνουν περίπου τα 80Mbps. Παρ ’όλο που οι συνδέσεις 3G ήταν σχετικά γρήγορες, η εμφάνιση του 4G επέτρεψε στους χρήστες να πλοηγηθούν στο διαδίκτυο με ασφάλεια και υψηλές ταχύτητες, επιτρέποντας τη μετάδοση βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD) σε κινητές συσκευές μέσω του πρωτοκόλλου IP σε κινητές συσκευές να είναι πλέον κάτι εύκολο. Στην πράξη, το 4G μετέτρεψε κατά κάποιον τρόπο τα smartphones σε μικρούς φορητούς υπολογιστές της σύγχρονης εποχής καθώς σήμερα έχουμε την δυνατότητα να εκτελούμε τις περισσότερες από τις εργασίες σε φορητές συσκευές έχοντας ασύρματες σταθερές ταχύτητες σχεδόν παντού (Δήμου, 2021, σσ. 29-32)

Κεφάλαιο 3 - Χαρακτηριστικά Δικτύων 5ης Γενιάς (5G)

3.1 Τρία τυπικά σενάρια

Το 5G αναμένεται να προσφέρει προηγμένες δυνατότητες στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, όπως υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση και αποτελεσματικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Το 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα σενάρια, όπως η ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB), οι μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) και η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (uRLLC), σύμφωνα με την ταξινόμηση της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (Shi, Han, Shen & Zhang, 2019: 111).

3.1.1 Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB)

Το eMBB εστιάζει στις εφαρμογές που απευθύνονται στους ανθρώπους και βασίζεται στην υπάρχουσα τεχνολογία του 5G. Αυτό το σενάριο θα επιτρέψει στους χρήστες να απολαμβάνουν καλύτερη εμπειρία και να αντιμετωπίζουν λιγότερα εμπόδια. Οι εφαρμογές που περιλαμβάνονται σε αυτό το σενάριο είναι κυρίως η επαυξημένη πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα, η πρόσβαση από απόσταση και ο έλεγχος. Τα σενάρια eMBB έχουν πολύ υψηλότερες απαιτήσεις για το ρυθμό δεδομένων και την εμπειρία του χρήστη, επιτρέποντας έτσι μια καλύτερη απόδοση στη χρονική καθυστέρηση και στην αξιοπιστία, καθώς και λιγότερη κινητικότητα (Shi et al., 2019: 111).

3.1.2 Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC)

Οι συνδέσεις mMTC παρέχουν υψηλές ταχύτητες σε μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, συνήθως χρησιμοποιούμενες σε σενάρια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Οι συσκευές αυτές, όπως οι αισθητήρες, είναι οικονομικές και καταναλώνουν

ελάχιστη ενέργεια, ενώ μεταδίδουν συνήθως μικρό όγκο δεδομένων, ο οποίος επιτρέπει την καθυστέρηση στη μετάδοση (Banafaa et al., 2022: 253-254).

Οι εφαρμογές του mMTC περιλαμβάνουν πληθώρα υπηρεσιών που απαιτούν τη σύνδεση μεγάλων αριθμών συσκευών, καθώς και την παρακολούθηση και την προληπτική συντήρηση. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι μεγάλος και καταλαμβάνει μεγάλο χώρο, ενώ είναι επίσης απαραίτητη η πολυμορφία και η προσαρμοστικότητα του εξοπλισμού για την κάλυψη των αναγκών του δικτύου. Παρόλα αυτά, πέρα από την παρακολούθησης της ασφάλειας η απαίτηση για υψηλή πυκνότητα σύνδεσης και κινητικότητα είναι χαμηλή και οι τερματικές συσκευές είναι συνήθως σταθερές. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής των μπαταριών των τερματικών συσκευών είναι κρίσιμη για τη μείωση του κόστους αντικατάστασης τους (Shi et al., 2019: 111).

3.1.3 Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC)

Το uRLLC σενάριο είναι απαιτητικό όσον αφορά τις λειτουργικές απαιτήσεις και την αξιοπιστία του συστήματος. Συνήθως χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μηχανημάτων μέσω ασύρματων συστημάτων, τη βιομηχανική αυτοματοποίηση, την κινητή ρομποτική και την εφοδιαστική αλυσίδα. Οι εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου και ρομποτικής απαιτούν την ακριβή μετάδοση της σηματοδότησης ελέγχου από άκρο σε άκρο. Η καθυστέρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελεί τη βάση για τη συνεργασία πολλαπλών συστημάτων ελέγχου. Ακόμη και σε ακραία σενάρια όπως η αυτόνομη οδήγηση, η καθυστέρηση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 ms. Η ανάγκη για πολύ χαμηλές καθυστερήσεις είναι σημαντική, καθώς αυτή είναι μία από τις βασικές αρχές που απαιτούνται για την επόμενη γενιά δικτύων επικοινωνίας (Shi et al., 2019: 111).

Υπάρχουν περισσότερα σενάρια και εφαρμογές στην εποχή του 5G που μπορεί να μην είναι αυστηρά εμπίπτουν όμως στις τρεις βάσικες κατηγορίες eMBB, URLLC και mMTC. Για παράδειγμα, ορισμένοι φορείς εκμετάλλευσης χρησιμοποιούν το 5G ως τεχνολογία πρόσβασης οικιακής χρήσης. Η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να

αποτελέσει μια εναλλακτική λύση για την εγκατάσταση συνδέσεων οπτικών ινών σε σπίτια, που συνήθως είναι δαπανηρή και περίπλοκη. Επίσης η κινητή φωνητική τηλεφωνία εξακολουθεί να είναι μια σημαντική εφαρμογή στα 5G συστήματα κινητών επικοινωνιών, αλλά δεν απαιτεί ούτε υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ούτε εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, ούτε χαμηλή καθυστέρηση (Lin & Lee, 2021: 1-25).

3.2 Απαιτήσεις του ασύρματου δικτύου 5G

Το 5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) είναι ένας μεγάλος οργανισμός που ασχολείται με την έρευνα και την ανάπτυξη του δικτύου 5G σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου 5G περιλαμβάνουν μια αύξηση των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, με ένα εκτιμώμενο ποσό 10 TB/s/km². Επιπλέον, το δίκτυο αναμένεται να υποστηρίζει περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές ανά χιλιόμετρο, με μια εκτίμηση των 1.000.000 συσκευών ανά χιλιόμετρο. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, με ταχύτητες από 1-10 Gb/s. Το δίκτυο αναμένεται επίσης να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια, με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 90% σε σχέση με το 2010. Επιπλέον, η μείωση του λειτουργικού κόστους του δικτύου (OPEX) αναμένεται να φτάσει το 80%. Ο χρόνος απόκρισης (latency) αναμένεται επίσης να μειωθεί σε τιμές από 5ms έως 1ms (Λιάμης, 2022, σσ. 21-23).

Σύμφωνα με το 5G PPP, για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι από την εφαρμογή του δικτύου 5G, πρέπει να τηρηθούν ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS): Όπως υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό latency, ανεξαρτήτως της γεωγραφικής θέσης του χρήστη. Για να επιτευχθεί αυτό, το δίκτυο 5G πρέπει να είναι ανθεκτικό, διαθέσιμο και να έχει καλή κάλυψη, λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) ώστε να μην είναι απαγορευτικά υψηλό.

- Πολλαπλοί πάροχοι (multi-tenancy): Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο οφείλει να είναι σε θέση να παρέχει τις υπηρεσίες του σε όλες τις φυσικές υποδομές ανεξαρτήτως του αν ανήκουν σε έναν ή περισσότερους παρόχους. Επιπλέον, πρέπει να μπορεί να αξιοποιήσει αποδοτικά τα ήδη υπάρχοντα ετερογενή δίκτυα και να περιορίσει τις παρεμβολές μεταξύ τους. Αυτό θα βοηθήσει στην επίτευξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και στη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, ενώ θα επιτρέψει επίσης τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας του τομέα των επικοινωνιών.

- Χωρητικότητα (Density): Η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα στα δίκτυα 5ης γενιάς απαιτεί τη βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος και εάν είναι αναγκαίο, τη διεύρυνσή του, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτούμενες επιδόσεις.

- Διαχειρισιμότητα (Manageability): Η διαχείριση των δικτύων 5G είναι σχεδιασμένη να είναι απομακρυσμένη και αυτοματοποιημένη, με λιγότερη ανάμειξη ανθρώπινων παραγόντων και βελτιωμένη δυνατότητα συντονισμού των λειτουργιών του δικτύου.

- Διαχείριση πόρων (Resource management): Στα δίκτυα 5ης γενιάς είναι αναγκαία η ευέλικτη δέσμευση πόρων όπως εύρος ζώνης, μνήμη και επεξεργαστική ισχύ, ανάλογα με τον τύπο υπηρεσίας και τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της δυναμικής διαχείρισης των πόρων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ο βέλτιστος διαμοιρασμός των πόρων του συστήματος, αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις αυξημένες απαιτήσεις του δικτύου σε χωρητικότητα και επεξεργαστική ισχύ.

- Εξέλιξη (Evolution): Κατά την εγκατάσταση ενός δικτύου 5G, η προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στη δημιουργία νέων υπηρεσιών, οι οποίες θα επιτρέπουν στους παρόχους επικοινωνιών να βελτιώσουν τα συστήματά τους και να προετοιμαστούν για μελλοντικές αναβαθμίσεις και εγκαταστάσεις.

- Προσαρμοστικότητα (Flexibility): Η υποστήριξη ετερογενών συσκευών, υπηρεσιών και δικτύων πρόσβασης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του

δικτύου 5G, και θα οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στην αρχιτεκτονική του δικτύου. Αυτό θα επιτρέψει την παντού παρουσία των συσκευών και την επικοινωνία μεταξύ τους, παρέχοντας καλύτερη διασυνδεσιμότητα και απόκριση.

- Υποστήριξη των προηγούμενων γενεών δικτύων (Backward Compatibility): Το δίκτυο 5G θα υποστηρίζει όλες τις προηγούμενες τεχνολογίες κινητών δικτύων και ασύρματης πρόσβασης, προκειμένου να διασφαλίζεται η συμβατότητα και η συνεργασία με τα παλαιότερα δίκτυα και συσκευές. Αυτό θα βοηθήσει στην σταδιακή μετάβαση από την παλιά στη νέα τεχνολογία και θα διασφαλίσει την αποδοτική χρήση των παλαιότερων συστημάτων και εξοπλισμού.

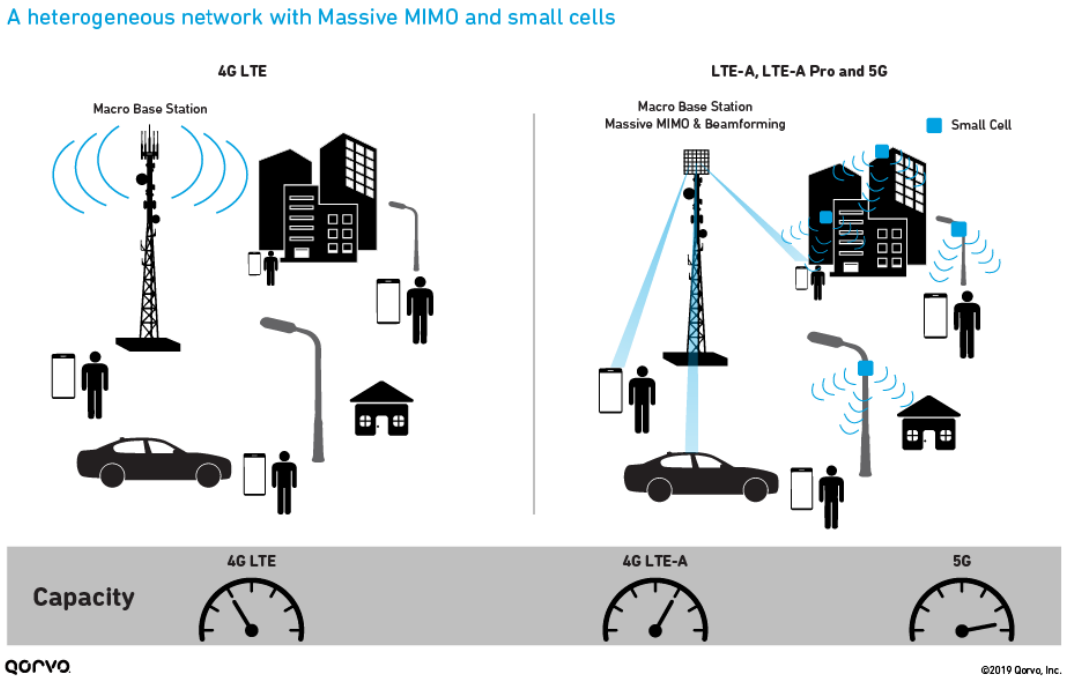
(Λιάμης, 2022, σσ. 21-23).

3.3 Σημαντικές τεχνολογίες του 5G

3.3.1 Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Η τεχνολογία massive MIMO αποτελεί μια προηγμένη μέθοδο που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση του φάσματος και να παρέχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Με τα ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (Multiple Input Multiple Output - MIMO), είναι δυνατή η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου λόγω υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερου αριθμού χρηστών που εξυπηρετούνται. Όταν ο αριθμός των κεραιών στον σταθμό βάσης αυξηθεί γίνεται η χρήση του όρου μαζικό MIMO. Ειδικότερα, με τη συγκεκριμένη τεχνολογία τόσο ο δέκτης όσο και ο πομπός απαρτίζονται από ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων κεραίας. Οι σταθμοί βάσης massive MIMO διαθέτουν συστοιχίες κεραιών που επιτρέπουν την ακριβή μεταφορά ενέργειας στους χρήστες κινητών με άριστη ποιότητα σήματος. Οι μικροκυψέλες (small cells) χρησιμοποιούνται για την αποσυμφόρηση των σταθμών βάσης, διατηρώντας μια συμβατική απόσταση ανάμεσα στους πομπούς και τους χρήστες. Η χρήση της τεχνολογίας massive MIMO σε συνδυασμό με τις υψηλές συχνότητες (mmWaves) επιτρέπει μια πιο αποτελεσματική διαχείριση των παρεμβολών μεταξύ των κυψελών. Ουσιαστικά, ο

συνδυασμός μεγάλου εύρους ζώνης σε mmWaves και του μαζικού MIMO συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην επίτευξη των απαιτήσεων της 5ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας. Αυτό συμπεριλαμβάνει υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, αυξημένη χωρητικότητα, αποτελεσματικότερη διαχείριση της κυκλοφορίας, βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, χαμηλότερες απώλειες διάδοσης και χαμηλότερες καθυστερήσεις στη μετάδοση δεδομένων. Επίσης, ο συνδυασμός μαζικών MIMO και mmWaves επιτρέπει να μειωθεί η συνολική καθυστέρηση στο χρόνο μετάδοσης. Αξιοσημείωτο ακόμα είναι ότι το massive MIMO δεν αυξάνει σημαντικά τον μέγιστο ρυθμό δεδομένων σε έναν μόνο χρήστη, καθώς εκ φύσεως χρειάζεται πολλούς χρήστες να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα για να επιτευχθεί υψηλή φασματική απόδοση (Τερζόπουλος, 2022, σσ 27-28).



Εικόνα 12: Δίκτυο με μαζικό MIMO και small cells (https://www.qorvo.com/design-hub/blog/tips-and-trends-small-cell-5g-systems)

3.3.2 Χιλιοστομετρικά Κύματα (Millimeter Waves)

Η συντριπτική πλειοψηφία των επικοινωνιακών συστημάτων λειτουργεί ήδη στη ζώνη μικροκυμάτων (MW) κάτω από τα 3 GHz, λόγω των ευνοϊκών χαρακτηριστικών διάδοσης του. Αυτό καθιστά τη ζώνη MW δυσεύρετη. Το 5G μπορεί να αντιμετωπίσει αυτή την έλλειψη ευρυζωνικότητας με τον εξής τρόπο, όταν μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου και συνδεσιμότητα απαιτούνται, επιβάλλεται επίσης η ύπαρξη πρόσθετου φάσματος. Επιπλέον, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας βελτιστοποιούν την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) χρησιμοποιώντας πρόσθετο φάσμα (υψηλές συχνότητες και μεγαλύτερο εύρος ζώνης). Επομένως, το 5G πιθανότατα θα χρησιμοποιεί επίσης υψηλότερο φάσμα, όπως με τη χρήση της ζώνης κυμάτων χιλιοστών (mmWaves) λόγω του σημαντικού διαθέσιμου εύρους ζώνης. Το επιπλέον φάσμα για δίκτυα 5G είναι ουσιώδες για την ικανοποίηση των απαιτήσεων 5G (Al-Falahy & Alani, 2017: 12-20).

Οι ζώνες κυμάτων χιλιοστών από 20-90 GHz αναμένεται να χρησιμοποιηθούν από τα συστήματα 5G, λόγω της διαθεσιμότητας ενός μεγάλου τμήματος αχρησιμοποίητου εύρους ζώνης. Η χρήση της ζώνης κυμάτων χιλιοστού για ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο αποτελεί μια καινοτόμο επιλογή, καθώς η διάδοση αυτών των κυμάτων αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα και των περιορισμών στο υλικό. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία beamforming και μεγαλύτερες συστοιχίες κεραιών για να αντισταθμιστούν αυτές οι προκλήσεις. Είναι σημαντικό να περιορίσουμε την ακτίνα κυψέλης σε λιγότερο από 100 μέτρα, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος απώλειας διαδρομής, αλλά αυτό ταιριάζει καλά με την τάση για πυκνή ανάπτυξη μικρών κυψελών (Al-Falahy & Alani, 2017: 12-20).

3.3.3 Διαμόρφωση δέσμης (Beamforming)

Η διαμόρφωση δέσμης είναι η ικανότητα του σταθμού βάσης να προσαρμόζει το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Η διαμόρφωση δέσμης βοηθά το σταθμό βάσης να βρει την κατάλληλη διαδρομή για να παραδώσει δεδομένα στο χρήστη και μειώνει επίσης τις παρεμβολές με τους κοντινούς χρήστες κατά μήκος της διαδρομής.

Η διαμόρφωση δέσμης έχει πολλά πλεονεκτήματα για τα δίκτυα 5G και πέραν αυτών. Ανάλογα με την κατάσταση, η τεχνολογία διαμόρφωσης δέσμης μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους στα δίκτυα του μέλλοντος. Για τα συστήματα μαζικής (MIMO), η διαμόρφωση δέσμης βοηθά στην αύξηση της αποδοτικότητας του φάσματος και για τα χιλιοστομετρικά κύματα, θα συντελέσει επίσης στην ενίσχυση του ρυθμού δεδομένων. Στα συστήματα μαζικής (MIMO), ο σταθμός βάσης μπορεί να μεταδώσει δεδομένα σε πολλούς χρήστες σε διαφορετικές διαδρομές. Η διαμόρφωση δέσμης καθορίζει την κίνηση και τον χρόνο άφιξης των πακέτων στον κάθε χρήστη, προκειμένου να επιτρέπεται η μετάδοση δεδομένων από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αν και τα χιλιοστομετρικά κύματα έχουν περιορισμένη διείσδυση σε εμπόδια και δεν μπορούν να διανύουν μεγάλες αποστάσεις λόγω του μικρού μήκους κύματος, η διαμόρφωση δέσμης μπορεί να βοηθήσει στην αποστολή συγκεντρωμένων ακτίνων προς τους χρήστες. Έτσι, ένας χρήστης μπορεί να λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα χωρίς παρεμβολές από άλλους χρήστες, χάρη στη διαμόρφωση δέσμης (Chataut & Akl, 2020: 2753).

3.3.4 Τεμαχισμός δικτύου (Network slicing)

Το 5G επιτρέπει την εφαρμογή εικονικών δικτύων (network slicing), τη δημιουργία υποδικτύων προκειμένου να παρέχει συνδεσιμότητα πιο προσαρμοσμένη στη συγκεκριμένη ανάγκη. Με τη λειτουργία των υποδικτύων θα παρέχονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε ένα τμήμα του δικτύου, έτσι ένα προγραμματιζόμενο δίκτυο θα επιτρέψει την ιεράρχηση των συνδέσεων, όπως θα μπορούσαν να είναι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπροστά από άλλους χρήστες, εφαρμόζοντας ενδεικτικά διαφορετικές χρονικές αποκρίσεις ή δίνοντάς τους προτεραιότητα στη σύνδεση στο δίκτυο, προκειμένου να αποφεύγονται υπερφορτώσεις του δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Σακαλάκης, 2022, σσ. 53-54).

3.3.5 Multi-access Edge Computing (MEC)

Το Multi-access Edge Computing (MEC) παρέχει στους προγραμματιστές εφαρμογών και στους παρόχους περιεχομένου τη δυνατότητα να αναπτύσσουν και να φιλοξενούν

εφαρμογές σε ένα περιβάλλον υπολογιστικού νέφους στην άκρη του δικτύου. Αυτό το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλό εύρος ζώνης, καθώς και από πρόσβαση σε πληροφορίες ραδιοδικτύου σε πραγματικό χρόνο. Με το MEC, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να προσφέρουν πρόσβαση στην άκρη του δικτύου ραδιοπρόσβασης (RAN) σε εξουσιοδοτημένους τρίτους, επιτρέποντας τους να αναπτύσσουν ευέλικτα και γρήγορα καινοτόμες εφαρμογές και υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται στους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας, τις επιχειρήσεις και τα κάθετα τμήματα, δημιουργώντας έτσι ένα νέο οικοσύστημα και μια νέα αλυσίδα αξίας.[5]

3.3.6 Cloud radio access network (C-RAN)

Μέχρι αυτή τη στιγμή, το δίκτυο πρόσβασης LTE υιοθετεί μια επίπεδη αρχιτεκτονική δικτύου. Στο μέλλον, το 5G θα μπορέσει να υιοθετήσει την αρχιτεκτονική δικτύου ραδιοπρόσβασης «νέφους», Cloud-RAN (C-RAN). Γενικά, το C-RAN περιλαμβάνει μια ομάδα μονάδων ζώνης βάσης τοποθετημένη σε ένα κέντρο δεδομένων που βασίζεται στο υπολογιστικό νέφος και έναν μεγάλο αριθμό απομακρυσμένων ραδιοφωνικών κεφαλών χαμηλού κόστους που αναπτύσσονται σε μια κυψέλη. Στο C-RAN, η επεξεργασία σήματος ζώνης βάσης και οι ασύρματες λειτουργίες είναι αποσυνδεμένες (Shi et al., 2019: 109-116).

3.3.7 Device-to-device (D2D)

Η τεχνολογία D2D είναι σημαντική επειδή συμβάλλει στην άμεση επικοινωνία μεταξύ των τερματικών. Διευκολύνει ταυτόχρονα στο να συνδέονται και να έχουν πρόσβαση οι χρήστες στο δίκτυο. Προς το παρόν, η επικοινωνία D2D μπορεί να επιτευχθεί είτε με άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών είτε να χρησιμοποιηθούν συσκευές δικτύου. Ο λόγος που απαιτούνται συσκευές δικτύου για να υφίσταται η επικοινωνία D2D είναι επειδή η χωρητικότητα των τερματικών είναι περιορισμένη. Ως εκ τούτο η τεχνολογία

[5] https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing (πρόσβαση: 22 Ιανουαρίου 2023)

του 5G δικτύου τίθεται στην υπηρεσία της λειτουργίας του D2D πετυχαίνοντας πρώτον τη μετάδοση δεδομένων υψηλών ταχυτήτων στο υφιστάμενο κυψελοειδές δίκτυο και δεύτερον την βελτίωση της ποιότητας του καναλιού, ειδικά, όταν η απόσταση ανάμεσα στα τερματικά είναι κοντινή (Shi et al., 2019: 112).

3.3.8 Μαζικό διαδίκτυο των πραγμάτων – Massive Internet of Things (mIoT)

Το μαζικό IoT, ή αλλιώς μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) στον κόσμο του 5G, ορίζει εφαρμογές με πολλά τελικά σημεία που εξυπηρετούν συνεχώς μικρά κομμάτια δεδομένων, κυρίως σπάνια και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Πρόκειται για εφαρμογές που έχουν χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αλλά με μικρό όγκο δεδομένων σε μαζικούς αριθμούς που αναφέρονται τακτικά στο υπολογιστικό νέφος. Οι αισθητήρες IoT από δισεκατομμύρια συσκευές, αντικείμενα και μηχανές επικοινωνούν μεταξύ τους, γεγονός που απαιτεί επεκτασιμότητα και ευελιξία. Συνήθως οι συσκευές αυτές έχουν χαμηλό κόστος προμήθειας και χρησιμοποιούν ελάχιστη ενέργεια μεμονωμένα, αλλά καλύπτουν καλύτερα απομακρυσμένες περιοχές. Βασικό ζητούμενο για το μαζικό IoT αποτελεί η επαρκής χωρητικότητα σε συνδυασμό με την αποδοτικότητα του δικτύου, προκειμένου να συνδεθούν δυνητικά εκατομμύρια συσκευές. Το μαζικό IoT απαιτεί επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ευρεία περιοχή κάλυψης. Εδώ μπορεί να βοηθήσει το 5G τα κυψελοειδή δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) καθώς μπορούν να καλύψουν καλύτερα τις ανάγκες των μαζικών συσκευών και εφαρμογών IoT. Ένα παράδειγμα μαζικού IoT είναι η συλλογή δεδομένων θερμοκρασίας από πολλούς αισθητήρες σε διαφορετικές τοποθεσίες και η ανάλυση αυτών των δεδομένων για να βελτιωθεί η απόδοση συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Μια άλλη εφαρμογή του είναι ότι επιτρέπει στους χρήστες να ενεργοποιούν ή να απενεργοποιούν ηλεκτρικές συσκευές. Επίσης θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν τα έξυπνα κτίρια, η διαχείριση στόλου, οι έξυπνοι μετρητές και η έξυπνη γεωργία. Οι μαζικές εφαρμογές IoT εκτελούνται ήδη σήμερα, υποστηριζόμενες από την τεχνολογία 4G. Παρόλα αυτά

με το 5G θα είμαστε σε θέση να συνδέσουμε απρόσκοπτα και αξιόπιστα δισεκατομμύρια συσκευές IoT [6]

3.4 Προκλήσεις

Μια από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις είναι η φυσική έλλειψη φασμάτων ραδιοσυχνοτήτων (RF) που διατίθενται για κυψελοειδείς επικοινωνίες. Οι κυψελοειδείς συχνότητες χρησιμοποιούν ζώνες εξαιρετικά υψηλών συχνοτήτων για κινητά τηλέφωνα, που συνήθως κυμαίνονται από αρκετές εκατοντάδες megahertz σε αρκετά gigahertz. Υπάρχουν φάσματα συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, καθιστώντας δύσκολη την απόκτηση και εκμετάλλευση περισσότερων από του φορείς των τηλεπικοινωνιών. Ένα από τα αρνητικά χαρακτηριστικά της ανάπτυξης που παρατηρήθηκαν στις προηγμένες ασύρματες τεχνολογίες είναι ότι αυτές θεωρούνται ενεργοβόρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλείται η άνοδος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO2) έμμεσα, γεγονός που σήμερα αποτελεί σημαντική απειλή και επιβάρυνση για το περιβάλλον. Επίσης, επισημαίνεται από φορείς της κινητής τηλεφωνίας πως η κατανάλωση ενέργειας από τους σταθμούς βάσης (BS) αντιστοιχεί περίπου στο 70 τοις εκατό του λογαριασμού ηλεκτρικής τους ενέργειας. Αν και αρχικά η ύπαρξη αποδοτικής ενεργειακής επικοινωνίας δεν ήταν από τις βασικές απαιτήσεις στα ασύρματα συστήματα 4G, προέκυψε ωστόσο στην πορεία και θεωρήθηκε ως πρόβλημα. Παράλληλα παρουσιάστηκαν και άλλες προκλήσεις όπως για παράδειγμα, ο μέσος όρος φασματικής απόδοσης, ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η υψηλή κινητικότητα, η απρόσκοπτη κάλυψη, οι διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και η κατακερματισμένη εμπειρία χρήστη (ασυμβατότητα διαφορετικών ασύρματων συσκευών/διεπαφών και ετερογενών δικτύων) (Albreem, 2015: 493 - 497).

[6] https://www.nokia.com/networks/insights/critical-massive-iot/ (πρόσβαση: 23 Ιανουαρίου 2023)

Κεφάλαιο 4 - Εφαρμογές του 5G

Σημαντικές εφαρμογές του 5G είναι οι εξής:

Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας υψηλής ταχύτητας: Το 5G αποτελεί σημείο αναφοράς συγκριτικά με τις προηγούμενες τεχνολογίες δικτύου κινητής τηλεφωνίας, γιατί προσφέρει ταχύτητες λήψης πολύ υψηλής ταχύτητας 10 έως 20 Gbps. Το ασύρματο δίκτυο 5G λειτουργεί καθώς συνδέεται στο διαδίκτυο με οπτικές ίνες. Το 5G διαφέρει από όλες τις συμβατικές τεχνολογίες μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας αφού η συνδεσιμότητα του αναφορικά με τα δεδομένα φωνής είναι αποτελεσματική καθώς και υψηλής ταχύτητας. Η επικοινωνία με 5G δίκτυο έχει πολύ χαμηλή καθυστέρηση μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου, γεγονός που θεωρείται χρήσιμο για την αυτόνομη οδήγηση και κρίσιμο για την αποστολή δεδομένων. Το 5G θα χρησιμοποιεί κύματα χιλιοστών για μετάδοση δεδομένων, παρέχοντας υψηλή ευρυζωνικότητα και τεράστιο ρυθμό δεδομένων από τις χαμηλότερες ζώνες LTE. Επειδή το 5G αποτελεί μια γρήγορη τεχνολογία δικτύου κινητής τηλεφωνίας, θα επιτρέψει την εικονική πρόσβαση σε υψηλή επεξεργαστική ισχύ και την παράλληλη, ασφαλή πρόσβαση σε υπηρεσίες cloud και εταιρικές εφαρμογές. Η μικρή κυψέλη είναι ένα από τα καλύτερα χαρακτηριστικά του 5G, το οποίο φέρνει πολλά πλεονεκτήματα όπως υψηλή κάλυψη, μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας, εξοικονόμηση ενέργειας, εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στο cloud, κλπ. (Dangi, Lalwani, Choudhary, You & Pau, 2022: 26).

Ψυχαγωγία και πολυμέσα: Σε μια έρευνα που διενεργήθηκε το 2015, διαπιστώθηκε ότι οι χρήστες του διαδικτύου πάνω από πενήντα τοις εκατό (50%) του συνολικού χρόνου ενασχόλησης τους με αυτό τον δαπανούν για τη λήψη βίντεο. Αυτή η τάση ενδέχεται να παρουσιάσει άνοδο στο μέλλον, και όπως αναμένεται θα καταστήσει τόσο τη λήψη όσο και τη ροή των βίντεο πιο κοινή , συνήθη και εύκολη. Η μεταπήδηση στο 5G θα προσφέρει ταυτόχρονα υψηλή ταχύτητα στη ροή των βίντεο 4K με άψογο ήχο και θα αποδώσει έναν εικονικό κόσμο με υψηλή ευκρίνεια και πιστότητα. Στα κινητά τηλέφωνα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ωφέλειας του δικτύου 5G στον τομέα της ψυχαγωγικής βιομηχανίας είναι ότι μπορεί και παρέχει 120 καρέ ανά δευτερόλεπτο με υψηλή ανάλυση και υψηλότερη δυναμική εμβέλεια στη ροή των βίντεο. Επίσης στα

κανάλια τηλεόρασης HD μπορεί κανείς να συνδεθεί από κινητές συσκευές χωρίς διακοπές. Με το 5G μπορεί κάποιος να πετύχει επικοινωνία υψηλής ευκρίνειας χαμηλής καθυστέρησης. Επομένως, είναι εύλογη η διαπίστωση ότι η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR) θα εφαρμοστούν πολύ εύκολα στο μέλλον. Εξίσου και στα παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας HD παρατηρείται ότι πολλές εταιρείες τα θεωρούν ιδιαιτέρως δημοφιλή και επενδύουν σε αυτά καθώς το δίκτυο 5G θα παρέχει σύνδεση στο διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας και έτσι θα προσφέρει καλύτερη εμπειρία παιχνιδιού στους χρήστες (Dangi, et al., 2022: 26).

Internet of Things - σύνδεση των πάντων: Η τεχνολογία του 5G συμβάλλει στην ανάπτυξη του Internet of Things (IoT) και στη σύνδεση πολλών συσκευών και αισθητήρων με το διαδίκτυο. Οι εφαρμογές του IoT θα συλλέγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων από διάφορες συσκευές και αισθητήρες, γι' αυτό το 5G παρέχει υψηλές ταχύτητες σύνδεσης στο Διαδίκτυο για την αποτελεσματική συλλογή, μετάδοση, έλεγχο και επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Επιπλέον, το 5G είναι ευέλικτο και διαθέτει αχρησιμοποίητη διαθεσιμότητα φάσματος, καθιστώντας το μια αποτελεσματική και οικονομική λύση για την ανάπτυξη του IoT. (Dangi et al., 2022: 26). Σε πολλούς τομείς, τα οφέλη του 5G στο IoT είναι τα εξής:

α) Έξυπνα σπίτια: Με τον όρο αυτόν θεωρείται ότι έξυπνες οικιακές συσκευές και προϊόντα τεχνολογίας έχουν εγκατασταθεί σε αυτά για να διευκολύνουν τους ενοίκους τους και να προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια για αυτό και υπάρχει ζήτηση αυτές τις μέρες. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο δίκτυο 5G κάνει τα «έξυπνα» σπίτια πιο αληθινά, καθώς προσφέρει συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και παρακολούθηση έξυπνων συσκευών. Οι έξυπνες οικιακές συσκευές γίνονται προσβάσιμες ακόμα και από απόσταση. Παράλληλα προσφέρει επικοινωνία με πολύ υψηλή ταχύτητα χαμηλής καθυστέρησης (Dangi et al., 2022: 26).

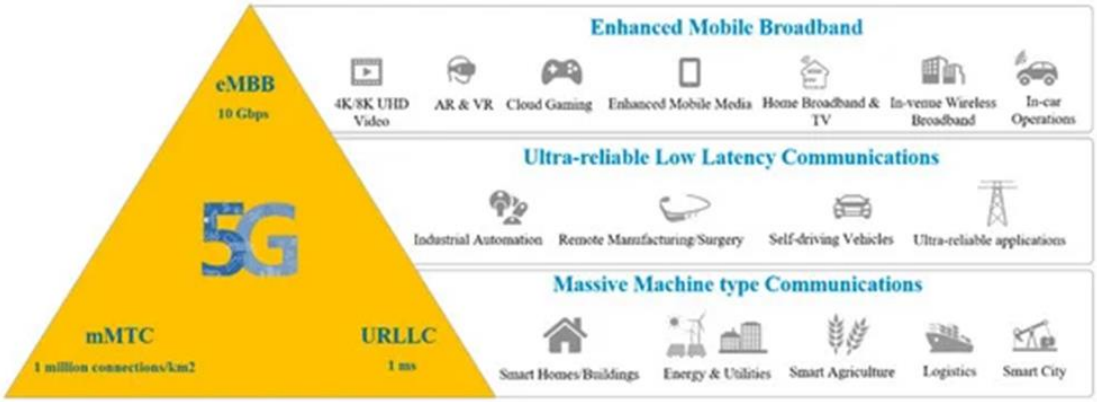
β) Έξυπνες πόλεις: Ανάλογα και σε μια πόλη το ασύρματο δίκτυο 5G μπορεί να προσφέρει εφαρμογές που θα βελτιώσουν τη ζωή των πολιτών. Χαρακτηριστικά με την αυτόματη διαχείριση κυκλοφορίας θα αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση, σε περίπτωση επί παραδείγματι ενός ατυχήματος ,καθώς θα προτείνονται εναλλακτικές. Επίσης με την ενημέρωση καιρού, οι πολίτες θα προετοιμάζονται και για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων. Με ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού θα

επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, και θα γίνει πιο αποτελεσματική η παροχή ρεύματος. Τέλος μπορεί να παίξει ουσιαστικό ρόλο στη διαχείριση υδάτινων πόρων, καθώς και στη διαχείριση πλήθους ,σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης κλπ. (Dangi et al., 2022: 26).

γ) Βιομηχανικό IoT: Στο 5G η ασύρματη τεχνολογία θα παρέχει πολλαπλές δυνατότητες για τις μελλοντικές βιομηχανίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ασφάλεια, η παρακολούθηση διεργασιών, η έξυπνη συσκευασία, η ναυτιλία, η ενεργειακή απόδοση, η αυτοματοποίηση εξοπλισμού, η προγνωστική συντήρηση και τα logistics. Η τεχνολογία έξυπνων αισθητήρων 5G προσφέρει παράλληλα πιο έξυπνες, ασφαλέστερες, οικονομικά αποδοτικότερες και με εξοικονόμηση ενέργειας στις βιομηχανικές λειτουργίες IoT (Dangi et al., 2022: 26).

δ) Έξυπνη γεωργία: Η τεχνολογία 5G θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη γεωργία και την έξυπνη γεωργία. Οι αισθητήρες 5G και η τεχνολογία Global Positioning System (GPS) θα βοηθήσουν τους αγρότες να παρακολουθούν ζωντανές επιθέσεις σε καλλιέργειες και να τις διαχειρίζονται γρήγορα. Αυτοί οι έξυπνοι αισθητήρες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, έλεγχο παρασίτων, εντόμων και ηλεκτρικής ενέργειας (Dangi et al., 2022: 26).

ε) Αυτόνομη οδήγηση: Το ασύρματο δίκτυο 5G προσφέρει από τη μια επικοινωνία υψηλής ταχύτητας και από την άλλη πολύ χαμηλή καθυστέρηση, στοιχεία που είναι σημαντικά για την αυτόνομη οδήγηση. Αυτό σημαίνει πως τα αυτοκινούμενα οχήματα θα χρησιμοποιηθούν στην καθημερινή ζωή σε σύντομο χρονικό διάστημα με ασύρματα δίκτυα 5G. Η χρήση αυτόνομων οχημάτων 5G μπορεί εύκολα να επικοινωνήσει με έξυπνα σήματα κυκλοφορίας, αντικείμενα και άλλα οχήματα που κινούνται οδικώς. Η λειτουργία χαμηλής καθυστέρησης του 5G κάνει την αυτόματη οδήγηση πιο ρεαλιστική, καθώς κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου είναι απαραίτητο για τα αυτόνομα οχήματα, αφού η λήψη αποφάσεων γίνεται μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα για την αποφυγή ατυχημάτων (Dangi et al., 2022: 26).



Εικόνα 13: Βασικά σενάρια χρήσης του 5G (https://www.mdpi.com/2673-4001/1/1/5)

Πιο αναλυτικά, στους κλάδους που μπορεί να συνεισφέρει το 5G είναι οι εξής:

4.1 Το 5G στην υγεία

Η τεχνολογία 5G θα φέρει εκσυγχρονισμό στην ιατρική, όπου οι γιατροί και οι επαγγελματίες θα μπορούν να εκτελούν προηγμένες ιατρικές διαδικασίες. Το δίκτυο 5G θα παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ όλων των αιθουσών διδασκαλίας, οπότε η παρακολούθηση σεμιναρίων και διαλέξεων θα είναι ευκολότερη. Μέσω της τεχνολογίας 5G, οι ασθενείς θα μπορούν να συνδέονται με τους γιατρούς και να λαμβάνουν τις συμβουλές τους. Οι επιστήμονες αναπτύσσουν έξυπνες ιατρικές συσκευές που μπορούν να βοηθήσουν ανθρώπους που υποφέρουν από χρόνιες παθήσεις. Συγχρόνως, το δίκτυο 5G αναμένεται να ενισχύσει τον κλάδο της υγείας με τη χρήση έξυπνων συσκευών, το διαδίκτυο των ιατρικών αντικειμένων, τους έξυπνους αισθητήρες, την υψηλής ανάλυσης τεχνολογία απεικόνισης (HD) και τα έξυπνα συστήματα ανάλυσης. Επιπλέον, το 5G θα βοηθήσει στην ευκολότερη πρόσβαση και αποθήκευση δεδομένων υγείας στο νέφος, κάνοντας την πρόσβαση στα δεδομένα αυτά δυνατή από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Έτσι, οι γιατροί και οι ασκούντες την ιατρική θα μπορούν με ευκολία να αποθηκεύουν και να μοιράζονται μεγάλα αρχεία, όπως εκθέσεις μαγνητικής τομογραφίας, μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα χρησιμοποιώντας το δίκτυο 5G (Dangi et al., 2022: 26).

4.1.1 Τηλεϊατρική

Η τηλεϊατρική χρησιμοποιείται σήμερα ώστε να προσφέρει υγειονομική περίθαλψη σε κατοίκους απομακρυσμένων νησιωτικών και ορεινών περιοχών. Αναπτύσσοντας σήμερα την τεχνολογία των δικτύων 5G δίνεται στους γιατρούς η δυνατότητα πρόσβασης σε ηλεκτρονικά αρχεία των ασθενών, σε ιατρικά δεδομένα και εικόνες τα οποία αποθηκεύονται σε περιβάλλον νέφους. Έτσι οι επαγγελματίες υγείας καταφέρνουν και να βελτιώσουν τις υπηρεσίες τους προς τους πολίτες αλλά και να μειώνουν το κόστος της περίθαλψης των ασφαλισμένων (Μίντης, 2018, σσ. 45-60).

4.1.2 Τηλεχειρουργική

Στο πλαίσιο ανάπτυξης του δικτύου 5G εντάσσεται και η χρήση του στη τηλεχειρουργική. Θα καταστεί εφικτή η χρήση εικονικών εργαλείων απομακρυσμένης αφής ώστε να διενεργούνται επεμβάσεις σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και τόπο. Πεπειραμένοι χειρουργοί θα μπορούν εξ αποστάσεως να συμμετέχουν υποστηρικτικά, προσφέροντας στους νέους γιατρούς την τεχνογνωσία τους αναφορικά με τις κατάλληλες τεχνικές που οφείλουν να εφαρμοστούν σε κάθε περίπτωση (Μίντης, 2018, σσ. 45-60).

Εικόνα 14: Η πρώτη εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση στον κόσμο με χρήση τεχνολογίας 5G. (https://www.huawei.com/)

4.1.3 Συσκευές ελέγχου υγείας

Οι φορητές συσκευές ελέγχου υγείας φέρουν αισθητήρες μέσω των οποίων άτομα – ασθενείς με χρόνιες παθήσεις παρακολουθούνται, τους γίνονται διαγνώσεις, θεραπεύονται ενώ υπάρχει η δυνατότητα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης να τους στέλνονται ιατρικές προειδοποιήσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα μέσω ακριβώς των δικτύων 5G. Οι πιο διαδεδομένες συσκευές που εξυπηρετούν αυτόν τον σκοπό είναι τα έξυπνα ρολόγια (smart watch) ενώ ερευνάται και η περίπτωση να ενσωματωθούν αδιάβροχοι αισθητήρες σε ανθρώπινα ρούχα. Χάρη σε αυτούς θα είναι δυνατή η μέτρηση τιμών όπως της αρτηριακής πίεσης, των καρδιακών παλμών, της θερμοκρασίας του σώματος και άλλων υγειονομικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Έτσι η τεχνολογία 5G καλείται να διαχειριστεί μια πρόκληση για την ανθρώπινη κοινωνία (Μίντης, 2018, σσ. 45-60).

4.2 Αυτόνομες υπηρεσίες 5G

4.2.1 Έξυπνες μεταφορές

Η έννοια των έξυπνων μεταφορών αναφέρεται σε ένα σύστημα μεταφορών που επιτρέπει βελτιωμένη ασφάλεια, υψηλότερη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα με τη βοήθεια μιας δικτυακής υποδομής. Το 5G σε συνδυασμό με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι μία από τις κύριες τεχνολογίες που επιτρέπουν την ανάπτυξη τέτοιων έξυπνων συστημάτων μεταφορών. Με τη βοήθειά τους τα συνδεδεμένα αυτοκίνητα και τα (RSUs) Roadside Units θα συμβάλλουν στην αποφυγή συγκρούσεων προειδοποιώντας τα οχήματα και θα βελτιώνουν τις διαδρομές ενός ειδικού δικτύου μεταφορών. Επιπλέον, θα προσφέρουν υψηλή ασφάλεια, υψηλές επιδόσεις και υπολογιστικό νέφος. Το 5G στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την αυτόνομη οδήγηση οχημάτων, ή ακόμα και αν πρόκειται για την περίπτωση διμοιρίας επαγγελματικών οχημάτων καθώς επίσης για την ασφάλεια και τον έλεγχο της κυκλοφορίας. Με την επινόηση λοιπόν αυτών των λειτουργιών αυτοματοποιημένης οδήγησης, τα αυτοκίνητα αυτόνομης οδήγησης αποτελούν το μέλλον των έξυπνων μεταφορών. Συγκεκριμένα, τα αυτοκίνητα

αυτόνομης οδήγησης διαθέτουν τη νοημοσύνη να αναγνωρίζουν, να αποφασίζουν και να ελέγχουν αναλόγως των περιστάσεων. Οι ενισχυμένες επικοινωνίες V2X (προς το άλλο όχημα, τις υποδομές και το δίκτυο) και οι αυτόνομες λειτουργίες έχουν σχεδιαστεί για να προλαμβάνονται και να αποφεύγονται τα ατυχήματα που προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη. Έτσι η έννοια του vehicle platooning αναφέρεται σε οχήματα που ταξιδεύουν μαζί, με δυνατότητες ημιαυτόνομης οδήγησης και που κινούνται συνδεδεμένα ακολουθώντας ένα επικεφαλής όχημα. Αυτό οδηγεί στην αύξηση τόσο του αισθήματος όσο και της πραγματικής ασφάλειας και άνεσης ενώ μειώνει την κυκλοφοριακή συμφόρηση και παράλληλα βελτιώνει την αποδοτικότητα. Η διμοιρία οχημάτων μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα μέσω της επικοινωνίας με σταθμούς βάσης 5G και των επικοινωνιών οχήματος με όχημα. Οι σταθμοί βάσης 5G μπορούν να καταλάβουν τις πληροφορίες θέσης και ταχύτητας των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο μέσω 5G με χαμηλή καθυστέρηση και μπορούν να υποστηρίξουν τη διατήρηση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των αυτοκινήτων. Η ασφάλεια και ο έλεγχος της κυκλοφορίας περιλαμβάνουν όλες τις υπηρεσίες για την εξασφάλιση της μέγιστης ασφάλειας σε κάθε είδους κατάσταση (Yu, Lee & Jeon, 2017: 1848).

Εικόνα 15: Το C-V2X ως λύση για συνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα (https://www.adlinktech.com/en/news/adlink-c-v2x-connected-autonomous-vehicles)

Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν την ανταλλαγή δεδομένων μεγάλου μεγέθους σε πραγματικό χρόνο και, στην περίπτωση των τερματικών σταθμών επιβατών, πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, συστήματα ψυχαγωγίας και βιντεοδιαφήμισης. Το V2X και ορισμένες άλλες εφαρμογές ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS) απαιτούν πολύ χαμηλή καθυστέρηση, πολύ χαμηλότερη από αυτήν που παρέχουν οι τρέχουσες τεχνολογίες. Επιπλέον, η ανάπτυξη των αυτόνομων και επόμενης γενιάς αυτοκινήτων απαιτεί τη χρήση συστημάτων ασφαλείας σε πραγματικό χρόνο που θα μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλα οχήματα και να λειτουργούν σε σταθερή υποδομή. Τα αυτοκίνητα του μέλλοντος πρέπει να διαθέτουν ρυθμό δεδομένων τουλάχιστον 1 Gbps για να μπορούν να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις. Ωστόσο, οι υπάρχουσες τεχνολογίες δεν είναι αρκετά ανεπτυγμένες για να υποστηρίξουν τέτοιο υψηλό ρυθμό δεδομένων μεταξύ χιλιάδων οχημάτων σε μια μικρή περιοχή. Ως αποτέλεσμα, η εισαγωγή της τεχνολογίας 5G είναι απαραίτητη για να παρέχονται υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο στα μελλοντικά αυτοκίνητα, και η σχεδίαση δικτύων 5G με χαμηλή καθυστέρηση θα ανοίξει την αγορά των έξυπνων μεταφορών σε εταιρείες ασύρματων δικτύων. Επιπλέον, η ακριβής τοποθέτηση είναι επίσης απαραίτητη για τα αυτόνομα οχήματα ώστε να μπορούν να αποκτήσουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση και την κίνηση των άλλων οχημάτων στο δρόμο (Yu, et al., 2017: 1848).

4.3 Δημόσιες υπηρεσίες 5G

4.3.1 Δομική παρακολούθηση κτιρίων και υποδομών

Ένας άλλος στόχος εφαρμογή του εν λόγω δικτύου είναι η δημιουργία μιας υπηρεσίας παρακολούθησης των δημόσιων/ιδιωτικών κτιρίων και αστικών υποδομών, η οποία μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε πολιτιστικά αγαθά. Συγκεκριμένα, οι σημαντικότερες δομικές παράμετροι πρέπει να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε η αποδοτικότητά τους να είναι πλήρως και άμεσα ορατή, καθώς θα είναι δυνατή η αναφορά τυχόν ανωμαλιών και κρίσιμων καταστάσεων ακόμη και σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης (π.χ. σεισμοί).

Οι ειδικοί θέλουν να πειραματιστούν βασιζόμενοι αφενός στη χρήση αισθητήρων εγκατεστημένων στα κτίρια και αφετέρου στη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones) που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο 5G. Τα τελευταία θα επιτρέπουν την ταχεία, αποτελεσματική και ακριβή συλλογή καρέ/στιγμιότυπων πολύ υψηλής ανάλυσης τα οποία, αφού υποβληθούν σε επεξεργασία με τη χρήση νευρωνικών δικτύων, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης των κτιρίων. Τα δεδομένα μπορούν να συγκριθούν με δεδομένα που είχαν συλλεχθεί προηγουμένως για τον προσδιορισμό τυχόν ζημιών (Marabissi et al., 2018: 4).

4.3.2 Παρακολούθηση καταστροφών

Πολλαπλοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση βουνών, θαλασσών και ραδιενεργά μολυσμένων χώρων, καθώς και για την ελαχιστοποίηση των ζημιών σε καταστάσεις καταστροφών. Αυτό θα είναι εφικτό καθώς θα παρέχεται γρήγορη ανταπόκριση μέσω της διασύνδεσης με δίκτυα δημόσιας ασφάλειας. Οι αισθητήρες μπορούν επίσης να εξασφαλίσουν την παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών και αλλαγών στο τοπίο με την ανίχνευση θερμοκρασιών, δονήσεων, ταχυτήτων ανέμου και κατεύθυνσης ανέμου. αισθητήρες ανίχνευσης ραδιενέργειας είναι πολύ χρήσιμοι γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των μεταβολών του δείκτη ραδιενέργειας σε ραδιενεργά μολυσμένες περιοχές. Αυτό μπορεί να συμβεί σε πραγματικό χρόνο και η αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών για τον έλεγχο πρόσβασης ή για υπηρεσίες ειδοποίησης ή για καταστροφές μπορούν να αποβούν πραγματικά χρήσιμες και σωτήριες. Επιπλέον, χρήσιμη θεωρείται και η εγκατάσταση αισθητήρων σε υποδομές, όπως φράγματα, γέφυρες και δρόμους ταχείας κυκλοφορίας ώστε να αξιοποιηθούν για τη συντήρηση τους ενώ ταυτόχρονα θα είναι εφικτή και η παρακολούθηση τους για να αποφευχθεί και η πιθανότητα κατάρρευσής τους. Προς το παρόν, τα εν λόγω δίκτυα παρακολούθησης χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα πρότυπα επικοινωνίας, όπως το Wi-Fi ή το ZigBee. Ωστόσο, αυτά τα δίκτυα δεν προσφέρουν την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) ούτε σε επίπεδο κάλυψης και ενεργειακής απόδοσης ούτε στην αξιοπιστία του δικτύου και την αποδοτικότητα κόστους. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα 5G μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στα δίκτυα δημόσιας ασφάλειας, γιατί μπορούν να θέσουν σε εφαρμογή το πρωτόκολλο υψηλότερης προτεραιότητας όταν συμβαίνει ένα συμβάν έκτακτης ανάγκης. Προς

αυτήν την κατεύθυνση οι ειδικοί καταλήγουν, ότι και η ενσωμάτωση των δορυφόρων στα μελλοντικά δίκτυα 5G θα είναι ένα ουσιαστικό κομμάτι της υποδομής για την παροχή λύσεων σε κρίσιμες καταστάσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δορυφόροι θα είναι σε θέση να παρέχουν υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και να διατηρούν το δίκτυο ενεργό και λειτουργικό ακόμα και σε περιπτώσεις καταστροφής. Η ενεργειακή απόδοση είναι ένα από τα κύρια ζητούμενα για τη διάρκεια ζωής των μπαταριών των αισθητήρων, καθώς η αξιοπιστία του δικτύου είναι απαραίτητη για τα δίκτυα παρακολούθησης καταστροφών. Για αυτόν το λόγο, η υπερ-ενεργειακή απόδοση και η υπερ-αξιοπιστία είναι βασικά χαρακτηριστικά στα δίκτυα 5G. Ταυτόχρονα, οι κύριες απαιτήσεις των δικτύων αισθητήρων, όπως η κάλυψη και η οικονομική αποδοτικότητα, πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη στα δίκτυα 5G (Yu, et al., 2017: 1848)

4.4 Το 5G στην ψυχαγωγία και τα μέσα ενημέρωσης

Το 5G θα οδηγήσει στη μεταμόρφωση των επιχειρηματικών μοντέλων των μέσων ενημέρωσης. Η νέα χωρητικότητα του δικτύου 5G και η ιλιγγιώδης ταχύτητα σημαίνουν ότι οι ετήσιες πωλήσεις των κινητών μέσων ενημέρωσης θα αυξηθούν κατά 420 δισεκατομμύρια δολάρια το 2028 ,αλλά και μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια. Έτσι, εύλογο είναι οι εταιρείες μέσων ενημέρωσης να πρωτοστατήσουν στην υιοθέτηση αυτών των νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Σύμφωνα με ειδικούς, η επέλαση του 5G στο μέλλον αναμένεται να επανασχεδιάσει τη διαφήμιση και τα παιχνίδια στο διαδίκτυο, προσδίδοντας μια νέα διάσταση στην αισθητική τους. Αντί για τα παραδοσιακά διαφημιστικά πλαίσια (banners), θα χρησιμοποιούνται κινούμενες εικόνες που θα ενσωματώνονται σε μια συναρπαστική εμπειρία, με τη χρήση διαφορετικών δυναμικών και βιομετρικών στοιχείων που θα παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η τεχνολογία αναμένεται να αλλάξει το μοντέλο της ψυχαγωγίας. Για παράδειγμα, εταιρείες θα εξετάζουν για τις συναυλίες σε παγκόσμιο επίπεδο τη δυνατότητα ζωντανής μετάδοσης μέσω επαυξημένης πραγματικότητας και πραγματικού χρόνου επεξεργασίας. Το 5G αναμένεται να έχει πολλαπλές εφαρμογές πέρα από τον κλάδο της ψυχαγωγίας (Gohar & Nencioni, 2021: 5188).

4.4.1 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα στην ψυχαγωγία

Η επόμενη γενιά κινητής τηλεφωνίας 5G, θα δημιουργήσει νέες δυνατότητες αλληλεπίδρασης με τα μέσα, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR), καθώς και τα παιχνίδια στο cloud που θα παρέχονται μέσω του 5G. Αν και οι έννοιες αυτές δεν είναι καινούργιες, η τεχνολογία του 5G θα τις καθιστά πιο προσιτές σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων. Για να αξιοποιηθεί πλήρως αυτό το δυναμικό της αγοράς, θα απαιτηθεί η δημιουργία περιεχομένου σε τρισδιάστατη μορφή και ένα οικοσύστημα για τη διαχείριση του. Η επαυξημένη πραγματικότητα θα δώσει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να συνδεθούν και να αλληλεπιδράσουν με τα μέσα μαζικής ενημέρωσης μέσω εικονικών αντικειμένων, χαρακτήρων και πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον. Με το 5G θα καταστούν δυνατές οι εφαρμογές επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας με συνολικά έσοδα άνω των 140 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Όταν συνδυάζεται με προηγμένες δυνατότητες VR, το 5G μπορεί να υποστηρίξει λειτουργίες υψηλής απόκρισης, προσφέροντας μια νέα διάσταση αίσθησης στην κατανάλωση πολυμέσων, όπως την αφή και την αίσθηση. Τα παιχνίδια νέφους βρίσκονται σε πρωτοποριακή θέση από άποψη χρήσης του δικτύου 5G. Σε οικονομικό επίπεδο, τα παιχνίδια AR θα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 90 τοις εκατό των πωλήσεων του 5G AR, συνολικού ύψους 35,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων παγκοσμίως. Επιπλέον, οι χρήστες του mobile cloud gaming θα επωφεληθούν από τη ροή υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο και τη γρήγορη απόκριση, γεγονός που καθιστά την εμπειρία του gaming ακόμη πιο συναρπαστική. Όσο αναφορά τα οικονομικά κέρδη μέχρι το 2028, εκτιμάται ότι τα συνολικά έσοδα για τα παιχνίδια κινητής τηλεφωνίας 5G, συμπεριλαμβανομένων των παιχνιδιών AR και cloud, θα ξεπεράσουν τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια (Gohar & Nencioni, 2021: 5188).

4.4.2 Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα στην Πολιτιστική Κληρονομιά

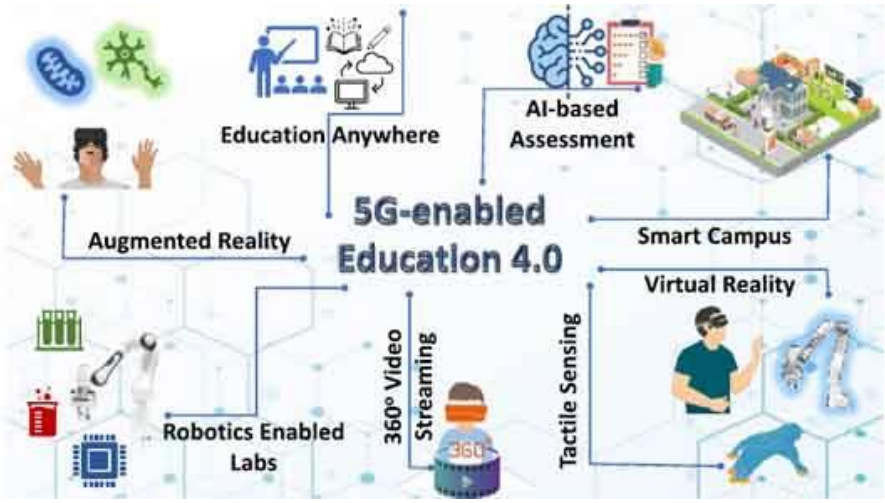
Ένας επιπλέον στόχος είναι η προώθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της παροχής νέων εμπειριών στους επισκέπτες, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως οι επισκέψεις 360 μοιρών σε εκκλησίες, μουσεία, ιστορικά κτίρια και αρχαιολογικούς χώρους, με περιεχόμενο που εμφανίζεται μέσω εικονικής πραγματικότητας (VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Επιπροσθέτως, η χρήση Smart Glass και η ζωντανή ροή στο διαδίκτυο ή στα κοινωνικά δίκτυα μπορούν να βελτιώσουν τις επισκέψεις με ξεναγό σε τοποθεσίες πολιτιστικής κληρονομιάς. Συνολικά, οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση και προώθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς με νέους και καινοτόμους τρόπους (Gohar & Nencioni, 2021: 5188).

Εικόνα 16: Χρήση εφαρμογής AR σε πολιτιστικά μνημεία (https://damirkotoric.com/portfolio/parthenon-ar)

4.5 Το 5G στην εκπαίδευση

Η πέμπτη γενιά κυψελοειδών επικοινωνιών 5G θα επιτρέψει νέες ευκαιρίες για τη μελλοντική εκπαίδευση, η οποία είναι γνωστή ως Εκπαίδευση 4.0. Το 5G έχει εξαιρετικές επιδόσεις και δυνατότητες που αποτελούν τα θεμέλια για υποστήριξη των αναδυόμενων τεχνολογιών στον συγκεκριμένο κλάδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) που θα

αλλάξουν το παιχνίδι, καθώς επιτρέπουν την ανταλλαγή φυσικών δεξιοτήτων μέσω των κινητών επικοινωνιών. Το ενισχυμένο Mobile Broadband (eMBB) με υποστήριξη εικονικής πραγματικότητας (VR) και η ροή βίντεο 360◦ θα παρέχουν καθηλωτική εμπειρία στους μαθητές σε εικονικές τάξεις. Ο τύπος μαζικής μηχανής επικοινωνιών (mMTC) που υποστηρίζεται από την έξυπνη πανεπιστημιούπολη θα επιτρέπει στους φοιτητές να ελέγχουν τη διαθεσιμότητα εγκαταστάσεων όπως αίθουσες διδασκαλίας, εργαστήρια και αθλητικός εξοπλισμός και να παρέχουν απομακρυσμένες υπηρεσίες κράτησης και προγραμματισμού (Kizilkaya, Zhao, Sambo, Li & Imran, 2021: 166962-166969)



Εικόνα 17: Χρήση του 5G στην εκπαίδευση (Burak Kizilkaya, Guodong Zhao, Yusuf A. Sambo, Liying Li, Muhammad Ali Imran)

4.5.1 Εκπαίδευση με εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality – VR)

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας, που αρχικά εφαρμόστηκε στον τομέα της ψυχαγωγίας, αναμένεται να χρησιμοποιηθεί μέσω των δικτύων 5G και στην εκπαίδευση. Η τεχνολογία αυτή θα παίξει σημαντικό ρόλο στην παροχή ποιοτικής εκπαίδευσης και στη βελτίωση της μάθησης με τη βοήθεια της επικοινωνίας μεταξύ των μαθητών. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, η διδασκαλία των μαθημάτων θα γίνει πιο ενδιαφέρουσα και διασκεδαστική, με τη δυνατότητα πραγματοποίησης εικονικών περιηγήσεων και αλληλεπίδρασης. Για παράδειγμα, στο μάθημα της ιστορίας, οι μαθητές θα μπορούν να περιηγηθούν εικονικά στον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης

και να μάθουν περισσότερα για την κλασική Αθήνα. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να βοηθήσει την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, επιτρέποντας σε μαθητές από απομακρυσμένες περιοχές να παρακολουθούν το μάθημα σε πραγματικό χρόνο και εικονικά, χωρίς καμία καθυστέρηση (Λιάμης, 2021, σσ. 49).

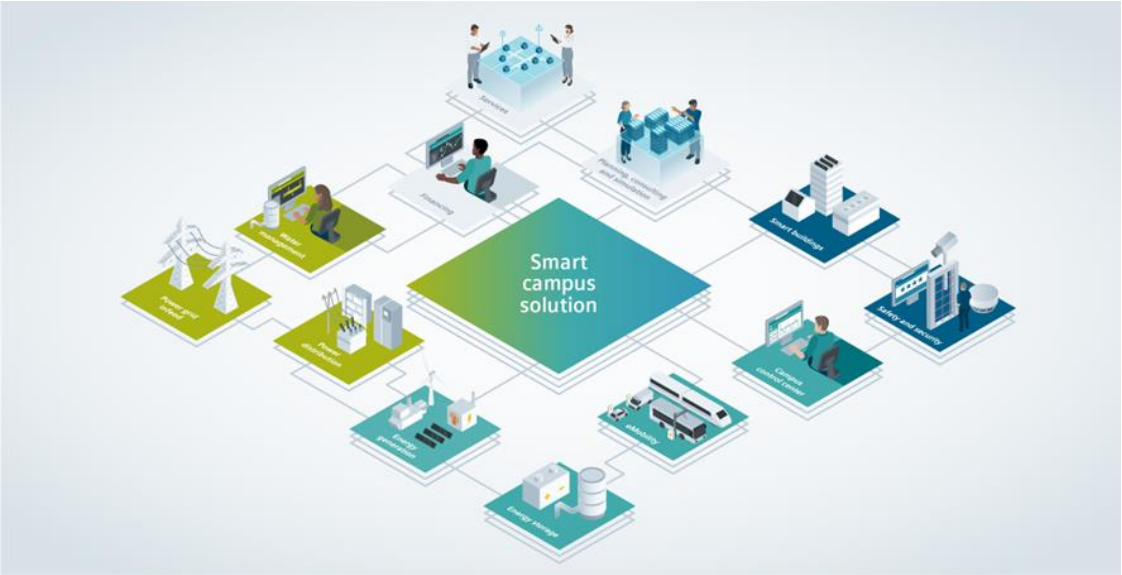
4.5.2 Εκπαίδευση με επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality – AR)

Η συμβολή του 5G στην τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) θα έχει καθοριστικό ρόλο στον τομέα της εκπαίδευσης, παρόμοια με την επίδραση της τεχνολογίας VR. Η χρήση της AR θα βοηθήσει στην κατανόηση του εκπαιδευτικού περιεχομένου από τους μαθητές, βελτιώνοντας παράλληλα την απόδοσή τους. Αυτό θα επιτευχθεί αρχικά μέσω της διδασκαλίας θεμάτων που δεν είναι εφικτό να βιώσουν άμεσα οι μαθητές (π.χ. φυσική, γεωγραφία, αστρονομία, βιολογία, κτλ.) και στη συνέχεια στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων τους, δίνοντας έμφαση στη δημιουργικότητα και τη φαντασία τους. Επιπλέον, η AR θα βοηθήσει τους δασκάλους και τους καθηγητές να ενισχύσουν τη συνεργασία τους με τους μαθητές/φοιτητές και να λαμβάνουν πληροφορίες για τις ιδιαίτερες ανάγκες ή δυνατότητες τους. Για να επιτευχθούν όλα αυτά, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις για το υλικό και τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται μέσω των δικτύων 5G (Λιάμης, 2021, σσ. 49).

4.5.3 «Έξυπνες» τάξεις και «έξυπνα» πανεπιστήμια

Οι εφαρμογές IoT θα επηρεάσουν επιπλέον και τον τρόπο που λειτουργούν όλες οι εκπαιδευτικές βαθμίδες. Αρχής γενομένης από τα πανεπιστημιακά ιδρύματα στα οποία έτσι και αλλιώς συνηθίζεται να τελούνται τεχνολογικές δοκιμές και να αναπτύσσονται γρηγορότερα από οποιοδήποτε άλλο κλάδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αυτόματη σύνδεση στο δίκτυο μόλις εισέλθει ο εκπαιδευόμενος στην τάξη. Επίσης χαρακτηριστική είναι η ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο των εκπαιδευομένων προς τους εκπαιδευτές ενώ αξιοσημείωτη είναι και η δυνατότητα της γρήγορης πρόσβασης σε εκπαιδευτικό υλικό από άλλα εκπαιδευτικά ιδρύματα τόσο εγχώρια όσο και του εξωτερικού. Αυτά και όχι μόνο αποτελούν μερικά μόνο παραδείγματα για το

πώς το IoT και η συνδεδεμένη τάξη είναι εφικτό να βελτιώσουν τη μαθησιακή και διδακτική εμπειρία (Λιάμης, 2021, σσ. 50).



Εικόνα 18: Έξυπνες λύσεις πανεπιστημιούπολης
(https://new.siemens.com/ie/en/markets/smart-campus.html)

4.5.4 Άυλες σχολικές τάξεις

Ο συνδυασμός του γρήγορου και άμεσου Internet που θα προσφέρει το δίκτυο 5G και η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας VR, αναμένεται να αλλάξει δραστικά τη μαθησιακή εμπειρία σε πολύ διαφορετικό επίπεδο σε σχέση με τη παρούσα κατάσταση. Η εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών θα διευκόλυνε τη δημιουργία εικονικών τάξεων που δεν απαιτούν απαραίτητα την ύπαρξη φυσικών αιθουσών διδασκαλίας. Με τη χρήση των εικονικών τάξεων, οι μαθητές θα μπορούν να μοιράζονται το εκπαιδευτικό υλικό και να αποκτούν γνώσεις ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Φυσικά, για την υλοποίηση μιας τέτοιας λειτουργίας θα απαιτείται από τα εκπαιδευτικά ιδρύματα (σχολεία ή πανεπιστήμια) να διαμορφώσουν κατάλληλους χώρους με τον απαραίτητο εξοπλισμό (Λιάμης, 2021, σσ. 50).

4.6 Το 5G στη βιομηχανία

4.6.1 Κατασκευαστική βιομηχανία

Η κατασκευαστική βιομηχανία διέρχεται μιας περιόδου αλλαγών εξαιτίας της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου η οποία έχει καταστήσει τους κατασκευαστές ικανούς ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η τεχνολογία θα παίξει έναν ουσιαστικό ρόλο στην ενδυνάμωση των κατασκευαστών οι οποίοι με τη σειρά τους θα μπορέσουν να καινοτομήσουν και να αγκαλιάσουν τις ευκαιρίες που θα τους παρουσιαστούν. Οι κατασκευαστές οφείλουν να ακολουθούν τις τεχνολογικές εξελίξεις τόσο των προϊόντων όσο και των διαδικασιών αφού αυτά βελτιώνονται συνεχώς. Παρατηρείται ότι «έξυπνες συσκευές» ενσωματώνονται ολοένα και περισσότερο στις κατασκευές οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η βιομηχανία 4.0 θα συνεχίσει να κυριαρχεί στην κατασκευαστική διαδικασία. Η βιομηχανία 4.0 συνδυάζοντας την τεχνητή νοημοσύνη και τα επιστημονικά δεδομένα στοχεύει στην εξακρίβωση της πιθανότητας εφαρμογής του διαδικτύου σε αντικείμενα (IoT Internet of Things). Κατά την διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας και της συναρμολόγησης τους συνδέονται σε μέρη αισθητήρες και μεταλλικές άκρες για να εντοπίζονται. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται επίσης για να βελτιώσουν την επίδοση των μηχανών, για να επιμηκύνουν το όριο ζωής τους, για να υπάρχει η δυνατότητα πρόβλεψης της φθοράς και επισκευής του εξοπλισμού και επιπροσθέτως για να μάθουμε πως μπορούν να επανασχεδιαστούν οι μηχανές ώστε να καταστούν πιο αποτελεσματικές. Όλα τα παραπάνω θα μείωναν το κόστος συντήρησης κατά 40% και θα περιέκοπταν κατά 50% τον χρόνο μιας απροσχεδίαστης αργίας. Επίσης παρέχουν την δυνατότητα στον κατασκευαστή να ενισχύσει τις εμπειρίες του πελάτη από τα αυξανόμενα ποσά δεδομένων που δημιουργούνται από τη βιομηχανία 4.0. Επιπροσθέτως, η χρήση πρόσθετων κατασκευαστικών τεχνολογιών σε διάφορες βιομηχανίες, τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί σημαντικά. Αυτές οι πρόσθετες κατασκευαστικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για να παράγουν προϊόντα τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες του καθενός. Η τεχνολογία προσφέρει μερικά σημαντικά οφέλη στην κατασκευαστική βιομηχανία όπως συντόμευση του

χρόνου παράδοσης των προϊόντων, ελαχιστοποίηση του χρόνου στον σχεδιασμό προϊόντων, γρηγορότερη ανταπόκριση στις απαιτήσεις των πελατών. Τέλος, η τεχνητή νοημοσύνη διαφαίνεται ότι έχει βαθύτατη απήχηση στην κατασκευαστική βιομηχανία με ποικίλους τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πολυπληθή δεδομένα που συλλέγονται και αποθηκεύονται από τους κατασκευαστές. Χάρη στην τεχνητή νοημοσύνη όλα αυτά τα δεδομένα μπορούν να εκλογικευτούν. Παράλληλα με την τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνεται η εξυπηρέτηση και υποστήριξη των πελατών (Attaran, 2021: 1-17).

4.6.2 Έξυπνα εργοστάσια

Οι κατασκευαστικές εταιρείες/βιομηχανίες ανά τον κόσμο βρίσκονται κάτω από εξαιρετικά, υπερβολική ανταγωνιστική πίεση λόγω του σύντομου κύκλου ζωής των επιχειρήσεων και των προϊόντων. Τα περιθώρια στενεύουν όσο ποτέ άλλοτε και το εργατικό δυναμικό γερνάει και καθίσταται ακόμα πιο δαπανηρή η διατήρησή του. Έτσι για να επιτύχουν παγκόσμια ανταγωνιστικότητα, οι εταιρείες κατασκευής και βιομηχανικές επιχειρήσεις πρέπει να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα τους και να μειώσουν το κόστος τους. Αυτό για να συμβεί, πρέπει να εφαρμοστούν καινοτομίες όπως η ρομποτική, η αυτοματοποίηση των αποθηκών τους, «έξυπνα» εργοστάσια και ευέλικτες κατασκευαστικές διαδικασίες. Τα 5G δίκτυα και το διαδίκτυο θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην πρόοδο του κλάδου της κατασκευής, καθώς θα επιτρέψουν στις επιχειρήσεις να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά. Οι τεχνολογίες 5G θα παρέχουν στις κατασκευαστικές εταιρείες/βιομηχανίες μια ευκαιρία να δημιουργήσουν έξυπνα εργοστάσια και να αξιοποιήσουν τεχνολογίες όπως την αυτοματοποίηση, την τεχνητή νοημοσύνη, αλλά και για την αντιμετώπιση προβλημάτων. Το 5G είναι σημαντική τεχνολογία για τη βιομηχανική ψηφιοποίηση καθώς θα ενισχύσει τη συνδεσιμότητα, την ποιότητα, την ταχύτητα και την ευρυζωνικότητα ενώ ταυτόχρονα ξεπερνιούνται προβλήματα σχετικά με την ανεπάρκεια της ευρυζωνικότητας, της ταχύτητας, της συνδεσιμότητας. Αναφορικά με την συνδεσιμότητα το 5G θα τη βελτιώσει σε ένα ευρύ δίκτυο αισθητήρων και θα προσφέρει προληπτική συντήρηση σε επιδαπέδιες εργοστασιακές μηχανές καθώς και σε ρομπότ. Τα δίκτυα των 5G θα επιτρέψουν μεγαλύτερη ευελιξία, χαμηλότερο κόστος, συντομότερο χρόνο παράδοσης μέσα από ορθολογικότερη διάταξη του εργοστασίου και μετατροπές. Επίσης αυτά θα

καταφέρουν να μεταμορφώσουν την παραγωγή, τα επιχειρηματικά μοντέλα και τις πωλήσεις με τρόπους που θα ωφελήσουν τη βιομηχανοποίηση. Τα μελλοντικά 5G δίκτυα και η τεχνολογία επεξεργασίας πληροφοριών είναι εφικτό να εξορθολογήσουν τα «έξυπνα» εργοστάσια, να βελτιώσουν τις εσωτερικές και εξωτερικές επικοινωνίες και να ενοποιήσουν τη διαχείριση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος σε ένα ενιαίο δίκτυο (Attaran, 2021: 1-17).

4.7 Το 5G στην έξυπνη γεωργία

Τα δίκτυα 5ης γενιάς μπορούν να εξυπηρετήσουν ανάγκες, ώστε οι γεωγραφικές εφαρμογές IoT να δίνουν τη δυνατότητα στους αγρότες να συλλέγουν σημαντικά δεδομένα με ταχύτητα και αξιοπιστία. Για να λειτουργούν όλα αυτά θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης σε Internet υψηλής ταχύτητας, σε κινητές συσκευές που κάνουν χρήση νεότερης τεχνολογίας καθώς και σε δορυφόρους που συνδυάζουν χαμηλό κόστος και αξιοπιστία. Βασικά εργαλεία ακριβείας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία είναι η πληροφορική και διάφορα είδη όπως οι αισθητήρες, συστήματα ελέγχου, ρομποτική, αυτόνομα οχήματα κ.ά. Παράλληλα, οι αγρότες θα μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση 5G δικτύου και των αισθητήρων στην γεωργία, καθώς θα έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις συνθήκες του κτήματος τους σε πραγματικό χρόνο και από οποιοδήποτε σημείο βρίσκονται στον κόσμο. Θα παρέχονται δυνατότητες αυτονομίας προϊόντων, δηλαδή να μπορούν να ληφθούν αποφάσεις οι οποίες θα αλλάξουν τη λειτουργική συμπεριφορά του εξοπλισμού ανάλογα με τις ανάγκες (Κοσμίδου, 2021, σσ. 32-33).

Ταυτόχρονα η τεχνολογία 5G προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα αυτοματοποιημένου ελέγχου μέσω προκαθορισμένων αλγορίθμων και βελτιστοποίησης της χρήσης ανάλογα με τις συνθήκες του πεδίου εφαρμογής. Επιπλέον, χάρη στις «έξυπνες συσκευές» θα υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής και λειτουργίας προϊόντων (π.χ. αγροτικός εξοπλισμός, μηχανήματα) για να καταστήσουν εφικτή την απομακρυσμένη παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης και συμπεριφοράς σε πραγματικό χρόνο. Επομένως το 5G μπορεί να οδηγήσει στη «ψηφιοποίηση της γεωργίας» μεταμορφώνοντας τον γεωργικό κλάδο αρκετών αναπτυσσόμενων οικονομιών ενώ η παράλληλη χρήση των έξυπνων συσκευών και

συστημάτων θα πυροδοτήσει αλλαγές που επηρεάζουν τη διάρθρωση υποκλάδων και αλυσίδων αξίας τροφίμων (Κοσμίδου, 2021, σσ. 32-33).

4.7.1 Χρήση UAV (Unmanned Aerial Vehicle - Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος)

Τα UAV χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα και συγκεκριμένα στην έξυπνη γεωργία ολοένα και συχνότερα τόσο για να παρακολουθούνται τα αγροκτήματα όσο και για να συλλέγονται δεδομένα στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η σύνδεση με το διαδίκτυο. Στο μέλλον θεωρείται ότι πολλά μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα σχεδιαστούν και θα αναπτυχθούν για την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών σε μεγάλες εκτάσεις. Αυτό σημαίνει ότι θα οδηγηθούμε στην αύξηση της κυκλοφορίας των εν λόγω αεροσκαφών. Σήμερα για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων από τα UAV και της μη απώλειας σύνδεσης τους με το κέντρο ελέγχου, προτείνεται ως λύση η χρήση του 4G. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι εξαιτίας της αυξημένης κίνησης στο μέλλον η διαχείριση και η αναγνώριση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ενδεχομένως να γίνει πολύπλοκη και κουραστική. Για αυτόν τον λόγο το δίκτυο 5G θεωρείται καταλληλότερο για την ενσωμάτωση και τη διαχείριση της κίνησης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Έτσι, και θα διευκολύνεται η επικοινωνία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε χαμηλό υψόμετρο και θα αυξηθεί η ασφάλεια και η προστασία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Εξίσου σημαντική καθίσταται η τεχνολογία 5G, καθώς δίνεται η δυνατότητα στους αγρότες να πετάξουν ένα UAV σε μεγάλη απόσταση είτε χειροκίνητα είτε μέσω προγραμματισμένων σημείων ελέγχου, ενώ τεχνικά, στο UAV μπορεί να διενεργηθεί έλεγχος από οποιοδήποτε σημείο στον κόσμο. Παράλληλα οι αγρότες θα έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως βίντεο υψηλής ανάλυσης και άλλα βασικά δεδομένα τηλεμετρίας από μη επανδρωμένα αεροσκάφη, με ταχύτερους και απρόσκοπτους τρόπους σε σύγκριση με τα παλαιότερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, τα UAV δεν απαιτούν μεγάλη επεξεργαστική και όλα τα δεδομένα είναι εφικτό να αποσταλούν στο νέφος (cloud) για επεξεργασία με ταχύτερο ρυθμό λόγω της τεχνολογίας 5G. Αυτό σημαίνει πώς μέσω της τεχνολογίας 5G, πολλαπλά μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να συνεργαστούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους με ακρίβεια και συγχρονισμό, επιτρέποντας αυτόνομη πτήση σε μια γεωγραφική περιοχή. Την ίδια

στιγμή ο μεγάλος όγκος δεδομένων που συλλέγεται μπορεί να αποθηκευτεί και να αναλυθεί για τη διενέργεια εργασιών λήψης αποφάσεων. Με την ευρεία κάλυψη και τη σταθερή επικοινωνία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G, μπορεί να επιτευχθεί η παράδοση γεωργικών προϊόντων στους καταναλωτές μέσω μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Επιπλέον, το 5G καλύπτει τρεις βασικές ανάγκες για τη σύνδεση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, συγκεκριμένα τη διαχείριση της κυκλοφορίας τους, τη δυνατότητα πτήσεων χωρίς οπτική επαφή και τη μετάδοση δεδομένων αισθητήρων (Τρέντσιος, 2022, σσ. 46-49).

Εικόνα 19: UAV πάνω από καλλιέργεια βαμβακιού (https://pixabay.com/photos/agriculture-drone-dji-agriculture-4208863/)

4.7.2 Εικονική διαβούλευση και προληπτική συντήρηση

Με την ανάπτυξη του 5G οι εμπειρογνώμονες του γεωργικού τομέα ή οι υπηρεσίες παροχής συμβουλών θα μπορούν να εξυπηρετούν τις ανάγκες των γεωργών μέσω εικονικών διαβουλεύσεων μέσα στην άνεση του σπιτιού, με τη χρήση βίντεο υψηλής ευκρίνειας χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία. Εκτός από τις συνήθεις τηλεδιασκέψεις, οι εμπειρογνώμονες ή οι συμβουλευτικές υπηρεσίες μπορούν να πετύχουν την άντληση απευθείας δεδομένων από τους αισθητήρες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο ή γεωργικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την απόκτηση λεπτομερούς εικόνας της κατάστασης καθώς και της παροχής τις απαραίτητων λύσεων

στους αγρότες ώστε να βελτιωθεί η γεωργική πρακτική εγκαίρως. Με τους ταχύτερους ρυθμούς απόκτησης δεδομένων και τη χαμηλή καθυστέρηση της τεχνολογίας 5G, πολλαπλά μηχανήματα και εξοπλισμός θα μπορούν να παρακολουθούνται για ενδεχόμενες βλάβες ή την κατάσταση των καυσίμων τους. Ως αποτέλεσμα θα επισκευάζονται χωρίς καμία καθυστέρηση ή διακοπή οποιωνδήποτε προσχεδιασμένων εργασιών. Με την εισαγωγή του 5G, προστίθεται ένα νέο παράδειγμα προηγμένης προληπτικής συντήρησης, όπου πολλαπλοί αισθητήρες τοποθετούνται σε διάφορα μηχανήματα και εξοπλισμούς για τη μέτρηση μεγάλου αριθμού διαφορετικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η πρόληψη προβλημάτων στο μηχάνημα ή στον εξοπλισμό και η επιδιόρθωση τους πριν προκληθεί ζημία ή δυσλειτουργία Στην ουσία με την προγνωστική συντήρηση, Ο αγρότης λαμβάνει πληροφορίες για τυχόν προβλήματα που ενδέχεται να αντιμετωπίσει στα εξαρτήματα του αγροκτήματος μέσω των αισθητήρων δυνατότητας 5G, επιτρέποντάς του να προγραμματίσει εγκαίρως τις επισκευές χωρίς να διακοπεί η λειτουργία τους. Αυτό το γεγονός θα μειώσει σημαντικά τον χρόνο διακοπής της λειτουργίας που προκύπτει από βλάβες ή ελαττωματικό εξοπλισμό (Τρέντσιος, 2022, σσ. 46-49).

4.7.3 Επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα στην γεωργία

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία και τα κιτ επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR) θα αποτελέσουν ένα θαυμάσιο εργαλείο για τους αγρότες με πολλούς τρόπους. Η AR μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες, όπως τα στατιστικά στοιχεία των καλλιεργειών, των μηχανημάτων, τη ζωντανή τροφοδοσία και τηλεμετρία των UAV, τις ενημερώσεις για τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες του εδάφους και του νερού, την ανίχνευση ασθενειών με τεχνητή νοημοσύνη για τα φυτά, την ανίχνευση παρασίτων, την εξέταση της καλλιέργειας κλπ. μέσω φορητών γυαλιών και smartphones. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα γυαλιά AR. Ο αγρότης φορώντας αυτά τα γυαλιά και κοιτάζοντας τις καλλιέργειες, θα μπορεί να αντλήσει ζωτικής σημασίας πληροφορίες, για τις καλλιέργειες του, όπως αν έχουν μολυνθεί ή αν είναι έτοιμες για συγκομιδή. Συνεπώς, οι αγρότες θα μπορούν να εκτελούν τις γεωργικές εργασίες με πιο παραγωγικό τρόπο, εξοικονομώντας χρόνο και αποφεύγοντας απώλειες στις καλλιέργειές τους, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη απόδοση. (Τρέντσιος, 2022, σσ. 46-49).

Εικόνα 20: Χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) στις καλλιέργειες (https://www.europeanbusinessreview.com/is-augmented-reality-in-agriculture-the-next-revolution-for-the-farming-industry/)

4.7.4 Ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη

Η συνεργασία μεταξύ της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και της τεχνολογίας 5G οδηγεί σε καινοτόμες εφαρμογές όπως η ζωντανή παρακολούθηση βίντεο, η απομακρυσμένη διάγνωση και συνταγογράφηση για την υποστήριξη της έξυπνης γεωργίας, και η βελτιωμένη λειτουργία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και των ρομποτικών συστημάτων μέσω της παρακολούθησης και ελέγχου των παραμέτρων τους. Οι γεωργικές βιομηχανίες αναμένεται να βιώσουν μεγάλες μεταβολές μέσω της χρήσης ρομποτικών συστημάτων και αυτόνομων συσκευών που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη. Τα θερμοκήπια είναι ένας ιδανικός χώρος όπου προσφέρεται η δυνατότητα να γίνει χρήση πολλαπλών τύπων ρομπότ, καθώς πρόκειται για ένα περιβάλλον με κλειστή και ελεγχόμενη δομή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι εφικτό να αναπτυχθεί σε ένα θερμοκήπιο ένας μεγάλος αριθμός ρομποτικών βραχιόνων για την εκτέλεση πολλών εργασιών, όπως η σπορά, η διανομή, το πότισμα και η συγκομιδή, αξιοποιώντας τα οφέλη από τη μεγάλη χωρητικότητα του δικτύου 5G. Τα ρομπότ

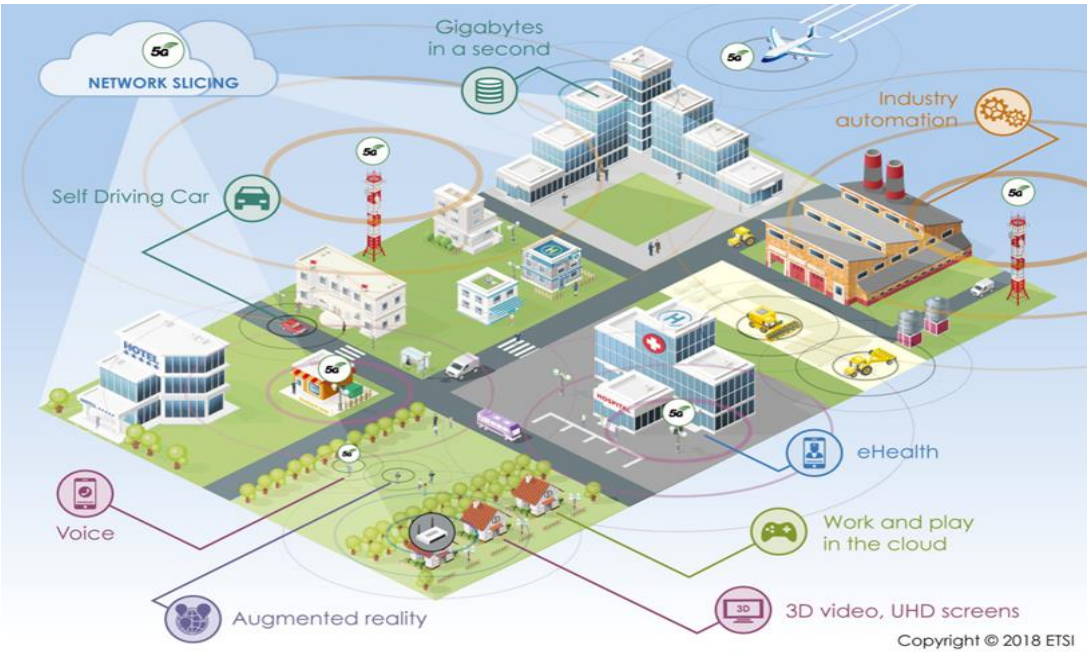
μπορούν να πλοηγηθούν στο περιβάλλον τους και να ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω ενός υπολογιστικού νέφους, με τη χρήση ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G. Με τη βοήθεια αισθητήρων, τα ρομπότ μπορούν να μεταδίδουν εικόνες και βίντεο σε πραγματικό χρόνο με χαμηλή καθυστέρηση. Επιπλέον, το δίκτυο τηλεφωνίας 5G επιτρέπει τον ταυτόχρονο έλεγχο πολλών αυτόνομων ρομπότ από απόσταση (Τρέντσιος, 2022, σσ. 46-49).

Εικόνα 21: Εξ αποστάσεως χρήση ρομπότ σε θερμοκήπιο (https://www.synox.io/en/smart-agriculture/smart-farming-agriculture-future/)

4.8 Το 5G στις έξυπνες πόλεις

Το 5G αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο για την παροχή καλύτερου δικτύου στον ολοένα εξελισσόμενο κόσμο μας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι έξυπνες πόλεις οι οποίες ενσωματώνουν τεχνολογίες πληροφόρησης και επικοινωνίας και βρίσκουν λύσεις σε σχέση με το 5G δίκτυο πάντα με έναν ασφαλή τρόπο, ώστε να διαχειρίζονται διαφορετικές λειτουργίες της πόλης. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν τα σχολεία, τις βιβλιοθήκες, τα συστήματα μεταφοράς, τα νοσοκομεία, τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα δίκτυα ύδρευσης, τη διαχείριση αποβλήτων, την επιβολή του νόμου και άλλες υπηρεσίες της κοινότητας. Είναι απαραίτητο να βρεθεί ένας τρόπος να συγκεντρωθούν δεδομένα από πολλά στρώματα, όπως η κυκλοφορία, ο ατομικές συναλλαγές, οι ανθρώπινες μετακινήσεις, η χρήση ενέργεια, η ασφάλεια και σημαντικά στοιχεία από τις σύγχρονες οικονομίες. Οι έξυπνες πόλεις έχουν τεράστια οφέλη, για

παράδειγμα η τεχνολογία του έξυπνου νερού μπορεί να εξοικονομήσει 12 δις δολάρια ετησίως. Επιπλέον, οι αισθητήρες που τοποθετούνται σε ιδιωτικά οχήματα δύναται να συνδεθούν με ευρύτερα συστήματα, βοηθώντας στη διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε όλη τη πόλη (Attaran, 2021: 1-17).

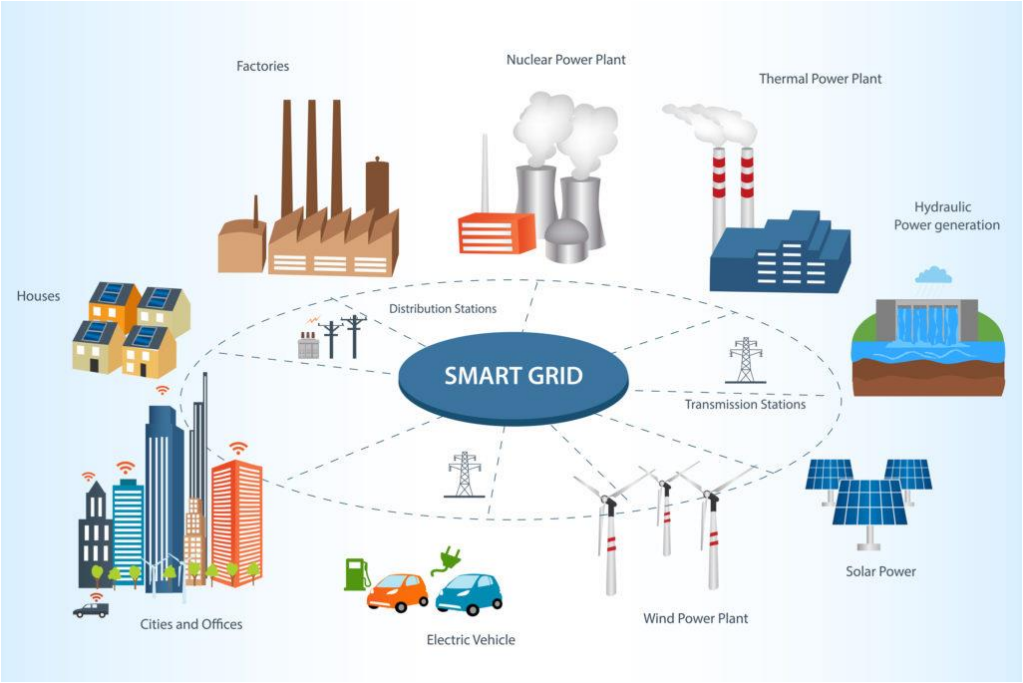


Εικόνα 22: Το 5G στην έξυπνη πόλη (https://www.etsi.org/technologies/5G)

4.8.1 Έξυπνο δίκτυο (Smart Grid)

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλλουν σημαντικά στην δημιουργία νέων εφαρμογών για αυτοματοποιημένο έλεγχο όλων των πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα στην διαχείριση, την διανομή και την κατανάλωση τους. Έτσι ένα «έξυπνο» δίκτυο διανομής ενέργειας (smart grid) θα περιέχει ένα μεγάλο αριθμό από αισθητήρες και θα χρησιμοποιεί την ψηφιακή τεχνολογία της πληροφορίας και των επικοινωνιών για να συγκεντρώσει πληροφορίες. Αυτές θα σχετίζονται με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών, επιτρέποντας έτσι στο «έξυπνο δίκτυο» να είναι πιο αποτελεσματικό, αξιόπιστο, παραγωγικό και να διανέμει την ενέργεια με αυτοματοποιημένο τρόπο. Ακόμα, το «έξυπνο δίκτυο» θα μπορεί ταχύτατα, με μεγάλη

ευκολία και ασφάλεια να εντοπίζει και να διορθώνει σφάλματα που θα παρουσιάζονται άμεσα. Παράλληλα, θα διαθέτει «έξυπνους» μετρητές που θα είναι εγκατεστημένοι σε σπίτια, γραφεία και επιχειρήσεις οι οποίοι θα αποστέλλουν δεδομένα μετρήσεων που θα αφορούν την κατανάλωση αγαθών όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, το νερό, η θέρμανση, το αέριο (Λιάμης, 2021, σσ. 33-34).



Εικόνα 23: Smard Grid για τη συγκέντρωση έξυπνων δικτύων
(https://innovationatwork.ieee.org/the-smart-grid-could-hold-the-keys-to-electric-vehicles/)

4.8.2 Έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο

Το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα παράδειγμα από τις εφαρμογές του διαδικτύου σε αντικείμενα. Από τους μετατροπείς του ηλεκτρικού ρεύματος μέχρι τους μετρητές του οικιακού ρεύματος βρίσκουμε αισθητήρες που δίνουν τη δυνατότητα διπλής επικοινωνίας. Οι ηλεκτρικές εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ηλεκτρικό δίκτυο, για να κάνουν τη διανομή ρεύματος πιο αποδοτική, για να είναι πιο ενεργές στη συντήρηση του δικτύου και φυσικά για να ανταποκρίνονται γρηγορότερα σε μια διακοπή λειτουργίας του. Το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο ενσωματώνει τα παραδοσιακά ηλεκτρικά συστήματα με την πληροφόρηση, την επικοινωνία και την τεχνολογία ελέγχου, ώστε να βελτιώσει τη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου, την ασφάλεια και τη λειτουργική αποτελεσματικότητά του. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ψηφιοποιούν τη μορφή, την κλίμακα, τη διαχείριση ενέργειας προκειμένου να αυξήσουν τα συστήματα και τη λειτουργική απόδοσή τους. Τα συστήματα επικοινωνίας των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων καλύπτουν όλους τους κόμβους του συστήματος ισχύος, από την παραγωγή και τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι τη μεταφορά, τη διανομή και της χρήσης της. Η νέα ψηφιοποιημένη εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος αποσκοπεί στη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος ενέργειας με την κατασκευή ασφαλών, σταθερών, υψηλών ταχυτήτων και χωρητικότητας δικτύων επικοινωνίας. Το 5G ενισχύει σημαντικά την ποσότητα των δεδομένων που στέλνονται και λαμβάνονται ενώ μπορεί να υποστηρίξει τις διαφορετικές απαιτήσεις του έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου. Το 5G είναι πιο αποτελεσματικό και ταχύτερο από τις οπτικές ίνες καθώς και από τις τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Επιπλέον, το σύστημα επικοινωνίας των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων διαθέτει τη δυνατότητα εναέριας ασύρματης συνδεσιμότητας και έχει εξαιρετικές ικανότητες ανάκαμψης μετά από μια καταστροφή. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την υψηλή ευρυζωνικότητα, την απρόσκοπτη κάλυψη ευρείας περιοχής και τη δυνατότητα περιαγωγής. Όλα αυτά καθιστούν την 5G τεχνολογία ιδανική για τα έξυπνα και ψηφιακά ηλεκτρικά δίκτυα (Attaran, 2021: 1-17).

Πρόσφατα μια μελέτη από τον Έρικσον (Ericsson 2018) αναγνώρισε διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους η ενέργεια και οι βιομηχανίες κοινής ωφελείας είναι δυνατόν να αντλήσουν αξία από την τεχνολογία των 5G δικτύων (Attaran, 2021: 1-17).

Πιο συγκεκριμένα:

- Βελτίωση των ενσωματωμένων νέων τεχνολογιών στο πλαίσιο των υπαρχόντων υποδομών τους.
- Βελτίωση της διαχείρισης μεγάλων όγκων δεδομένων και της απόδοσης ενέργειας μέσω αυτοματοποίησης των λειτουργιών.
- Ευκολότερη συνδεσιμότητα και παρακολούθηση απομακρυσμένων περιοχών, όπως τα αιολικά πάρκα.
- Βελτίωση του βιομηχανικού ελέγχου και της αυτοματοποίησης συστημάτων.
- Βελτίωση των εφαρμογών που συγκεντρώνουν και παρακολουθούν τα δεδομένα.
- Καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων που διανέμονται.
- Βελτίωση των αισθητήρων στα μικροδίκτυα.

(Attaran, 2021: 1-17).

Κεφάλαιο 5 - Οι επιπτώσεις και η εξέλιξη του 5G

5.1 Βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας

Παρατηρείται μια αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τις βιολογικές επιπτώσεις των ασύρματων τεχνολογιών στον άνθρωπο. Οι περισσότερες βιοηλεκτρομαγνητικές μελέτες έχουν διερευνήσει την έκθεση σε κινητά τηλέφωνα και ελάχιστες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη βιοσυμβατότητα των κυμάτων χιλιοστού. Παρότι, που οι βιολογικές επιδράσεις των mmWaves χαμηλής έντασης έχουν μελετηθεί παλαιότερα, ειδικά στην ανατολική Ευρώπη, τα αποτελέσματα από τις μελέτες είναι συχνά αντιφατικά διότι σχετίζονται με πολλούς παράγοντες, όπως είναι η συχνότητα, η διαμόρφωση, η πυκνότητα ισχύος και τη διάρκεια της έκθεσης, καθώς και τον τύπο του ιστού ή των κυττάρων που πραγματοποιήθηκε η έρευνα (Παπαδόπουλος, 2020, σσ. 29-30).

Η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) αποτελεί μια ανεξάρτητη επιστημονική επιτροπή εμπειρογνωμόνων, η οποία διαδραμάτιζε έναν επιστημονικό καθοδηγητικό σχετικά με τις επιδράσεις της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Ως στόχο της έχει την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος και για αυτόν τον λόγο συνεργάζεται με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) και άλλες κυβερνητικές υπηρεσίες για τη διαχείριση ενδεχόμενων προβλημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο και την επίλυση τους. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της επιτροπής αποτελεί το γεγονός ότι τα μέλη της δεν εργάζονται στη βιομηχανία προς αποφυγή παρερμηνείας του ρόλου τους ενώ η χρηματοδότηση τους προέρχεται από εθνικά και διεθνή δημόσια ιδρύματα. Η έμφαση που δίνεται από τη συγκεκριμένη επιτροπή για τη δημόσια υγεία διαφαίνεται και από το γεγονός ότι τον Μάρτιο του 2020, το ICNIRP παρείχε επικαιροποιημένες οδηγίες που εξασφαλίζουν την προστασία των ανθρώπων από όλους τους καθιερωμένους κινδύνους για την υγεία όταν εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων (RF-EMF) στο εύρος από 100 kHz έως 300 GHz (Κούτσι, 2023, σσ 29). Παράλληλα, ο περιορισμός της έκθεσης ολόκληρου του σώματος στο ICNIRP ορίζεται ως προς την ποσότητα της «SAR» (Specific Energy Absorption Rate - Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης Ενέργειας)

και ισχύει για το εύρος των συχνοτήτων από τα 100 kHz έως τα 300 GHz, σύμφωνα με τις ενημερωμένες κατευθυντήριες γραμμές του ICNIRP του 2020. Αυτό αντικατέστησε την προηγούμενη έκδοση του ICNIRP του 1998, η οποία εφάρμοζε αυτόν τον περιορισμό μόνο έως τα 10 GHz (Κούτσι, 2023, σσ 40).

Μέχρι στιγμής, μόνο οι θερμικές επιδράσεις εξαιτίας RF-EMF ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλής συχνότητας αναγνωρίζονται ως επιπτώσεις. Έρευνες που έχουν διενεργηθεί υποστηρίζουν ότι ειδικά οι εγκέφαλοι των παιδιών που βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη θεωρούνται πολύ πιο ευαίσθητοι και άρα απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με τους ενήλικες. Επομένως η έκθεση σε RF-EMF ακτινοβολία που εκπέμπεται ακόμα και από φορητές συσκευές, είναι ικανή να αποδειχθεί επικίνδυνη για την υγεία των παιδιών. Όσες περισσότερες ασύρματες συνδέσεις υπάρχουν τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απορρόφηση της ακτινοβολίας (Παπαδόπουλος, 2020, σσ. 29-30).

Οι κατευθυντήριες γραμμές του ICNIRP (2020) έχουν ανανεωθεί για να προστατεύουν όλα τα άτομα από τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που δύναται να προκαλέσει η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σύμφωνα με το ICNIRP, δεν έχουν ανιχνευθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία κάτω από τα νέα όρια του ICNIRP (2020) και δεν υπάρχει επιστημονική απόδειξη για την ύπαρξη δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία σε επίπεδα κάτω από τα όρια αυτά. Υπάρχουν μερικές αλλαγές στις κατευθυντήριες γραμμές για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως τα νέα όρια τοπικής έκθεσης και το διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων για τα τοπικά όρια SAR στις κινητές συσκευές. Οι ενημερωμένες κατευθυντήριες γραμμές έχουν άμεση εφαρμογή στην αξιολόγηση των κινητών και φορητών συσκευών που λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 6 GHz. Για την ενημέρωση όλων των εμπλεκομένων φορέων, απαιτείται η συνεχής αναθεώρηση και αξιολόγηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας, ώστε να αντικατοπτρίζονται με σαφήνεια οι τελευταίες συμβουλές σχετικά με τα όρια έκθεσης. Παρ' όλο που δεν έχουν διαπιστωθεί επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού από την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το ICNIRP εξετάζει όλα τα πιθανά σενάρια των αρνητικών επιπτώσεων και επιβάλλει περιορισμούς για να αποτρέψει τυχόν επιπτώσεις στην υγεία, ανεξάρτητα από τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης μεταξύ της έκθεσης και του ανθρώπινου σώματος. Οι περιορισμοί έχουν τεθεί βάσει των θερμικών επιδράσεων, καθώς τα χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης που μπορούν να

προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία προέρχονται από θερμικούς μηχανισμούς. Αυτοί οι περιορισμοί που θα μπορούσαν να προκύψουν σε υψηλά επίπεδα έκθεσης, έχουν στόχο την προστασία από τυχόν άλλες επιπτώσεις (Κούτσι, 2023, σσ 47-49).

5.2 Ανησυχίες για την ασφάλεια 5G

Σε μια σχετική σημείωση, αυτό το τεχνολογικό άλμα εγείρει επίσης μια τεράστια ανησυχία γύρω από την ασφάλεια. Οι δυνατότητες του 5G που καθιστούν δυνατό τον εικονικό έλεγχο ενός αυξανόμενου αριθμού προσωπικών αντικειμένων που συνδέονται μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα και τους κινδύνους από χάκερ και τρομοκράτες. Οποιοδήποτε αντικείμενο με δυνατότητες συνδεσιμότητας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μια επίθεση. Ερευνητές του Πανεπιστημίου Purdue και του Πανεπιστημίου της Iowa μελετούν τις ευαισθησίες που σχετίζονται με την ασφάλεια στο δίκτυο νέας γενιάς. Διαπίστωσαν απειλές που περιλάμβαναν τη δυνατότητα παρακολούθησης και κατασκοπείας των χρηστών με τη χρήση εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, μια παρενέργεια των δυνατοτήτων του δικτύου. Το TechCrunch ένας τεχνολογικός ιστότοπος προειδοποιεί ότι οι χάκερ θα είναι επίσης ικανοί να ενεργοποιούν ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μαζικό πανικό. Βλέπουμε ήδη μια αύξηση στην κλοπή ταυτότητας και πιο πρόσφατα, χάκερς που αποκτούν πρόσβαση σε ήχο και βίντεο μέσω τεχνολογιών "SMART" στα σπίτια των ανθρώπων. Τη δεδομένη στιγμή υπάρχουν αρκετές εν εξελίξει δίκες που σχετίζονται με τέτοιες παραβιάσεις της ασφάλειας και στις περισσότερες περιπτώσεις οι κατασκευαστές των προϊόντων αποποιούνται την ευθύνη (Linder, n.d).

Αν και η αξία του 5G φαίνεται να έχει παγιωθεί στη σύγχρονη αγορά, ωστόσο σημαντικές ανησυχίες για την ασφάλεια είναι αναπόφευκτες λόγω των συνεπειών από τις βελτιώσεις που θα παρέχει το 5G. Ορισμένες ανησυχίες προκύπτουν από το ίδιο το δίκτυο, ενώ άλλες αφορούν τη σύνδεση των συσκευών στο 5G. Πάντως και οι δύο περιπτώσεις θεωρούνται ότι θέτουν σε κίνδυνο τόσο τους καταναλωτές όσο και τις κυβερνήσεις και τις επιχειρήσεις. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ότι με πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων που αναμεταδίδονται ανά μονάδα χρόνου, είναι πιο

αποδοτικό για τους επιτήδειους να επιχειρήσουν την εξαγωγή δεδομένων σε δίκτυα 5G. Επιπλέον, οι εργαζόμενοι που έχουν ελεύθερη πρόσβαση στις προσωπικές τους συσκευές τους μπορούν να κατεβάσουν ένα κακόβουλο λογισμικό γρηγορότερα από ότι στο παρελθόν, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κανένα περιθώριο λάθους από τις επιχειρήσεις για ανεύθυνη χρήση συσκευών (Σακαλάκης, 2022, σσ. 53-54).

Η αυξανόμενη εξάρτηση από επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης σημαίνει ότι η σταθερότητα της σύνδεσης είναι το ζητούμενο για τους χρήστες. Εάν η σύνδεση στο δίκτυο διακοπεί, τα προβλήματα που θα προκληθούν με το δίκτυο 5G θα είναι περισσότερα και σοβαρότερα. Ενδεχομένως, στον τομέα της ιατρικής στην περίπτωση που θα γινόταν μια απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, μια απρόοπτη διακοπή, θα μπορούσε να οδηγήσει ακόμη και σε θάνατο του ασθενή. Επίσης, καθώς όλο και περισσότερες συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους, οι εταιρείες μπορούν να αυτοματοποιήσουν πολλές βασικές διαδικασίες, γεγονός που φαντάζει ιδανικό. Ωστόσο, υπάρχει και η περίπτωση με την αυτοματοποίηση να μεγεθύνονται τα προϋπάρχοντα οργανωτικά ελαττώματα. Έτσι εάν ένας οργανισμός δεν διαθέτει το κατάλληλο υπόβαθρο τεχνογνωσίας και κανείς δεν είναι υπεύθυνος για τη διόρθωση προβλημάτων, η αυτοματοποίηση μειώνει τις πιθανότητες κάποιος να εντοπίσει ένα βασικό ζήτημα. Επιπλέον, κατά τη μεταβατική περίοδο από τα δίκτυα 4G στα δίκτυα 5G, είναι πιθανό να μεταφερθούν ευάλωτα σημεία από τα παλαιότερα δίκτυα στα νέα. Τα δίκτυα 4G συνήθως έχουν λιγότερες κεραίες και περιορισμένη ταχύτητα και χωρητικότητα, κάτι που καθιστά ευκολότερη την παρακολούθηση της ασφάλειας από τους παρόχους σε πραγματικό χρόνο.,. Όσον αφορά όμως το δίκτυο του 5G λόγω του ότι αυτό θα διαθέτει πολύ περισσότερα σημεία δρομολόγησης κυκλοφορίας και για να είναι απόλυτα ασφαλή όλα αυτά πρέπει να παρακολουθούνται. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η ευρυζωνικότητα τόσο θα επιβαρύνεται η τρέχουσα παρακολούθηση και συντήρηση. Παράλληλα με όλα αυτά οι μη ασφαλείς περιοχές ενδεχομένως να θέσουν σε κίνδυνο και το υπόλοιπο δίκτυο. Βέβαια η προστιθέμενη ταχύτητα και όγκος του 5G θα οδηγήσει τις ομάδες ασφαλείας να επινοήσουν νέες μεθόδους για τον τερματισμό των απειλών, κάτι που ενδεχομένως θα δώσει μια αίσθηση ασφάλειας στους χρήστες. Άλλο ένα αρνητικό στοιχείο αφορά τις συσκευές IoT αφού πολλές κατασκευάζονται με κενά ασφαλείας αφού οι περισσότεροι κατασκευαστές δεν δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Βέβαια υπάρχει και το θετικό στοιχείο στο 5G που αφορά τη χρησιμότητα και τις δυνατότητες για το IoT, καθώς

περισσότερες συσκευές ενθαρρύνονται να συνδέονται με μερικά δισεκατομμύρια συσκευές. Αυτό όμως συνεπάγεται ότι υπάρχουν εκατομμύρια πιθανά σημεία παραβίασης ασφαλείας για τους χρήστες των συσκευών IoT. Για παράδειγμα, η αδυναμία κατάλληλης προστασίας στις έξυπνες τηλεοράσεις, τις κλειδαριές θυρών, τα ψυγεία, τα ηχεία και άλλες συσκευές, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ασφαλείας για το δίκτυο τους. Λόγω της απουσίας προτύπων ασφαλείας για τις συσκευές IoT σημαίνει ότι οι παραβιάσεις του δικτύου και η πειρατεία πιθανόν να είναι ανεξέλεγκτες. Ταυτόχρονα το γεγονός ότι δεν είναι επαρκής η κρυπτογράφηση στην αρχή της διαδικασίας σύνδεσης, και μπορεί να αποκαλύπτονται πληροφορίες των συσκευών, αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως υπάρχει πιθανότητα αυτές να χρησιμοποιηθούν για στοχευμένες επιθέσεις IoT σε συγκεκριμένες συσκευές. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τους εισβολείς να γνωρίζουν ποιες συσκευές είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο. Λεπτομέρειες όπως το λειτουργικό σύστημα και ο τύπος συσκευής αποτελούν επιπλέον βοήθεια στον σχεδιασμό των επιθέσεων τους με μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα σημεία ευπάθειας της κυβερνοασφάλειας υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν σε μια μεγάλη ποικιλία επιθέσεων (Σακαλάκης, 2022, σσ. 53-54).

Μερικές από τις γνωστές κυβερνοαπειλές αποτελούν:

- Οι επιθέσεις botnet, οι οποίες ελέγχουν ένα δίκτυο συνδεδεμένων συσκευών για να εξαπολύσουν μια τεράστια κυβερνοεπίθεση.

- Οι επιθέσεις (DDoS) γνωστή και ως κατανεμημένη επίθεση άρνησης εξυπηρέτησης που υπερφορτώνει ένα δίκτυο ή έναν ιστότοπο για να τον αποσυνδέσει.

- Οι επιθέσεις Man-in-the-Middle (MiTM) που παρακωλύουν και μεταβάλλουν αθόρυβα τις επικοινωνίες μεταξύ δύο πλευρών.

- Η παρακολούθηση τοποθεσίας και κλήσεων μπορούν να διενεργηθούν εάν κάποιος έχει έστω και λίγες μόνο γνώσεις με τα πρωτόκολλα σελιδοποίησης μετάδοσης.

(Σακαλάκης, 2022, σσ. 53-54).

5.3 Σκοπός του 6G

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλύσουμε την περαιτέρω επέκταση των δυνατοτήτων των συστημάτων επικοινωνίας, καθώς η έννοια του 6G έχει πρόσφατα αναδυθεί. Η δημιουργία ασύρματων συνδέσεων από το 1G στο 5G αποσκοπούσε στην δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων, κυρίως στις χερσαίες περιοχές ή περιβάλλοντα. Αν και υπάρχουν πολλές περιοχές στη γη που είναι αχανείς ωκεανοί, έρημοι και κοντινές περιοχές στο διάστημα, η επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 6G, έρχεται για να εξασφαλίσει συνδεσιμότητα και σε αυτές τις περιοχές. Μέσω της υποστήριξης ενός ολοκληρωμένου δικτύου από το έδαφος έως το διάστημα, η κάλυψη θα επεκταθεί σε ολόκληρη την επιφάνεια της γης και το εγγύς διάστημα. Αρκετές πρωτοπόρες εταιρείες έχουν ξεκινήσει έργα για την ενεργοποίηση δικτύων αυτού του είδους, όπως η SpaceX, η Amazon και η OneWeb. Προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των επικοινωνιών 6G, τα μελλοντικά ασύρματα συστήματα πρέπει να αναδιαμορφώνονται εύκολα και να είναι ευφυή. Με τον όρο αναδιαμορφώσιμότητα νοείται ότι αυτού του είδους τα συστήματα θα πρέπει να διαθέτουν ένα τέτοιο το υλικό ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση τους και η εναλλαγή στους τρόπους λειτουργίας τους. Βέβαια, με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, όπως η μηχανική μάθηση, ένα σύστημα 6G επιτάσσεται επίσης να είναι ευφυές για την παροχή ποιοτικότερων υπηρεσιών, όπως θεωρούνται η προσαρμογή στα περιβάλλοντα και οι αλλαγές της λειτουργικότητας (Hong et al., 2021: 101-122).

Μέσω της συνεχούς ανάπτυξης των συστημάτων 5G, αποκομίζουμε διδάγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του μελλοντικού συστήματος 6G. Το 5G εισήγαγε για πρώτη φορά τις στοχευμένες περιπτώσεις χρήσης βελτιωμένης ευρυζωνικής κινητής τηλεφωνίας (eMBB), εξαιρετικά αξιόπιστης επικοινωνίας χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) και μαζικών επικοινωνιών τύπου μηχανής (mMTC), που προορίζονται να εξυπηρετήσουν μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Ωστόσο, υπάρχει μια πληθώρα εφαρμογών για τις οποίες οι KPI 5G δεν είναι αρκετά αυστηροί. Καθώς συνειδητοποιούμε τις μεταβολές όσον αφορά την απόδοση, την καθυστέρηση, την κάλυψη, την ενεργειακή απόδοση και την αξιοπιστία, που σχετίζονται με τα συστήματα 5G, μπορούμε να τοποθετήσουμε

καλύτερα τις εφαρμογές που θα ωφεληθούν περισσότερο από το 6G (Akyildiz, Kak & Nie, 2020: 133995-134030).

Δεδομένων των παγκόσμιων προκλήσεων συνειδητοποιεί κανείς ότι το 6G επιβάλλεται να σχεδιαστεί με οδηγό αυτές καθώς αποτελούν σημείο αφετηρίας για την έναρξη ερευνών από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Από τη στιγμή που το 6G ενδέχεται να ανταπεξέλθει σε αυτές τις μεγάλες προκλήσεις, θα είναι αναγκαίο η τεχνολογία να υποστηρίξει τόσο την αποδοτική κάλυψη όσο και πρωτοποριακές υπηρεσίες. Επομένως, για να θεωρηθεί το 6G ξεχωριστό, απαιτείται οικουμενική συναίνεση σχετικά με το τι ακριβώς πρέπει να ενσωματωθεί στον όρο 6G. Μια πρότασή του πανεπιστημίου Surrey είναι ότι θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο τις ψηφιακές όσο και τις επικοινωνιακές υποδομές και έναν μελλοντικό συγκλίνοντα κόσμο σταθερής και κινητής τηλεφωνίας (στον οποίο η «κινητικότητα» θα αποτελεί πάντα σημαντικό συστατικό στοιχείο). Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να διατηρηθεί η διαλειτουργικότητα ή να εξασφαλιστεί παγκοσμίως μια κλίμακα οικονομιών. Όλα αυτά μπορούν να επιτευχθούν μέσω μιας συντονισμένης εισαγωγής που δικαιολογεί την ένταξη και τον καθορισμό ενός υψηλού πήχη έτσι ώστε να δικαιολογηθεί η προσθήκη σε οτιδήποτε δεν είναι συμβατό. Οι πρώιμες τεχνικές εργασίες, ήδη ξεκινήσαν σε όλο τον κόσμο και θα προσφέρουν συναρπαστικές εμπειρίες σε νέες υπηρεσίες και εφαρμογές. Οι ιδέες περιλαμβάνουν την καθηλωτική διευρυμένη πραγματικότητα (XR), την ψηφιακή αντιγραφή, την ασύρματη νοημοσύνη, την τηλεπαρουσία, τις ολογραφικές επικοινωνίες, τα φορητά δίκτυα, τα προσαρμοστικά υλικά, και χρήση εντελώς νέων ραδιοτεχνολογιών, όπως με ζώνες TeraHertz (THz) που υποστηρίζουν τη λειτουργικότητα αισθητήρων μικρής εμβέλειας. Καθώς το 5G έχει ήδη δώσει ώθηση σε ορισμένους τομείς της τεχνολογίας, θα είναι σημαντικό με την ανάπτυξη του 6G να διασαφηνιστεί από πού μπορούν να αποκομίσουν τα μεγάλα οφέλη. Για παράδειγμα, με τους φυσικούς περιορισμούς, καθίσταται όλο και πιο δύσκολο, από οικονομική άποψη, να υπάρξει βελτίωση στη φασματική αποδοτικότητα. Η καινοτόμος χρήση του φάσματος, ωστόσο, θα παραμείνει ένα ουσιαστικό ζήτημα. Επίσης αναμένεται να αναπτυχθεί μια σειρά νέων εμπορικών μοντέλων.[7]

---

[7] https://www.surrey.ac.uk/institute-communication-systems/5g-6g-innovation-centre/white-papers (πρόσβαση: 20 Ιανουαριου 2023)

5.4 Δυνατότητες του 6G

Σύμφωνα με την Ericsson, τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα πρέπει να βελτιωθούν και να επεκταθούν σε διάφορες διαστάσεις συγκριτικά με τα σημερινά δίκτυα, ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν ένα ευρύ φάσμα νέων και αναπτυσσόμενων υπηρεσιών. Αυτό περιλαμβάνει τη βελτίωση των κλασικών δυνατοτήτων, όπως οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, η καθυστέρηση και η χωρητικότητα του συστήματος, καθώς και την προσθήκη νέων δυνατοτήτων, οι οποίες μπορεί να είναι πιο ποιοτικές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι δυνατότητες των μελλοντικών ασύρματων δικτύων δεν θα πρέπει μόνο να ανταποκρίνονται στις σημερινές προβλεπόμενες περιπτώσεις χρήσης, αλλά θα πρέπει επίσης να επιτρέπουν μελλοντικές υπηρεσίες που δεν έχουν ακόμη οραματιστεί. Ξεκινώντας με τις κλασικές δυνατότητες, τα δίκτυα του μέλλοντος οφείλουν να πετυχαίνουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων με την όσο γίνεται χαμηλότερη καθυστέρηση σε όλα τα σχετικά σενάρια. Αυτό σημαίνει ότι στις δυνατότητες του περιλαμβάνεται και το στοιχείο ότι πρέπει να παρέχει αρκετές εκατοντάδες gigabits ανά δευτερόλεπτο ενώ η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο να είναι κάτω από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου σε συγκεκριμένα σενάρια. Ακόμη πιο σπουδαία φαίνεται να είναι η δυνατότητα παροχής συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας με προβλέψιμα χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλό ρυθμό jitter. Τα μελλοντικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης οφείλουν να είναι σε θέση να ικανοποιούν μια προοδευτική αυξανόμενη ζήτηση κίνησης με τρόπο που να αποδίδει οικονομικά. Η βασική τεχνολογία ραδιοπρόσβασης έχει την υψηλότερη φασματική αποδοτικότητα και η πρόσβαση σε πρόσθετο φάσμα αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για την βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Ωστόσο, η πραγματική αποδοτική ανάπτυξη πολύ πυκνών δικτύων είναι ακόμα πιο σημαντική. Παράλληλα είναι αναγκαία η επέκταση των ασύρματων επικοινωνιών προς την κατεύθυνση της πλήρους παγκόσμιας κάλυψης, ιδίως στις απομακρυσμένες περιοχές, προκειμένου να κλείσει το ψηφιακό χάσμα και να υποστηριχθεί ένας μεγαλύτερος αριθμός συσκευών που θα ενσωματωθούν σε όλη την κοινωνία. Ένα σημαντικό κριτήριο γι' αυτόν το στόχο είναι η βιωσιμότητα του κόστους τόσο για τους χρήστες όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών. Η απαίτηση για υψηλή ενεργειακή απόδοση στο δίκτυο ήταν σημαντική κατά την ανάπτυξη του 5G και θα είναι ακόμη πιο σημαντική στο μέλλον για τις ασύρματες επικοινωνίες. Είναι ζωτικής σημασίας η αύξηση της κίνησης στο δίκτυο να

μην έχει ως αποτέλεσμα αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Η επιτάχυνση της κίνησης δεν πρέπει να σημαίνει επιταχυνόμενη κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι σχεδόν μηδενική όταν δεν υπάρχει κίνηση σε έναν κόμβο. Γίνεται κατανοητό λοιπόν, ότι καθώς τα ασύρματα δίκτυα γίνονται όλο και πιο σημαντικά για την κοινωνία έτσι και οι δυνατότητες ανθεκτικότητας και ασφάλειας θα έχουν ύψιστη σημασία εξίσου. Βέβαια, τα δίκτυα είναι απαραίτητο να παρέχουν υπηρεσίες όταν μέρος της υποδομής τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω φυσικών καταστροφών, τοπικών ταραχών ή κοινωνικών καταρρεύσεων, και επιβάλλεται να παρέχουν ισχυρή αντίσταση έναντι σκόπιμων κακόβουλων επιθέσεων. Όσον αφορά την αξιοπιστία, τα δίκτυα θα πρέπει να είναι σε θέση να αξιοποιούν νέες τεχνολογίες εμπιστευτικής πληροφορικής, να βελτιώνουν τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών και να παρέχουν ενισχυμένη ταυτοποίηση και πρωτόκολλα ασφαλείας με διαβεβαίωση από άκρο σε άκρο.[8]

5.5 Βασικές υπηρεσίες του 6G

5.5.1 Τεχνολογία XR (Extended Reality - Διευρυμένη πραγματικότητα)

Η XR είναι ένας νέος όρος που συνδυάζει την VR, την AR και τη μικτή πραγματικότητα (MR). Έχει αποσπάσει μεγάλη προσοχή και έχει ανοίξει νέους ορίζοντες σε διάφορους τομείς, όπως η ψυχαγωγία, η ιατρική, η επιστήμη, η εκπαίδευση και η κατασκευαστική βιομηχανία. Η τεχνική ανάπτυξη για την υλοποίηση της XR βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη και νέες ρηξικέλευθες τεχνολογίες αναδύονται αδιαλείπτως. Ωστόσο, αυτό που στέκεται εμπόδιο μεταξύ των δυνατοτήτων και της πραγματικότητας του XR είναι το υλικό κατασκευής. Ειδικότερα, αυτές οι τεχνολογίες απαιτούν εξελιγμένους συντελεστές μορφής συσκευών, όπως τα φορητά εξαρτήματα για την υποστήριξη κινητού και ενεργού περιεχομένου λογισμικού. Οι σημερινές κινητές συσκευές δεν διαθέτουν επαρκείς δυνατότητες αυτόνομων υπολογιστών.

[8] https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g (πρόσβαση: 20 Ιανουαριου 2023)

Δυστυχώς, η πρόοδος στις επιδόσεις του υλικού, ιδίως στην κινητή υπολογιστική ισχύ και τη χωρητικότητα της μπαταρίας, δεν μπορεί να συμβαδίσει με αυτό που απαιτεί η έκρηξη του XR. Αυτή η ασυμφωνία θα μπορούσε να αποτρέψει σοβαρά την επέκταση της αγοράς. Στο ερώτημα κατά πόσο μπορούν να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις η απάντηση βρίσκεται στην μεταφόρτωση των υπολογιστών. Μια άλλη πρόκληση είναι η επαρκής ασύρματη χωρητικότητα. Αξιοπρόσεκτο αποτελεί και το γεγονός ότι η τρέχουσα AR τεχνολογία απαιτεί 55,3 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps) για την υποστήριξη της οθόνης 8K (με ένα εκατομμύριο σημεία), η οποία δυνητικά προσφέρει αρκετή εμπειρία στον χρήστη μέσα από μια οθόνη κινητού. Ωστόσο, προκειμένου να παρέχεται πραγματικά καθηλωτικό AR, η πυκνότητα θα πρέπει να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό και θα απαιτηθούν 0,44 gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps) απόδοσης (με 16 εκατομμύρια σημεία). Επιπλέον, η ροή μέσων XR μπορεί να έχει παρόμοιες απαιτήσεις με βίντεο ποιότητας 16K UHD (Ultra High Definition). Για παράδειγμα, το 16K VR απαιτεί ρυθμό μετάδοσης 0,9 Gbps (με λόγο συμπίεσης 1/400). Ο σημερινός ρυθμός δεδομένων 5G που βιώνει ο χρήστης δεν επαρκεί για απρόσκοπτη ροή. Αναμένεται ότι τα μεγέθη της αγοράς για VR και AR θα φθάσουν τα 44,7 δισεκατομμύρια δολάρια και 87 δισεκατομμύρια δολάρια, αντίστοιχα, έως το 2030.[9]

5.5.2 Κινητό ολόγραμμα υψηλής πιστότητας

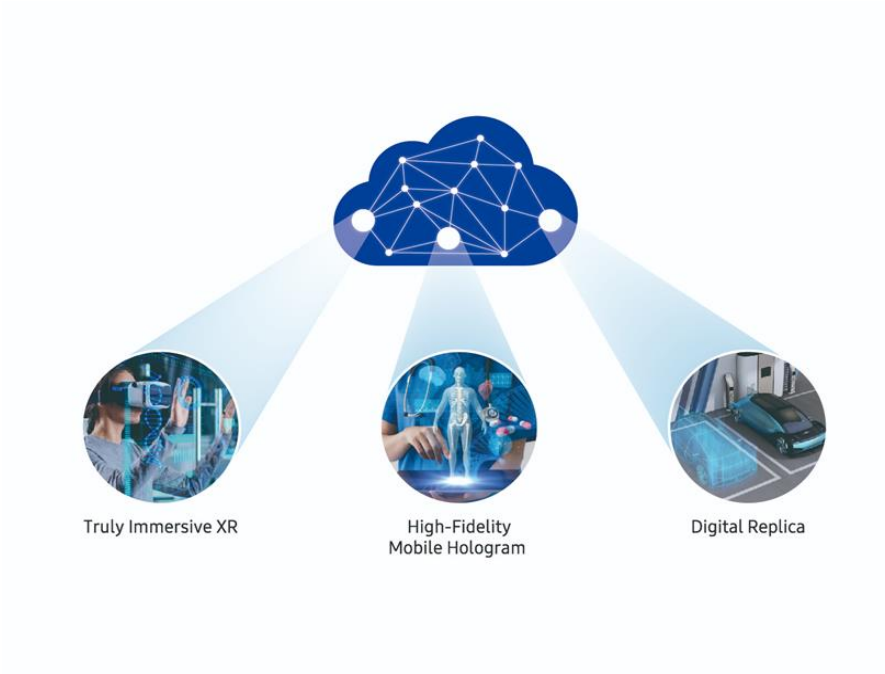
Με τον πρωτοφανή ρυθμό προόδου στην απόδοση υψηλής ανάλυσης, φορητές οθόνες και ασύρματα δίκτυα, οι κινητές συσκευές θα μπορούν να αποδίδουν μέσα για τρισδιάστατες ολογραφικές οθόνες. Το ολόγραμμα είναι μια τεχνολογία μέσων επόμενης γενιάς που μπορεί να παρουσιάσει χειρονομίες και εκφράσεις προσώπου μέσω μιας ολογραφικής οθόνης. Το περιεχόμενο προς εμφάνιση μπορεί να επιτευχθεί μέσω των τεχνικών μετάδοσης και τρισδιάστατης απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Για την πραγματοποίηση της ολογραφική απεικόνιση ως μέρος των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου απαιτείται υψηλότατος ρυθμός δεδομένων μετάδοσης, εκατοντάδες φορές μεγαλύτερος από αυτόν που προσφέρει το σύστημα 5G. Για παράδειγμα, το 19,1 Gigapixel απαιτεί 1 terabits ανά δευτερόλεπτο (Tbps). Επομένως, μια οθόνη ολογράμματος πάνω από μια κινητή συσκευή (εικονοστοιχείο ενός μικρομέτρου σε οθόνη 6,7 ιντσών, δηλαδή 11,1 Gigapixel) απαιτεί τουλάχιστον 0,58 Tbps. Επιπλέον, η υποστήριξη ενός ολογράμματος σε ανθρώπινο μέγεθος απαιτεί

σημαντικά μεγάλο αριθμό εικονοστοιχείων (π.χ. απαιτεί αρκετά Tbps). Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων που προσφέρει το σύστημα 5G είναι 20 Gbps. Οι ειδικοί διαβλέπουν ότι το 5G ενδεχομένως να μην μπορεί να υποστηρίξει έναν τέτοιο εξαιρετικά υψηλό όγκο δεδομένων όπως απαιτείται για μέσα ολογραμμάτων σε πραγματικό χρόνο. Έτσι καταλήγουν ότι για να μειωθεί το μέγεθος της επικοινωνίας των δεδομένων που απαιτείται για τις οθόνες ολογραμμάτων και την υλοποίησή τους είναι αναπόφευκτη η μετάβαση στην εποχή 6G. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) λοιπόν μπορεί να αξιοποιηθεί για να επιτευχθεί αποτελεσματικότερη συμπίεση, εξαγωγή και απόδοση των δεδομένων ολογραμμάτων. Για τις οθόνες ολογραμμάτων αναμένεται το μέγεθος της αγοράς να ανέλθει σε 7,6 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το έτος 2023.[9]

5.5.3 Ψηφιακό αντίγραφο

Με τη χρήση προηγμένων αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης και τεχνολογιών επικοινωνίας, είναι εφικτή η δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου των φυσικών οντοτήτων, όπως άνθρωποι, συσκευές, αντικείμενα και τοπία, το οποίο ονομάζεται «ψηφιακό δίδυμο». Σε ένα περιβάλλον 6G, θα δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να εξερευνήσουν και να παρακολουθήσουν την πραγματικότητα σε έναν εικονικό κόσμο, χωρίς χρονικούς ή χωρικούς περιορισμούς.. Η αναπαράσταση των ψηφιακών διδύμων θα επιτρέψει στους χρήστες να παρατηρούν αλλαγές ή να εντοπίζουν προβλήματα από απόσταση. Παράλληλα θα είναι εφικτή πέρα από την παρατήρηση και η αλληλεπίδραση των χρηστών με τα ψηφιακά δίδυμα, κάνοντας χρήση είτε συσκευών VR είτε ολογραφικών οθονών. Ένα ψηφιακό δίδυμο θα μπορεί να αναπαριστά οτιδήποτε με την αρωγή ενός τηλεχειριζόμενου συνόλου αισθητήρων και ενεργοποιητών. Συνεπώς, η αλληλεπίδραση ενός χρήστη με ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και να έχει αποτελέσματα στο φυσικό κόσμο. Για παράδειγμα ένας χρήστης θα μπορούσε να ελέγχει ένα ρομπότ σε μία απομακρυσμένη τοποθεσία, προχωρώντας σε σωματική μετακίνηση και αλληλοεπιδρώντας σε πραγματικό χρόνο με μια ψηφιακή αναπαράσταση του διδύμου της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Το θετικό στοιχείο που αποκομίζεται από όλη αυτήν την προσπάθεια είναι ότι με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης, της ψηφιακής αναπαραγωγής, της διαχείρισης του πραγματικού κόσμου και της ανίχνευσης μετριάζονται τα προβλήματα και μπορούν όλες αυτές οι ενέργειες να γίνουν

αποτελεσματικά χωρίς την παρουσία ή την ενεργητική επίβλεψη από έναν άνθρωπο. Σε περίπτωση επίσης που εντοπιστεί μια ανωμαλία στην αναπαράσταση του ψηφιακού διδύμου, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) μπορεί να αντιδράσει με τις κατάλληλες ενέργειες στον πραγματικό κόσμο, γεγονός που καθιστά σημαντική την αντιμετώπιση τεχνικών προκλήσεων. Προκειμένου, για παράδειγμα, να αντιγράψουμε μια περιοχή 1 m x 1 m, χρειαζόμαστε ένα Tera-pixel, το οποίο απαιτεί ρυθμό μετάδοσης 0,8 Tbps υποθέτοντας περιοδικό συγχρονισμό 100 ms και λόγο συμπίεσης 1/300. Εκτιμάται ότι η αναμενόμενη αξία της αγοράς για την ψηφιακή αντιγραφή θα φτάσει τα 26 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025.[9]



Εικόνα 24: Τρεις βασικές υπηρεσίες του 6G (https://news.samsung.com/uk/samsungs-6g-white-paper-lays-out-the-companys-vision-for-the-next-generation-of-communications-technology)

[9]https://www.samsung.com/global/business/networks/solutions/6g/ (πρόσβαση: 23 Ιανουαρίου 2023)

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα

Η πέμπτη γενιά των τηλεπικοινωνιών (5G) θα αποτελέσει μια σημαντική εξέλιξη στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας παρέχοντας νέες και μοναδικές δυνατότητες και υπηρεσίες. Η βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών στο διαδίκτυο θα είναι ένα από τα βασικά της πλεονεκτήματα, ενώ θα δημιουργήσει επίσης νέες εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης που δεν είχαν προηγουμένως υπάρξει. Επιπλέον, το 5G σε συνδυασμό με το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) αναμένεται να αλλάξει ριζικά την κοινωνία, παρέχοντας μια πλατφόρμα για να συνδέσει έναν τεράστιο αριθμό αισθητήρων, συσκευών απόδοσης με αυστηρούς περιορισμούς ενέργειας και μετάδοσης. Η επικείμενη χρήση της τεχνολογίας 5G θα προσφέρει εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες και μικρότερες καθυστερήσεις στην επικοινωνία, ενώ θα επιτρέπει και άλλες λειτουργίες που είναι απαραίτητες για τους πελάτες. Πολλοί τομείς όπως η βιομηχανία, η ενέργεια, η υγεία και η εκπαίδευση θα επωφεληθούν από τις νέες ασύρματες και διαδικτυακές τεχνολογίες. Ωστόσο, το δίκτυο πέμπτης γενιάς εγκυμονεί και κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και την ασφάλεια των δεδομένων των χρηστών, αυτό συνεπάγεται ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων. Ακόμη, το ανερχόμενο 6G θα αντικαταστήσει το προκάτοχό του καθώς θα ενσωματώνει ρηξικέλευθες και βελτιωμένες τεχνολογίες, που θα αλλάξουν το τοπίο των τηλεπικοινωνιών και θα επιφέρουν μια νέα επανάσταση σε αυτόν τον τομέα. Συνοψίζοντας, με την εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών ο άνθρωπος θα δημιουργήσει νέα κανάλια επικοινωνίας, ποιοτικότερα, ενώ θα παρέχει καλύτερες και περισσότερες υπηρεσίες. Με τον τρόπο αυτό το 5G θα προσφέρει απίστευτες προοπτικές, ο αναμενόμενος αντίκτυπος εν τέλει δε θα είναι μόνο η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών και της επικοινωνίας αλλά θα συμβάλλει καθοριστικά στην ψηφιοποίηση του σύγχρονου κόσμου.

Βιβλιογραφία

Αϊφωτίτης, Κ., & Θεοδοσίου, Σ. (2021). Το επερχόμενο τεχνικό πρότυπο 5G. Ιστορική αναδρομή και πορεία προς την 5η γενιά τηλεφωνίας, σελ. 1-2.

Αντωνίου, Π. (2019). Τεχνολογία κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς, σελ. 15-16)

Δήμου, Γ. Χ. (2021). New Services and Technologies in 5G Networks (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), σελ. 29-32.

Κακογιάννης, Γ. (2020). Μελέτη και αξιολόγηση των προτεινόμενων τεχνολογιών στα δίκτυα 5G και μεταγενέστερα (6G), σελ. 11.

Κοσμίδου, Γ. (2021). Το 5G ως μοχλός ανάπτυξης της Ελληνικής οικονομίας, σελ. 32-33.

Κούτσι, Ε. (2023). Μελέτη της έκθεσης του ανθρώπου σε Η/Μ ακτινοβολία από σταθμούς βάσης τεχνολογίας 5G (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς), σελ. 29-49.

Λιάμης, Α. (2021). 5G Δίκτυα στην Εκπαίδευση (No. GRI-2021-32383). Aristotle University of Thessaloniki, σελ, 21-51.

Μήτρος, Θ. (2021). Η ανάπτυξη των δικτύων 5G και οι αλλαγές που θα επιφέρουν σε κοινωνικοοικονομικό και τεχνολογικό επίπεδο (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς), σελ. 11-21.

Μίντης, Δ. (2020). Επικοινωνίες 5ης Γενιάς (5G): Εφαρμογές, τεχνολογίες και πρότυπα, σελ.45-60.

Παπαδόπουλος, Χ. Γ. (2020). 5G Δίκτυα και Υγεία (No. GRI-2020-28490). Aristotle University of Thessaloniki, σελ. 29-30.

Σακαλάκης, Ε. Γ. (2022). Η Ιδιωτικότητα σε Δίκτυα 5G (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), σελ. 45-54.

Τερζόπουλος, Λ. (2022). Τεχνολογίες και εφαρμογές των δικτύων 5G (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Τρέντσιος, Γ. (2022). Έξυπνη Γεωργία, τρόποι υλοποίησης προκλήσεις και ευκαιρίες, σελ. 46-49.

Aernouts, M., Berkvens, R., Van Vlaenderen, K., & Weyn, M. (2018). Sigfox and LoRaWAN datasets for fingerprint localization in large urban and rural areas. Data, 3(2), 13.

Agrawal, J., Patel, R., Mor, P., Dubey, P., & Keller, J. (2015). Evolution of mobile communication network: From 1G to 4G. International Journal of Multidisciplinary and Current Research, 3(5).

Akyildiz, I. F., Kak, A., & Nie, S. (2020). 6G and beyond: The future of wireless communications systems. IEEE access, 8, 133995-134030.

Albreem, M. A. (2015, April). 5G wireless communication systems: Vision and challenges. In 2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT) (pp. 493-497). IEEE.

Al-Falahy, N., & Alani, O. Y. (2017). Technologies for 5G networks: Challenges and opportunities. It Professional, 19(1), 12-20.

Attaran, M. (2021). The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-17.

Banafaa, M., Shayea, I., Din, J., Azmi, M. H., Alashbi, A., Daradkeh, Y. I., & Alhammadi, A. (2022). 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities. *Alexandria Engineering Journal*, 253-254)

Bhandari, N., Devra, S., & Singh, K. (2017). Evolution of cellular network: from 1G to 5G. International journal of engineering and techniques, 3(5), 98-105.

Bluetooth, https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/, (πρόσβασή στίς 20 Νοεμβρίου 2022)

Bogale, T. E., & Le, L. B. (2016). Massive MIMO and mmWave for 5G wireless HetNet: Potential benefits and challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 11(1), 64-75.

Chataut, R., & Akl, R. (2020). Massive MIMO systems for 5G and beyond networks—overview, recent trends, challenges, and future research direction. Sensors, 20(10), 2753.

Chaudhari, B. S., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. Future Internet, 12(3), 46.

Cosmote,https://www.growyourbusiness.gr/trends/ti_einai_to_NB_IoT_kai_giati_prepei_na_arxisei_na_sas_apasxolei (πρόσβαση: 20 Ιανουαρίου)

Dangi, R., Lalwani, P., Choudhary, G., You, I., & Pau, G. (2022). Study and investigation on 5G technology: A systematic review. Sensors, 22(1), 26.

Divya, R., and Aswini Prasad. "Fast Growing Generations Stepping To 5G."

EnOcean, https://www.enocean.com/en/technology/radio-technology/ (πρόσβαση: 6 Φεβρουαρίου 2023)

Ericsson, https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research outlook-towards-6g (πρόσβαση: 20 Ιανουαριου 2023)

Etsi, https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing (πρόσβαση: 22 Ιανουαρίου 2023)

Foubert, B., & Mitton, N. (2020). Long-range wireless radio technologies: A survey. Future internet, 12(1), 13.

Ghetie, J. (2008). Wireless Metropolitan Area Networking. In Fixed-Mobile Wireless Networks Convergence: Technologies, Solutions, Services (pp. 172-190).

Gohar, A., & Nencioni, G. (2021). The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability*, *13*(9), 5188.

Haas, H. (2016, October). LiFi: Conceptions, misconceptions and opportunities. In 2016 IEEE Photonics Conference (IPC) (pp. 680-681). IEEE.

Hong, W., Jiang, Z. H., Yu, C., Hou, D., Wang, H., Guo, C., ... & Zhou, J. Y. (2021). The role of millimeter-wave technologies in 5G/6G wireless communications. IEEE Journal of Microwaves, 1(1), 101-122.

Karthika, R., and S. Balakrishnan. "Wireless communication using Li-Fi technology." SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE) 2.3 (2015): 32-40.

Kaushal, K., Kaur, T., & Kaur, J. (2014). ZigBee based wireless sensor networks. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5(6), 7752-7755.

Kizilkaya, B., Zhao, G., Sambo, Y. A., Li, L., & Imran, M. A. (2021). 5G-enabled education 4.0: Enabling technologies, challenges, and solutions. *IEEE Access*, *9*, 166962-166969.

Lin, X., & Lee, N. (2021). Introduction to 5G and Beyond. 5G and Beyond: Fundamentals and Standards, 1-25.

Linder, B. Everything You Need to Know About 5G Risks.

Marabissi, D., Mucchi, L., Fantacci, R., Spada, M. R., Massimiani, F., Fratini, A., ... & Fedele, L. (2018). A real case of implementation of the future 5G city. *Future Internet*, *11*(1), 4.

Mihret, E. T., and G. Haile. "4G, 5G, 6G, 7G and Future Mobile Technologies." J Comp Sci Info Technol 9.2 (2021): 75.

Rahul, A., Rao, S., & Raghu, M. E. (2015). Near field communication (NFC) technology: a survey. International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI), 4(2), 133.

Sairam, K. V. S. S. S. S., Gunasekaran, N., & Redd, S. R. (2002). Bluetooth in wireless communication. IEEE Communications Magazine, 40(6), 90-96.

Salih, A. A., Zeebaree, S. R., Abdulraheem, A. S., Zebari, R. R., Sadeeq, M. A., & Ahmed, O. M. (2020). Evolution of mobile wireless communication to 5G revolution. Technology Reports of Kansai University, 62(5), 2139-2151.

Samsung, https://www.samsung.com/global/business/networks/solutions/6g/ (πρόσβαση: 23 Ιανουαρίου 2023)

Shi, Y., Han, Q., Shen, W., & Zhang, H. (2019). Potential applications of 5G communication technologies in collaborative intelligent manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, *1*(4), 109-116.

Sidhu, Bhavneet, Hardeep Singh, and Amit Chhabra. "Emerging wireless standards-wifi, zigbee and wimax." *World Academy of Science, Engineering and Technology* 25.2007 (2007): 308-313.

University of Surrey, https://www.surrey.ac.uk/institute-communication-systems/5g-6g-innovation-centre/white-papers (πρόσβαση: 20 Ιανουαριου 2023)

Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2015). Long-range IoT technologies: The dawn of LoRa™. Future access enablers of ubiquitous and intelligent infrastructures, 51-58.

Wi-Fi Alliance, https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi (πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2022)

Withanage, C., Ashok, R., Yuen, C., & Otto, K. (2014, May). A comparison of the popular home automation technologies. In *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA)* (pp. 600-605). IEEE.

Yu, H., Lee, H., & Jeon, H. (2017). What is 5G? Emerging 5G mobile services and network requirements. Sustainability, 9(10), 1848.

Nokia, https://www.nokia.com/networks/insights/critical-massive-iot/, (πρόσβαση: 23 Ιανουαρίου 2023)