

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

Π.Μ.Σ Τεχνοοικονομική Διοίκηση Τηλεπικοινωνιακών
Συστημάτων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ:

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G και οι αλλαγές που θα επιφέρουν σε
κοινωνικοοικονομικό και τεχνολογικό επίπεδο

ΜΗΤΡΟΣ ΘΩΜΑΣ

A.M.:ΜΤΔ1804

Επιβλέπων: ΣΙΩΚΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Αθήνα 2021

University of Piraeus

Department of Digital Systems

M.Sc Techno-economic Management of Telecommunication
Systems



MASTER THESIS

MOBILE COMMUNICATIONS:

**The deployment of 5G networks and the changes they will cause
at the socio-economic and technological level**

MITROS THOMAS

ID: MTD1804

Supervisor: SIOKAS EVANGELOS

Athens 2021

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομική Διοίκηση Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων» του τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Σιώκα για τις εύστοχες επισημάνσεις του και τη βοήθεια που μου παρείχε για την υλοποίηση και ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στηρίζουν καθημερινά όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1 Ιστορική Αναδρομή στις Τηλεπικοινωνίες -Ανασκόπηση	14
1.1 Ασύρματα Δίκτυα και Κυψελωτά Συστήματα Τηλεπικοινωνιών	17
1.2 Η εξέλιξη των δικτύων και της αγοράς κινητών επικοινωνιών.....	20
1.3 1G (1980) 1η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας	21
1.4 2G (1991) 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας.....	22
1.4.1 2.5G (GPRS)	23
1.4.2 2.75G (EDGE).....	23
1.5 3G (1999) 3η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας	24
1.5.1 3.5G (HSPA).....	25
1.5.2 3.75G (EHSPA).....	25
1.6 4G (2009) 4η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας	26
1.6.1 LTE & LTE-Advanced.....	27
1.7 Δίκτυα του μέλλοντος	28
1.8 Η εξέλιξη προς τα δίκτυα 5G	30
2 Δίκτυα 5G – Ανάλυση Θεωρητικού Πλαισίου	34
2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις Δικτύων 5G	36
2.2 Προϋποθέσεις Ανάπτυξης Δικτύων 5G.....	39
2.3 Χρονικός Ορίζοντας Υλοποίησης	44
2.4 Προτυποποίηση Δικτύων 5G.....	45
2.5 Νέοι τύποι υπηρεσιών που προσφέρει το 5G.....	48
2.6 Ευφυείς Υπηρεσίες & Τεχνητή Νοημοσύνη	51
2.7 Πρακτικές Εφαρμογές και Δυνατότητες του 5G.....	52
2.7.1 Internet of Things (IoT) – Διαδίκτυο των Πραγμάτων	53
2.7.2 Έξυπνες Πόλεις – Smart Cities	54
2.7.3 Αυτοκινητοβιομηχανία/Αυτόνομα Οχήματα	55
2.7.4 Εφαρμογές στην Ιατρική.....	56
2.7.5 Βιομηχανία & Logistics	57
2.7.6 AR & VR – Επαυξημένη & Εικονική Πραγματικότητα	58
3 Δίκτυα 5G – Ανάλυση Τεχνολογικού Πλαισίου.....	60
3.1 Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης	61
3.1.1 Φασματικές Περιοχές του 5G	62
3.1.2 mmWave και τεχνικές Beamforming.....	64

3.1.3	Massive MIMO	66
3.1.4	Ετερογενή Δίκτυα	69
3.1.5	Ultra Dense Networks –Πυκνοποίηση Δικτύων και ανάπτυξη των Small Cells	71
3.1.6	Συστήματα DAS.....	73
3.2	Δίκτυο Κορμού.....	75
3.2.1	Cloud RAN (C-RAN)	76
3.2.2	Network Function Virtualization	78
3.2.3	Software Defined Networks (SDN)	80
3.2.4	Network Slicing	83
3.3	Αρχιτεκτονική Backhaul	86
3.4	Αρχιτεκτονική Fronthaul.....	87
3.5	Standalone (SA)/Non Standalone(NSA) 5G NR.....	89
4	Τα Οφέλη σε Κοινωνικοοικονομικό Επίπεδο και ο Δείκτης Ετοιμότητας του 5G για την Ευρώπη	92
4.1	Στοιχεία του κλάδου κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως.....	92
4.2	Στοιχεία του κλάδου κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα	93
4.3	Απασχόληση και Προστιθέμενη Αξία.....	94
4.4	Διείσδυση κινητής ευρυζωνικότητας	96
4.5	Επενδύσεις και στρατηγική εκσυγχρονισμού του κλάδου	97
4.6	Κοινωνικές Επιπτώσεις και Οφέλη από τη χρήση του 5G.....	98
4.7	Οικονομικός Αντίκτυπος και Οφέλη από τη χρήση του 5G.....	100
4.8	Δείκτης 5G Readiness Index Για Ευρώπη και Ελλάδα	103
4.9	Ψηφιακή Ατζέντα 2020-2025.....	107
5	Προκλήσεις και Προοπτικές - Συμπεράσματα	110
5.1	Προκλήσεις και Προοπτικές.....	110
5.2	Συμπεράσματα.....	112
6	Βιβλιογραφία	114

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ο Τηλέγραφος του Morse.....	15
Εικόνα 2: Κυβελωτό Δίκτυο.....	19
Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική Δικτύου 2G – Πηγή: Cisco.....	23
Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική Δικτύου 3G – Πηγή: Aumedu.blogspot.com	25
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Δικτύου 4G – Πηγή: Secforce.blog.com.....	27
Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά Δικτύων 1G - 4G – Πηγή: EEKT.....	28
Εικόνα 7: Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων Δικτύων 2G-4G – Πηγή: EEKT.....	28
Εικόνα 8: Δίκτυα του Μέλλοντος – Πηγή: Βορδώνης - Χατζηνάκης, Διπλωματική Εργασία, Π. Πατρών	29
Εικόνα 9: Ιστορική Εξέλιξη Δικτύων 5G – Πηγή: Holma et al., 2020	31
Εικόνα 10: Φάσεις Σχεδιασμού 5G – Πηγή: Penttinen. 2019.....	31
Εικόνα 11: Ρυθμός Δεδομένων Ανά Έτος (2016-2021).....	35
Εικόνα 12: Στόχοι και Απαιτήσεις Δικτύων 5G – Πηγή: GSMA	38
Εικόνα 13: Τύποι Υπηρεσιών 5G	39
Εικόνα 14: Χρονικός Ορίζοντας Υλοποίησης 5G	45
Εικόνα 15: Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Προτύπων 5G - IMT 2020 – Πηγή: Kharbuli et al. 2018, JETIR	47
Εικόνα 16: Χρονοδιάγραμμα Προτύπων 5G - 3GPP – Πηγή: Semiengineering.com	47
Εικόνα 17: Περιπτώσεις Χρήσης 5G – Πηγή: Zdnet.com	49
Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά Περιπτώσεων Χρήσης 5G – Πηγή: Metis-ii.eu	51
Εικόνα 19: Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Πηγή: Senior.ceng.edu	54
Εικόνα 20: Έξυπνες πόλεις – Πηγή: Internetofbusiness.com	55
Εικόνα 21: Αυτόνομα οχήματα – Πηγή: Iot.eetimes.com.....	56
Εικόνα 22: Απομακρυσμένη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη – Πηγή: Huawei.....	57
Εικόνα 23: Έξυπνη βιομηχανία – Πηγή: 5G.co.uk news.....	58
Εικόνα 24: Επαυξημένη πραγματικότητα & εικονική πραγματικότητα – Πηγή: Ebiztrait.com....	59
Εικόνα 25: Γενική Αρχιτεκτονική RAN 5G – Πηγή: IEEE Communications and Surveys and Tutorials	62
Εικόνα 26: Φασματικές Περιοχές 5G – Πηγή: Carritech.com.....	63
Εικόνα 27: mmWave για access & backhaul λύσεις – Πηγή: Profratnarajah.org.....	65
Εικόνα 28: Τεχνολογία Beamforming – Πηγή: Slideshare 3G4GLtd.net.....	66
Εικόνα 29: SU MIMO εναντίων MU MIMO – Πηγή: Khan et al. 2014, Journal of Space Technology	67
Εικόνα 30: Τεχνολογία Massive MIMO – Πηγή: IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems	68
Εικόνα 31: Χαρακτηριστικά Τύπων Κυβελωτών Δικτύων – Πηγή: EEKT	70
Εικόνα 32: Ετερογενή Δίκτυα – Πηγή: Primefeed.in	71
Εικόνα 33: Πυκνοποίηση Δικτύων-UDN – Πηγή: IEEE Communications Magazine	72
Εικόνα 34: Γενική Αρχιτεκτονική Δικτύου Κορμού – Πηγή: Mollydpowellus.com.....	76
Εικόνα 35: Αρχιτεκτονική C-RAN – Πηγή: N. Panwar et al., 2015.....	77
Εικόνα 36: Βασικά Συστατικά C-RAN – Πηγή: Profratnarajah.org.....	78
Εικόνα 37: Αρχιτεκτονική NFV – Πηγή: Fir3net.com	80
Εικόνα 38: Αρχιτεκτονική SDN – Πηγή: Cse.wustle.edu.....	82
Εικόνα 39: Συνδυασμός SDN & NFV – Πηγή: Go.gale.com.....	83
Εικόνα 40: Τεχνολογία Network Slicing – Πηγή: IEEE Communications Magazine.....	85
Εικόνα 41: E-Band μικροκυματικές ζεύξεις στην Αθήνα για backhaul χρήση – Πηγή: Telekom.com	87
Εικόνα 42: Απεικόνιση Fronthaul Δικτύου – Πηγή: Itnsplight.com.....	88
Εικόνα 43: Δομή Fronthaul & Backhaul Δικτύου – Πηγή: IEEE Access.....	89

Εικόνα 44: Διάταξη Non Standalone vs Standalone – Πηγή: GSMA.....	90
Εικόνα 45: Επίδραση του κλάδου κινητών επικοινωνιών στο ΑΕΠ διεθνώς και στην Ευρώπη – Πηγή: GSMA	92
Εικόνα 46: Συμβολή στην απασχόληση – Πηγή: ΕΕΚΤ.....	95
Εικόνα 47: Προστιθέμενη αξία του κλάδου κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα (2008-2017) – Πηγή: IOBE	96
Εικόνα 48: Ταχύτητες λήψης κινητής ευρυζωνικότητας στην Ευρώπη – αποτυπωμένες σε χάρτη για την περίοδο του 2018 – Πηγή: 5G Networking, Learning 5G technology Gallardo	97
Εικόνα 49: Επενδύσεις στον τομέα των κινητών επικοινωνιών για την περίοδο 2010-2018 – Πηγή: IOBE	98
Εικόνα 50: Προβλέψεις στην Ευρώπη για το 5G – Πηγή: ΕΕΚΤ.....	102
Εικόνα 51: Ποσοστιαία αύξηση του ΑΕΠ στην Ελλάδα σε σχέση με την Ευρώπη 2025 – Πηγή: Accenture	103
Εικόνα 52: Οφέλη εγχώριων κλάδων της οικονομίας σε ποσοστά – Πηγή: Arthur D. Little & Ericsson.....	103
Εικόνα 53: Πίνακας που υποδεικνύει τον δείκτη ετοιμότητας 5G για Ευρωπαϊκές Χώρες – Πηγή: InCites	105
Εικόνα 54: Διάγραμμα του δείκτη ετοιμότητας 5G για τις μεσογειακές χώρες – Πηγή: InCites .	106

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γεγονός ότι στην εποχή που διανύουμε βρισκόμαστε στην αφετηρία της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης και της Ψηφιακής Οικονομίας. Το μόνο βέβαιο είναι ότι για να επιτευχθεί ο Ψηφιακός Μετασχηματισμός όλων των κλάδων της οικονομίας και της ανθρώπινης δραστηριότητας γενικά, είναι υψίστης σημασίας η διάδοση της κινητής ευρυζωνικότητας παντού, η χρήση των τεχνολογιών cloud και η διασύνδεση των αντικειμένων που μας περιβάλλουν στο διαδίκτυο. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός πρόκειται να είναι πολυεπίπεδος και σαρωτικός και φαίνεται να μας οδηγεί σε μια νέα εποχή δικτύων/υποδομών και υπηρεσιών, που θα αλλάξει τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε, διασκεδάζουμε και δημιουργούμε. Κομβικό ρόλο σε αυτήν την αλλαγή, αναμένεται να διαδραματίσουν τα κινητά δίκτυα 5G καθώς νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες θα δημιουργηθούν με την ανάπτυξη και την εφαρμογή τους.

Στη σύγχρονη εποχή, οι ασύρματες επικοινωνίες αποτελούν έναν τομέα που εξελίσσεται διαρκώς και έχει άμεση σχέση με τη βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας. Το συγκεκριμένο δέσιμο αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τη διαρκή εξέλιξη και την αισθητή βελτίωση των σύγχρονων ασύρματων δικτύων καθώς επίσης και των συστημάτων κινητών επικοινωνιών ευρείας ζώνης, προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες υψηλότερων προδιαγραφών στο συνεχώς και πιο αυξανόμενο σύνολο χρηστών. Πλέον ένα τεράστιο ποσοστό των κατοίκων σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο. Καθοριστικό ρόλο στο συγκεκριμένο ζήτημα παίζει η ραγδαία εξέλιξη της υψηλότερης τεχνολογίας τερματικών συσκευών, που παρέχουν περισσότερα οφέλη σε σχέση με τις απλές υπηρεσίες εικόνας, ήχου κλπ, όπως είναι για παράδειγμα η πλοήγηση στο internet, η μεταφορά αρχείων, η ζωντανή μετάδοση υπηρεσιών κλπ. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που οι σημερινοί πάροχοι αυτής της μορφής υποχρεούνται να αναβαθμίζουν διαρκώς τα δίκτυά τους.

Το 5G είναι κάτι περισσότερο από ένα εξελικτικό βήμα της νέας γενιάς κινητής τηλεφωνίας καθώς αντιπροσωπεύει τον θεμελιώδη μετασχηματισμό της έννοιας που έχει η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας στην κοινωνία. Όσο η ζήτηση για αδιάκοπη συνδεσιμότητα μεγαλώνει, το 5G δίνει την ευκαιρία για τη δημιουργία ενός ευέλικτου, ειδικά σχεδιασμένου δικτύου προσαρμοσμένου στις διαφορετικές ανάγκες των πολιτών και της οικονομίας.

Κατά αυτόν τον τρόπο, είναι σαφές και αντιληπτό ότι η ανάπτυξη των δικτύων 5G θεωρείται απαραίτητη και επιβεβλημένη. Μεγάλες ερευνητικές ομάδες από διάφορους παγκόσμιους και ευρωπαϊκούς οργανισμούς, εκπαιδευτικά ιδρύματα και επιχειρηματικές οντότητες που ασχολούνται με τον τομέα τηλεπικοινωνιών ανά τον κόσμο, έχουν θέσει ως προτεραιότητα να επιτευχθούν οι απαιτήσεις και οι στόχοι των 5G δικτύων. Συνοψίζοντας, είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) θα αποτελέσουν βασικό στοιχείο του ψηφιακού μετασχηματισμού της οικονομίας και της κοινωνίας ενώ σύμφωνα με πολλά σχέδια δράσης διαφόρων χωρών θα αποτελέσουν πυλώνα οικονομικής ανάπτυξης και κοινωνικής ευημερίας. Τα δίκτυα 5G θα επιδράσουν θετικά σχεδόν σε κάθε τομέα της οικονομίας και της βιομηχανίας

και η ενσωμάτωσή τους στους τομείς αυτούς σηματοδοτεί τη μετατροπή μιας τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών σε τεχνολογία γενικού σκοπού.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Κινητά Δίκτυα 5ης Γενιάς

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: 5G, Internet Of Things, AR, VR, Smart Cities, RAN, CN, SDN, NFV, MIMO, C-RAN, mmWave, Backhaul, δείκτης DESI, δείκτης ετοιμότητας 5G, Ψηφιακή Ατζέντα 2020-2025

ABSTRACT

It is a fact that in this day and age we are at the beginning of the 4th Industrial Revolution and the Digital Economy also. It is certain that in order to achieve the Digital Transformation of all sectors of the economy and human activity, the factors of paramount importance are the spread of mobile broadband, the use of cloud technologies and the interconnection of objects around us on the Internet. The digital transformation is going to be multi-layered and sweeping and seems to be leading us into a new era of networks / infrastructure and services, which will change the way we live, work, entertain and create. 5G mobile networks are expected to play a key role in this change as new business models and opportunities will be created with the deployment and implementation of them.

In modern times, wireless communications is an area that is constantly evolving and is directly related to the mobile phone industry. This binding is a crucial parameter for the continuous development and significant improvement of modern wireless networks as well as mobile broadband systems, in order to provide higher quality services to the increasing number of users. Nowadays, a huge percentage of people worldwide use mobile phones. Crucial role in this fact has the rapid development of high-tech terminals, which provide more benefits than simple video, audio, etc. services, such as Internet browsing, file transfer, live streaming services, etc. This is the main reason why today's providers of this form are constantly forced to upgrade their networks.

5G is more than just an evolutionary step of the new generation of mobile telephony as it represents the fundamental transformation of the meaning that mobile technology has in society. As the demand for seamless connectivity grows, 5G gives the opportunity to create a flexible, specially designed network tailored to the different needs of citizens and the economy.

In other words, it is clear and understood that the development of 5G networks is considered necessary and imperative. Large research teams from various global and European organizations, educational institutions and business entities dealing with the telecommunications sector around the world have set as a priority to achieve the requirements and goals of 5G networks. In summary, it is an indisputable fact that fifth generation (5G) networks will be a key element in the digital transformation of the economy and society while according to many action plans of different countries they will be a pillar of economic growth and social prosperity. 5G networks will have a positive impact on almost every sector of the economy and industry, and their integration into these sectors marks the transformation of a mobile communications technology into a general purpose technology.

SUBJECT AREA: 5G Mobile Networks

KEYWORDS: 5G, Internet Of Things, AR, VR, Smart Cities, RAN, CN, SDN, NFV, MIMO, C-RAN, mmWave, Backhaul, DESI Index, 5G Readiness Index, Digital Agenda 2020-2025

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 2020 θα μείνει στην ιστορία ως ένα έτος που διαδόθηκε ευρέως παγκόσμια αναστάτωση, που προκλήθηκε από μια πανδημία που έχει συγκλονίσει κάθε κοινωνία και που έχει επηρεάσει σημαντικά την καθημερινή ζωή και την παγκόσμια οικονομία. Ενώ οι προσεγγίσεις που αφορούν τον ιό διαφέρουν ανά χώρα, όλοι αντιμετωπίζουν ένα μέλλον με μη αναστρέψιμες αλλαγές ως προς τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε. Εκτός όμως από τις επίπονες αλλαγές που επέφερε η πανδημία, οι ιστορικοί του μέλλοντος θα έχουν να θυμούνται το 2020 ως τη χρονιά που ο πλανήτης στο σύνολό του έκανε ένα τεράστιο άλμα προς το ταξίδι της ψηφιοποίησης.

Η θεμελιώδης και πρωταρχική ανάγκη για συνδεσιμότητα υψηλής ποιότητας είναι ένας ακρογωνιαίος λίθος για αυτήν την αλλαγή, καθώς η ζήτηση για χωρητικότητα και κάλυψη των κινητών δικτύων συνεχίζει να αυξάνεται. Το (4G) LTE έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό με συνέπεια να έχει φτάσει στην ωρίμανσή του. Εφόσον μικρές βελτιώσεις και ελάχιστες ποσότητες νέου φάσματος μπορούν να εκχωρηθούν, είναι φυσικό για την επιστημονική κοινότητα να αναλογιστεί τι θα γίνει στο άμεσο μέλλον. Κάνοντας μια ανασκόπηση στο πρόσφατο παρελθόν, είναι εύκολα αντιληπτό ότι ανά δεκαετία οι τεχνολογίες κινητών δικτύων εξελίσσονται και αλλάζουν. Έτσι λοιπόν, διανύοντας τα πρώτα χρόνια της τρίτης δεκαετίας του 21^{ου} αιώνα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το 5G, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5ης γενιάς, δεν είναι πλέον απλά μια καινοτομία ούτε αφορούν μόνο ερευνητικά και επιστημονικά ιδρύματα. Αντ' αυτού, μπαίνουν δυναμικά στην επόμενη φάση, όπου πολλές νέες συσκευές και εφαρμογές τελικού χρήστη αξιοποιούν στο έπακρο τα τεχνολογικά οφέλη που παρέχει, όσο ταυτόχρονα οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως συνεχίζουν την ανάπτυξη του 5G.

Μέχρι το τέλος του τρέχοντος έτους πάνω από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι, ή το 15 τοις εκατό του παγκόσμιου πληθυσμού, θα ζει σε περιοχές κάλυψης 5G. Καθώς η κοινωνία αλλάζει γρήγορα, είναι σαφές ότι τα κυψελοειδή δίκτυα είναι μια κρίσιμη υποδομή που θα συνεχίσει να υποστηρίζει πολλές πτυχές της καθημερινής μας ζωής. Στη σημερινή εποχή, οι περισσότεροι χρήστες κάνουν χρήση του internet παντού. Δεν είναι ελάχιστα τα περιστατικά, όπου άτομα συνεργάζονται εξ αποστάσεως και προσφέρουν είτε εκμεταλλεύονται διαφορετικές δικτυακές υπηρεσίες, όπως είναι για παράδειγμα το ηλεκτρονικό εμπόριο, το e-banking, η ηλεκτρονική μάθηση, η εργασία εξ αποστάσεως κλπ. Με την ανάπτυξη του 5G τέτοιου τύπου εφαρμογές θα υλοποιούνται ταχύτερα και αποτελεσματικότερα, δίχως προβλήματα συνδεσιμότητας. Το πιο σημαντικό όμως, είναι οι νέοι τύποι εφαρμογών που θα προκύψουν με τη χρήση του 5G με παραδείγματα όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, η τηλεϊατρική, τα αυτόνομα οχήματα και άλλες εφαρμογές που θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

Επομένως, γίνεται εύκολα κατανοητή η απαίτηση του σύγχρονου επιστημονικού τομέα κινητών επικοινωνιών για διεξοδική διερεύνηση, ανάπτυξη και προβολή της πέμπτης γενιάς κινητών δικτύων, είτε όπως καλείται εν συντομία της τεχνολογίας 5G, που καλούμαστε να μελετήσουμε στη συγκεκριμένη διπλωματική

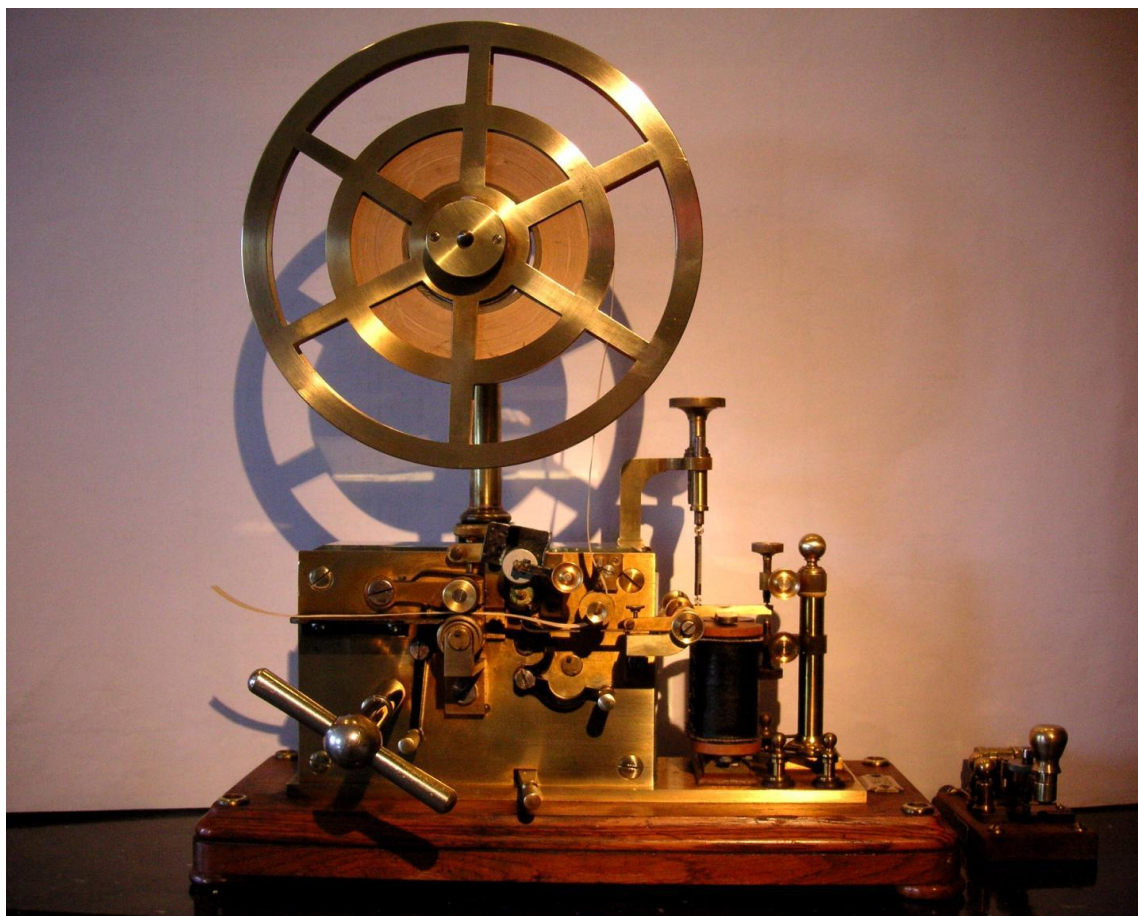
διατριβή. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί η εκτενής έρευνα για την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G και του αντίκτυπου που θα έχει στο κοινωνικό σύνολο. Για να επιτευχθεί ο εν λόγω στόχος θα υλοποιηθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, μέσα από ελληνικές, διεθνείς και διαδικτυακές βιβλιογραφικές πηγές οι οποίες θα αναλύουν ενδελεχώς το θεωρητικό, το τεχνολογικό πλαίσιο, όπως επίσης τις κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις που θα έχει στο μελλοντικό κόσμο αλλά και τον δείκτη ετοιμότητας 5G που αφορά τις Ευρωπαϊκές χώρες.

1 Ιστορική Αναδρομή στις Τηλεπικοινωνίες - Ανασκόπηση

Αποτελεί αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι η κινητή τηλεφωνία και τα ασύρματα συστήματα δικτύων έφεραν μια μεγαλειώδη επανάσταση τόσο στις τηλεπικοινωνίες όσο και σε πολλές άλλες πτυχές της κοινωνικής και οικονομικής ζωής σε όλο τον πλανήτη. Από τις απαρχές του ανθρώπινου πολιτισμού, η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων είχε εξέχουσα σημασία. Ως επικοινωνία (communication) ορίζουμε τη μετάδοση πληροφορίας από ένα σημείο σε ένα άλλο, μέσω μιας ακολουθίας διαδικασιών. Μεγαλύτερη σημασία μερικές φορές όμως, έχει η μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Για αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκαν οι τηλεπικοινωνίες. Με τον όρο “Τηλεπικοινωνίες” ορίζεται η μετάδοση πληροφοριών, δηλαδή η επικοινωνία μεταξύ δύο σημείων, τα οποία απέχουν κάποια απόσταση, όπως είναι φανερό και από την ετυμολογία του όρου: το πρόθεμα “τηλέ-” προσδίδει την έννοια της μεγάλης απόστασης, στο δεύτερο συνθετικό, της λέξης “επικοινωνία”, δηλαδή επικοινωνία από απόσταση.

Η βιομηχανία των Τηλεπικοινωνιών έχει να παρουσιάσει τη δική της ιστορία, εξέλιξη και τεχνολογική πρόοδο μέσα στο πέρασμα των αιώνων. Αφήνοντας πίσω την εποχή της αρχαιότητας και ερχόμενοι στη νεότερη εποχή, το σημείο αναφοράς όπως θα μπορούσαμε να το χαρακτηρίσουμε, δεν είναι άλλο από την θεμελίωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας από τον Σκωτσέζο θεωρητικό φυσικό James Clerk Maxwell το 1865. Πλέον, σαν συστήματα τηλεπικοινωνιών αναφερόμαστε στα συστήματα επικοινωνίας που λειτουργούν με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και μεταδίδουν τα μηνύματα με μορφή είτε ηλεκτρικών σημάτων (ενσύρματα) είτε ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ασύρματα). Πηγαίνοντας το χρόνο λίγο πίσω και ξεκινώντας από τα ενσύρματα δίκτυα, η εφεύρεση του ηλεκτρικού στοιχείου από τον Alessandro Volta το 1799, συντέλεσε καθοριστικά στην εφεύρεση του ηλεκτρικού τηλέγραφου από τον Samuel Morse, του οποίου η πρώτη επίδειξη έγινε το 1837 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και αποτελεί το πρώτο ενσύρματο δίκτυο τηλεπικοινωνιών. Εφτά χρόνια μετά, το Μάιο του 1844, λειτούργησε η πρώτη τηλεγραφική γραμμή, η οποία έωνε την Ουάσινγκτον με τη Βαλτιμόρη. Ο Morse επιδεικνύει τον ηλεκτρικό τηλέγραφο στέλλοντας ένα μήνυμα από της αίθουσες του Ανωτάτου Δικαστηρίου των ΗΠΑ στην Βαλτιμόρη. Το μήνυμα έλεγε: “What hath God wrought?”. Η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται με μεταβλητού μήκους κώδικες λέξεις, που αναπαριστούσαν τα γράμματα του λατινικού αλφαβήτου, τους αραβικούς αριθμούς και κάποια σύμβολα στίξης και ειδικούς χαρακτήρες. Ο κώδικας αυτός επινοήθηκε από τον Morse και ονομάστηκε “κώδικας Morse”. Ο κώδικας αυτός είναι δυαδικός, με την τελεία να χρησιμεύει σαν σύντομη τάση και την παύλα σαν τάση μεγάλης διάρκειας. Οι στιγμές (τελείες) και οι γραμμές (παύλες) αντιστοιχούν σε ηλεκτρικά σήματα. Ο κώδικας αυτός υπήρξε ο πρόδρομος για την ανάπτυξη μεθόδων ψηφιακής κωδικοποίησης οι οποίες αναπτύχθηκαν πολλά χρόνια μετά. Μερικές

δεκαετίες μετά και πιο συγκεκριμένα το 1876, οι Bell και Grey ανακάλυψαν το τηλέφωνο, όπου η μετάδοση της ομιλίας γίνεται μέσω ηλεκτρικών σημάτων. Σχηματίζοντας έναν αριθμό με τον επιλογέα της τηλεφωνικής συσκευής, ένα κωδικοποιημένο ηλεκτρικό σήμα αποστέλλεται στο τηλεφωνικό κέντρο. Το σήμα ανοίγει μια γραμμή στο κέντρο, και στη συνέχεια προς το τηλέφωνο για το οποίο έγινε η κλήση, ενώ ταυτόχρονα, η συσκευή κουδουνίζει.



Εικόνα 1: Ο Τηλέγραφος του Morse

Το 1878 και το 1879 άρχισαν να εγκαθίστανται οι πρώτες τηλεφωνικές συσκευές στο Λονδίνο και το New Haven αφού λίγο νωρίτερα ο Alexander Graham Bell είχε κατοχυρώσει ευρεσιτεχνία για την εφεύρεση της τηλεφωνίας και το 1877 ίδρυσε την πρώτη τηλεφωνική εταιρία, την “Bell Telephony Company”. Οι υπηρεσίες που παρείχαν οι πρώτες παραλλαγές συστημάτων τηλεφωνίας ήταν σχετικά απλές και για αποστάσεις μερικών εκατοντάδων μιλίων, λόγω κακής ποιότητας ήχου αλλά και μεγάλης απόσβεσης του σήματος. Όμως με την πάροδο του χρόνου και με την εφεύρεση της τριόδου ενισχύτριας λυχνίας κενού το 1906 από τον Lee De Frost κατέστη δυνατή η ενδυνάμωση του σήματος και η μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις και φτάνοντας στο 1915, πραγματοποιήθηκαν και οι πρώτες διηπειρωτικές τηλεφωνικές επικοινωνίες. Εξαιτίας όμως, των δύο παγκοσμίων πολέμων και της μεγάλης οικονομικής κρίσης του 1930, η εγκαθίδρυση διηπειρωτικής

τηλεφωνικής υπηρεσίας μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής άργησε να γίνει και μόλις το 1953 τέθηκε σε λειτουργία το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο και η τηλεφωνική υπηρεσία μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής κατέστη εφικτή. Τις επόμενες δύο δεκαετίες όμως, με τη βοήθεια των εφευρέσεων του μικροφώνου άνθρακα και του επαγωγικού πηνίου έγιναν σημαντικές πρόοδοι και στην ποιότητα αλλά και στην εμβέλεια των υπηρεσιών.

Παράλληλα όμως με την Τηλεγραφία και την Τηλεφωνία αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν και τα αντίστοιχα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Πριν από την ανάπτυξη και θεμελίωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας από τον Maxwell, η αρχή είχε ήδη γίνει το 1820, όπου ο Oersted σε μία εργασία του απέδειξε τη στενή σχέση μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, παράγοντας μαγνητικό πεδίο από ένα ηλεκτρικό. Συνεχίζοντας, στις 29 Αυγούστου 1831 ο Michael Faraday κάνει επίδειξη της μαγνητικής επαγωγής, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα κινώντας έναν μαγνήτη κοντά σε έναν αγωγό, φέρνοντας την ανθρωπότητα ένα βήμα πιο κοντά στην Ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Βάσει όλων αυτών, ο James C. Maxwell διατύπωσε τη βασική Ηλεκτρομαγνητική θεωρία του το 1865, η οποία επαληθεύτηκε πειραματικά από τον Hertz το 1887, και προέβλεπε την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία είναι η ακτινοβολία που χρησιμοποιούν τα ασύρματα συστήματα τηλεπικοινωνιών μέχρι και σήμερα. Στηριζόμενοι σε αυτή τη θεωρία, οι ασύρματες επικοινωνίες άρχισαν να αναπτύσσονται και να εξελίσσονται. Η πρώτη επιτυχής εφαρμογή έγινε το 1894 από τον Oliver Lodge, ο οποίος δημιούργησε μία διάταξη με το όνομα coherer, η οποία μπορούσε να συλλαμβάνει ραδιοσήματα και χρησιμοποιήθηκε στην επίδειξη ασύρματης επικοινωνίας σε απόσταση περίπου 140 m. Ένα χρόνο μετά, το 1895, ο Guglielmo Marconi εφηύρε τον ασύρματο όπου η ασύρματη μετάδοση πλέον γινόταν σε απόσταση δυο χιλιομέτρων ενώ το 1897 έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα σύστημα ράδιο-τηλεγραφίας, τον Ασύρματο Τηλέγραφο, το οποίο έγινε το διασημότερο επίτευγμα του. Η ανάπτυξη του συνεχίστηκε και με την αλλαγή του αιώνα στις 12 Δεκεμβρίου 1901, όταν η λήψη ραδιοσήματος που είχε εκπεμφθεί από το Cornwall της Αγγλίας έφτασε με επιτυχία στο Signal Hill του Newfoundland, δηλαδή απόσταση περίπου 1700 μιλίων.

Παρόλο που είχαν επιτευχθεί σημαντικά βήματα στις ασύρματες επικοινωνίες, οι ενεργειακές δυνατότητες και η υπάρχουσα τεχνολογία δεν έδιναν το περιθώριο για περαιτέρω εξέλιξη. Αυτό άλλαξε με την εφεύρεση της διόδου κενού, το 1904 από τον Fleming και της τριόδου λυχνίας (λυχνία κενού) από τον Lee De Frost το 1906, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, συνετέλεσε και στην εξέλιξη της Τηλεφωνίας, βελτιώνοντας τον λόγο απόσταση μετάδοσης προς ποιότητα λαμβανόμενου σήματος, αυξάνοντας εντυπωσιακά την εμβέλεια των ασύρματων πομπών. Στην περίπτωση του ασυρμάτου η λυχνία κενού έθεσε τις βάσεις και έκανε δυνατή την ανάπτυξη της ραδιοφωνίας. Η ραδιοφωνία AM (amplitude modulation- διαμόρφωση πλάτους) εγκαινιάστηκε το 1920 όταν ο ραδιοσταθμός KDKA του Pittsburg άρχισε να εκπέμπει. κατάφερε να αναπτυχθεί γρήγορα σε παγκόσμιο επίπεδο, φτάνοντας μέχρι και σήμερα να είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Την AM διαμόρφωση ακολούθησε η FM (frequency modulation – διαμόρφωση συχνότητας) το 1933 και η οποία έγινε δημοφιλής και αναπτύχθηκε εμπορικά μετά τον Δεύτερο

Παγκόσμιο Πόλεμο. Με την ανάπτυξη αυτών των ασυρμάτων συστημάτων δεν αργησε να έρθει και το πρώτο σύστημα τηλεόρασης και οι , με το πρώτο να επιδεικνύεται από τον V. K. Zworykin το 1929 και τις εμπορικές τηλεοπτικές εκπομπές να εγκαινιάζονται, στην Ευρώπη, το 1936 από το BBC2 και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής να δίνεται η έγκριση τηλεοπτικής εκπομπής από το FCC3 πέντε χρόνια αργότερα. Η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών, όπως έγινε φανερό και από τα παραπάνω, συμβαδίζει, ή καλύτερα εξαρτάται, από τις υπόλοιπες τεχνολογικές εξελίξεις. Και μάλιστα, τρεις είναι οι εφευρέσεις οι οποίες βοήθησαν στο να γίνουν τεχνολογικά άλματα. Αυτές είναι: η εφεύρεση του transistor από τους Walter Brattain, John Bardeen και William Shockley, το 1947, η εφεύρεση του ολοκληρωμένου κυκλώματος το 1958 από τους Jack Kilby και Robert Noyce, και του laser από τους Townes και Schawlow την ίδια χρονιά. Αυτές έκαναν δυνατή την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μικροσκοπικών διαστάσεων, χαμηλής ισχύος, μικρού βάρους και υψηλού ρυθμού λειτουργίας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις επίγειες ασύρματες τηλεπικοινωνίες, στα συστήματα μικροκυματικών ραδιοζεύξεων ευρείας ζώνης, στα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, στα συστήματα οπτικών επικοινωνιών με χρήση καλωδίου οπτικής ίνας και σε πολλά άλλα.

Λίγα χρόνια αργότερα εκτοξεύεται ο Telestar I, ο πρώτος δορυφόρος για αναμετάδοση τηλεοπτικού σήματος μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής ο οποίος τέθηκε σε τροχιά το 1962 ενώ τρία χρόνια αργότερα εκτοξεύεται ο Early Bird ο οποίος ήταν ο πρώτος δορυφόρος που παρείχε υπηρεσίες εμπορικών υπηρεσιών. Πλέον υπάρχουν πάνω από 2000 δορυφόροι σε τροχιά, οι οποίοι εξυπηρετούν ποικίλους σκοπούς. Οι οπτικές ίνες τείνουν να αντικαταστήσουν τα χάλκινα καλώδια, δίνοντας την δυνατότητα στα ενσύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα να μεταφέρουν αξιόπιστα και με μεγάλες ταχύτητες, πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων. Κλείνοντας, μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη έχουν παρουσιάσει την τελευταία 30ετία, και οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες και συγκεκριμένα τα κυψελοειδή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, παρέχοντας από υπηρεσίες ανταλλαγής φωνής και εικόνας, μέχρι σύνδεση με το Διαδίκτυο. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα αναφερθεί σε αυτά ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και πιο συγκεκριμένα με τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς τα οποία είναι προ των πυλών, κάνοντας όμως και μία ανασκόπηση στην εξέλιξη των κυψελοειδών συστημάτων μέχρι σήμερα [1,2].

1.1 Ασύρματα Δίκτυα και Κυψελωτά Συστήματα Τηλεπικοινωνιών

Ασύρματο δίκτυο ονομάζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, το οποίο είναι συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, ραδιοκύματα ή και μικροκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα τα ασύρματα δίκτυα ξεκίνησαν να αναπτύσσονται πολύ νωρίς λόγω μερικών

πλεονεκτημάτων που είχαν σε σχέση με τα ενσύρματα. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα είναι και η κινητικότητα που παρουσιάζει μία συσκευή κινητής επικοινωνίας, πράγμα που λείπει από τις ενσύρματες. Επιπλέον, ενώ στο ενσύρματο δίκτυο πρέπει όλοι οι χρήστες να συνδεθούν μεταξύ τους με καλώδια για να επικοινωνήσουν, στο ασύρματο δίκτυο δεν υφίσταται αυτή η αναγκαιότητα καθώς ανάλογα με το είδος της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται χρειάζεται να εγκατασταθεί ένας αριθμός σταθμών βάσης μέσω αυτών γίνεται η επικοινωνία των χρηστών. Υπάρχουν και κάποιες άλλες περιπτώσεις όπου οι συσκευές επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους δίχως την αναγκαιότητα ύπαρξης σταθμού βάσης.

Πέρα από την κινητικότητα και την ευκολία που χαρακτηρίζει τα ασύρματα δίκτυα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι παίζουν σημαντικό ρόλο και στην ελαχιστοποίηση του κόστους όσον αφορά την εγκατάσταση και την συντήρηση του δικτύου καθώς δεν απαιτείται ούτε μεγάλο μήκος καλωδίων, ούτε πολλές εργατοώρες έτσι ώστε να σχεδιαστούν και να τοποθετηθούν καλώδια ή να γίνουν άλλες εργασίες. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των ασύρματων δικτύων που τα καθιστά σημαντικά και αναγκαία είναι και ο υψηλός βαθμός ευελιξίας τους. Παραδείγματος χάριν, ένας ασύρματος πομπός δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ικανός να συντονίζει πολλούς χρήστες και η επικοινωνία μεταξύ τους να γίνεται με επιτυχία. Το ίδιο συμβαίνει και με τις ραδιοφωνικές μεταδόσεις αλλά μέχρι ένα σημείο και με το οικιακό δίκτυο WiFi. Αντίθετα, ένα ενσύρματο σύστημα επικοινωνιών περιορίζεται στον αριθμό των φυσικών συνδέσεων του εξοπλισμού. Ο τυπικός δρομολογητής Ethernet για οικιακή χρήση, για παράδειγμα, προσφέρει μόνο τέσσερις υποδοχές, την ίδια στιγμή που στο δίκτυο WiFi μπορούν να συνδεθούν περισσότερες συσκευές [1].

Με βάση τα παραπάνω, τα οφέλη των ασύρματων επικοινωνιών κατάφεραν να τα εκμεταλλευτούν αρκετοί τομείς όπως:

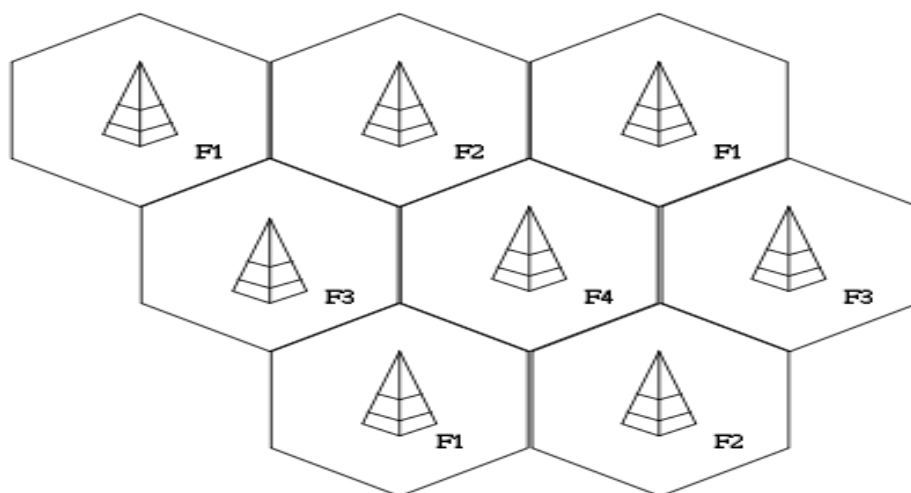
- Υγεία: Τα ασύρματα δίκτυα έχουν συντελέσει θετικά στην παροχή ιατρικής περίθαλψης σε απομακρυσμένες περιοχές του κόσμου, ιδίως με τη βελτίωση της διανομής ιατρικών πληροφοριών και θεραπειών.
- Ενημέρωση: Τα smartphone έχουν αλλάξει τον τρόπο κάλυψης και αναφοράς των ειδήσεων, κάνοντας εφικτό οποιονδήποτε κατέχει οπουδήποτε στον κόσμο έναν πιθανό ρεπορτάζ ειδήσεων και σχεδόν οποιοδήποτε γεγονός που συμβαίνει να το καταγράψει από διάφορες οπτικές γωνίες.
- Φορείς Έκτακτης Ανάγκης: Οι αριθμοί έκτακτης ανάγκης όπως ο 112 έχουν δώσει τη δυνατότητα σε ανθρώπους σε απομακρυσμένες περιοχές να τους παρέχεται άμεσα βοήθεια. Επιπλέον, οι ειδήσεις των καταστροφικών γεγονότων σε διάφορα μέρη του κόσμου διαδίδονται άμεσα παντού μέσω της ασύρματης επικοινωνίας, επιτρέποντας στους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο να βλέπουν τα γεγονότα καθώς συμβαίνουν και καλώντας την ταχεία βοήθεια προς τους επιζώντες. Επίσης συνέβαλαν και στην εξάπλωση των έγκαιρων προειδοποιήσεων σχετικά με τις επικείμενες φυσικές καταστροφές, επιτρέποντας στους πληθυσμούς να προετοιμαστούν ή να απομακρυνθούν με σκοπό τη διάσωσή τους.

- Ψυχαγωγία: Η ασύρματη επικοινωνία άνοιξε νέες οδούς για ψυχαγωγία. Πλέον συσκευές όπως τα tablet και τα smartphones καθιστούν εφικτή τη λήψη και την ανάγνωση βιβλίων και εφημερίδων, καθώς και παιχνιδιών, ταινιών, μουσικής κλπ.

- Προστασία Περιβάλλοντος: Οι εργασίες για την προστασία του περιβάλλοντος έχουν αποκτήσει νέες δυνατότητες με την εμφάνιση της ασύρματης επικοινωνίας. Οι περιβαλλοντικές ομάδες έχουν εφαρμόσει εκστρατείες μέσω social media και μηνυμάτων κειμένου για να μεταδώσουν μηνύματα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος.

- Εργασιακή επικοινωνία: Τα ασύρματα δίκτυα ενορχηστρώνουν πλέον τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις επικοινωνούν με το εξωτερικό και το εσωτερικό τους περιβάλλον ασκώντας τις δραστηριότητές τους ευκολότερα και γρηγορότερα.

Με τον όρο “δίκτυο κινητής τηλεφωνίας” ορίζεται ένα δίκτυο συσκευών ασύρματων τηλεφώνων, τα οποία έχουν, κατά βάση, δυνατότητα μετάδοσης φωνής και δεδομένων. Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται κυψελοειδή ή κυψελωτά συστήματα. Ένα κυψελωτό σύστημα έχει σαν βασικό χαρακτηριστικό του το διαμερισμό της γεωγραφικής περιοχής που έχει να καλύψει σε μικρότερα τμήματα, που ονομάζονται κυψέλες. Οι μορφές των κυψελών ποικίλουν αναλόγως την μορφολογία του εδάφους. Για τη λειτουργία μιας κυψέλης είναι απαραίτητο να διαθέτει δικά τους κανάλια και σταθμό βάσης, ο οποίος συγκροτείται από την κεραία, πομπό & δέκτη. Ένα σύνολο από διπλανές κυψέλες λέγεται συστάδα. Κάθε σταθμός βάσης καλύπτει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, η οποία χωρίζεται σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Το επιθυμητό από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας μέγεθος της κυψέλης καθορίζεται βάσει των ιδιαίτερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής, καθώς και τον αριθμό και τη χρήση των κινητών τηλεφώνων που συνήθως υπάρχουν εκεί. [3]



Εικόνα 2: Κυψελωτό Δίκτυο

Κάθε χρήστης έχει άμεση επαφή με κάποια κεντρικά συστήματα πομποδεκτών τα οποία ονομάζονται “σταθμοί βάσης”, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με τους F1, F2, F3 κλπ. να είναι οι σταθμοί βάσης και η περιοχή που καλύπτει ο καθένας να είναι το εξάγωνο που είναι γύρω από τον καθένα. Κάθε σταθμός βάσης έχει μία συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων στην οποία λειτουργεί και επικοινωνεί με τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι με αυτήν. Κάθε χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα κομμάτι της περιοχής συχνοτήτων του σταθμού βάσης το οποίο του ανατίθεται από το σταθμό βάσης όταν πραγματοποιείται η σύνδεση του χρήστη με αυτόν. Για την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών αρκεί κάποιος να πληκτρολογήσει τον αριθμό κάποιου άλλου. Μέσω του μοναδικού αυτού αριθμού ο σταθμός βάσης του χρήστη εντοπίζει τον σταθμό βάσης με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ο προορισμός της κλήσης και ενεργοποιείται η σύνδεση μεταξύ των χρηστών. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται “κυψελοειδές” ή “κυψελωτό” (μετάφραση του αγγλικού όρου “cellular”) γιατί κάθε σταθμός βάσης είναι συνδεδεμένος με τους χρήστες που βρίσκονται σε μία ορισμένη απόσταση, η οποία ορίζει μία περιοχή σαν κυψέλη και η κάλυψη του συνολικού δικτύου γίνεται με διαδοχική δημιουργία τέτοιων κυψελών. Οι πρώτες συσκευές κινητών τηλεφώνων παρουσιάστηκαν από την Motorola το 1973 και το πρώτο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας υλοποιήθηκε στην Ιαπωνία το 1979 από την εταιρία NTT. Το 1981 υλοποιήθηκε και το σύστημα NMT (Nordic Mobile Telephone) ταυτόχρονα στην Φινλανδία, την Σουηδία, την Νορβηγία και την Ολλανδία. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η πρώτη γενιά κινητών τηλεφώνων (1st Generation - 1G) χρησιμοποιούταν από αρκετές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής [4].

1.2 Η εξέλιξη των δικτύων και της αγοράς κινητών επικοινωνιών

Το ξεκίνημα του προηγούμενου αιώνα έφερε τις πρώτες ενέργειες των μελετητών για την ανάπτυξη τεχνολογιών ραδιοτηλεφωνίας, ασύρματης αλλά και κινητής τηλεφωνίας. Κατά την περίοδο του 1908, ο Stubblefield έλαβε αριθμό ευρεσιτεχνίας για το δικό του ασύρματο ραδιοτηλέφωνο. Σχεδόν 2 έτη μετέπειτα, υπήρξε η εγκατάσταση ενός τηλεφώνου σε αυτοκίνητο. Στην Ευρώπη η συγκεκριμένη τεχνολογία έκανε την εμφάνισή της την περίοδο του '26 στα βαγόνια των τρένων της Γερμανίας. Σχεδόν 15 χρόνια αργότερα, η Motorola ανέπτυξε ένα φορητό ασύρματο για τις απαιτήσεις του στρατού της Αμερικής, ενώ την περίοδο του '46 οι Σοβιετικοί μηχανικοί έκαναν δοκιμές με φορητό ασύρματο σε ένα όχημα που είχε τη δυνατότητα να διασυνδεθεί με ένα τοπικό τηλεφωνικό δίκτυο, έχοντας εμβέλεια 20 χιλιομέτρων [5].

Μερικά έτη μετέπειτα, μια καινούρια τεχνολογία, εκείνη των φορητών ασυρμάτων δύο δρόμων, αναπτύχθηκε και χρησίμευσε σε οχήματα όπως ήταν για παράδειγμα τα ταξί κλπ. Παρόλα αυτά, η εν λόγω τεχνολογία δεν θεωρήθηκε ως κινητή καθώς δεν ήταν διασυνδεδεμένη με το τηλεφωνικό δίκτυο. Την περίοδο του '58 άρχισε η ανάπτυξη ενός ίδιου συστήματος που αφορούσε μηχανές και ονομαζόταν Altay (Penttinen, 2019). Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύχθηκε και λειτούργησε την

περίοδο του '63 στην πρωτεύουσα της Ρωσίας και έως τα τέλη εκείνης της δεκαετίας είχε εξαπλωθεί σε 30 διαφορετικές περιοχές. Σχεδόν 1 έτος μετέπειτα, η S&T κατόρθωσε να προσφέρει υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας σε οχήματα στις ΗΠΑ. Με αυτόν τον τρόπο φτάσαμε στην περίοδο του '60, όπου υπήρξε το 1^ο πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας για οχήματα, που υλοποιήθηκε στη Σουηδία και ονομαζόταν ΜΤΑ. Η εν λόγω τεχνολογία προσέφερε τη δυνατότητα στο όχημα να υλοποιεί κλήσεις.

Σχεδόν μια δεκαετία αργότερα, ο Amos Joel συνέβαλλε στη μετέπειτα εξέλιξη της τηλεφωνίας αυτής της μορφής. Επί της ουσίας ανέπτυξε ένα αυτόματα σύστημα όπου αυτές οι συσκευές θα είχαν την ευχέρεια να μετακινούνται από και προς οποιαδήποτε τοποθεσία, προσφέροντας ταυτόχρονα την ευχέρεια στους χρήστες να υλοποιούν μια κλήση, δίχως να υφίσταται διακοπή εξαιτίας της μεταβολής της τοποθεσίας [6].

Το 1^ο δίκτυο τηλεφωνίας αυτού του είδους, που έδρασε επιτυχώς, παρέχοντας υπηρεσίες επικοινωνίας στο κοινό ήταν το δίκτυο ARP, που άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του '70 στη Φιλανδία. Μάλιστα από αρκετούς ερευνητές λογίζεται σαν το 0G δίκτυο κυψέλης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία ήταν λίγο καλύτερη συγκριτικά με τα προηγούμενα δίκτυα. Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί πως η περίοδος του '73 ήταν ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αυτής της τηλεφωνίας. Ο Cooper ανέπτυξε το 1^ο σύγχρονο κινητό τηλέφωνο, το οποίο είχε την ευχέρεια να χρησιμεύσει εκτός οχήματος και δρούσε σε δίκτυο κυψελών. Αυτή η συσκευή ήταν το Motorola DynaTac 8000X, που είχε βάρος 1 κιλό και το μήκος του δεν ξεπερνούσε τα 25cm [7].

1.3 1G (1980) 1η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πρωτοεμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1980 . Η λειτουργία τους βασίζεται στην αναλογική τεχνολογία. Συγκεκριμένα γίνεται χρήση τεχνολογίας FM (διαμόρφωση συχνότητας), FDMA (πολυπλεξία συχνότητας) και FDD (συχνοδιαιρετική αμφίδρομη επικοινωνία), καθώς και χρήση ίδιου καναλιού για τη μετάδοση του σήματος. Τα συστήματα 1^{ης} Γενιάς, λόγω της εφαρμογής των αναλογικών συστημάτων, δεν παρείχαν ασφαλή μετάδοση. Ένα ακόμα πρόβλημα της αυτής της γενιάς, που κατέστησε αναγκαία την εξέλιξη της στα 2ης γενιάς συστήματα ήταν ότι μεταξύ του πομπού δηλαδή του σταθμού βάσης και του δέκτη (κινητό τηλέφωνο) η μετάδοση δεδομένων δεν ήταν αρκετή. Το 1ο κυψελωτό σύστημα που έκανε την αρχή, ήταν αυτό της Nippon Telephone and Telegraph (NTT), στο Τόκιο. Ακολούθησαν το Nordic Mobile Telephones (NMT), και το Total Access Communication Systems (TACS), όταν με την πάροδο δύο ετών η εποχή των κυψελών έκανε την εμφάνιση της στην Ευρώπη. Το σύστημα TACS, είναι Βρετανικής προέλευσης που διαδόθηκε και σε άλλες χώρες της Ευρώπης. Είναι όμοιο με το σύστημα AMPS (Advance Mobile Phone System) όπου είναι το 1ο σύστημα κυψελών Αμερικάνικης προελεύσεως. Αυτά τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν για το διαχωρισμό των καναλιών την τεχνική πολυπλεξίας FDMA (Frequency Division

Multiplex Access) και για να επιτευχθεί η μετάδοση την τεχνική διαμόρφωσης Συχνότητας (FM) [3].

1.4 2G (1991) 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Το 2G χρησιμοποιείται ως συντομογραφία για το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Το 1991 κυκλοφόρησαν για πρώτη φορά τα κυψελοειδή δίκτυα 2G στο πρότυπο GSM από την Radiolinja στην Φιλανδία.

Η ψηφιακή τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης δεύτερης γενιάς (2G) χρησιμοποιεί την τεχνολογία TDMA (time division multiple access) η οποία επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας διαιρώντας το σήμα σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και CDMA (code division multiple access) με την οποία αρκετοί πομποί έχουν την δυνατότητα να στέλνουν πληροφορίες ταυτόχρονα μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται μια ζώνη συχνοτήτων, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς και διαφορετικούς χρήστες, είτε με διαίρεση κώδικα (CDMA) ή με διαίρεση χρόνου (TDMA). Αυτό αποτελεί σημαντική διαφοροποίηση από τα δίκτυα πρώτης γενιάς (1G) και του αναλογικού συστήματος με το 2G και το ψηφιακό σύστημα.

Η μετάδοση πλέον γίνεται μέσω ενός μετατροπέα που μετατρέπει το σήμα από αναλογικό σε ψηφιακό. Η ψηφιακή μετάδοση της πληροφορία που παρέχουν τα δίκτυα δεύτερης γενιάς 2G αποτελεί ένα ασύρματο σύστημα που παρέχει μετάδοση δεδομένων και φωνής υψηλής ταχύτητας χάρη στην υψηλότερη ποιότητα αποδοτικότητας φάσματος και τις προηγμένες υπηρεσίες roaming.

Το δίκτυο 2ης γενιάς έχει 3 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα και καλύτερη ποιότητα φωνής από αυτό της πρώτης γενιάς. Υποστηρίζει γραπτών μηνύματα (SMS) και υπάρχει δυνατότητα παγκόσμιας περιαγωγής. Επιπλέον, εμφανίζει μεγαλύτερη ασφάλεια για την επικοινωνία χάρη στις κρυπτογραφημένες πληροφορίες. Τα πρότυπα τα οποία αναπτύχθηκαν για τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς είναι τα εξής:

- **GSM:** Το GSM ξεκίνησε από την Φιλανδία ως Ευρωπαϊκό πρότυπο από την Ευρωπαϊκή επιτροπή CEPT, αλλά γρήγορα υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί είναι στα 900MHz και το εύρος ζώνης είναι 25MHz. Λόγω έλλειψης χωρητικότητας χρησιμοποιήθηκε η ζώνη των 1800MHz και 1900MHz.

- **IS-136:** Το IS-136 είναι το Αμερικάνικο σύστημα 2ης γενιάς. Χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 60MHz. Για μεταδόσεις από τα κινητά προς το σταθμό βάσης χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ 1930 – 1990MHz ενώ στην αντίστροφη περίπτωση χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ των 1850 – 1910MHz.

- **IS-95:** Το IS-95 χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA) σε σχέση με το IS-136 που χρησιμοποιεί τη διαίρεση χρόνου (TDMA). Για μεταδόσεις από το κινητό προς το σταθμό βάσης χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ

των 869 – 894 MHz ενώ στην αντίστροφη περίπτωση χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ των 824 – 849 MHz.

- PDC: Το PDC αναπτύχθηκε το 1990 στην Ιαπωνία. Η λειτουργία του είναι ανάλογη με εκείνη του IS-136 [8].

1.4.1 2.5G (GPRS)

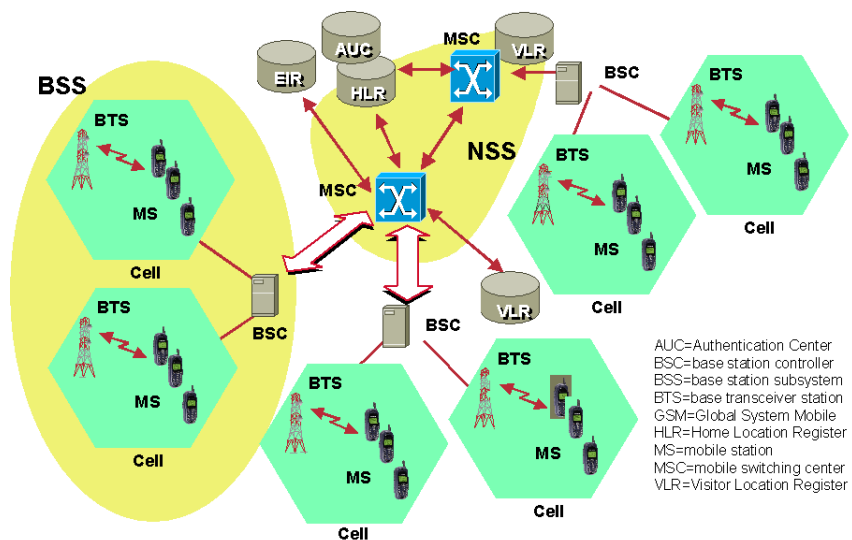
Χάρη στην πρόοδο της ψηφιακής τεχνολογίας τα δίκτυα 2G δεν μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες του ανθρώπου και για αυτό το λόγο σχεδιαστήκαν τα κυψελωτά συστήματα 2.5G ή αλλιώς GPRS (General Packet Radio Service). Τα συστήματα 2.5G χρησιμοποιούν την τεχνική μεταγωγής πακέτου, φτάνοντας έτσι υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Τα 2.5G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι ουσιαστικά δεύτερης γενιάς τα οποία συνδυάζονται με GPRS, γι αυτό και υπερτερούν έναντι των 2G δικτύων. Τα πρότυπα βελτίωσης των κυψελωτών συστημάτων από 2G σε 2.5G είναι τα κάτωθι:

- **GPRS:** Το πρότυπο GPRS χρησιμοποιεί πρωτόκολλα μεταγωγής πακέτου και με αποτέλεσμα την δέσμευση των πόρων του δικτύου μόνο όταν καταστεί ανάγκη για αποστολή δεδομένων

- **HSCSD:** Στο πρότυπο HSCSD ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί διαδοχικές χρονοθυρίδες για σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Το βασικό του μειονέκτημα είναι η σπατάλη πόρων του δικτύου που οφείλεται στη χρήση μεταγωγής κυκλώματος[8].

1.4.2 2.75G (EDGE)

Τα 2.75G δίκτυα θεωρούνται ως η μετεξέλιξη του GPRS σε E-GPRS ή EDGE. Με το πρότυπο EDGE οι ταχύτητες στη μετάδοση των δεδομένων αυξάνονται έως 384Kbps. Το πρότυπο EDGE στηρίχθηκε στην TDMA δομή πακέτου και στην τεχνική διαμόρφωσης 8PSK.



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική Δικτύου 2G – Πηγή: Cisco

1.5 3G (1999) 3η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Η 3^η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας διαθέτει σύστημα ασύρματων επικοινωνιών με δυνατότητες φωνής και δεδομένων. Σε αντίθεση με τα συστήματα προηγούμενων γενιών, αποτελεί το πρώτο διεθνές τυποποιημένο σύστημα που βγαίνει στην αγορά από την ITU.

Το 3G εκμεταλλεύεται την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) με χρήση εύρους ζώνης 5MHz. Το WCDMA είναι μια τεχνική διαμόρφωσης ραδιοφάσματος, που εκμεταλλεύεται κανάλια με εύρος ζώνης πολύ μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για την μεταφορά δεδομένων. Τα κανάλια WCDMA μοιράζονται μια πολύ μεγάλη ζώνη ώστε να ικανοποιεί τον προβλεπόμενο μέγιστο ρυθμό δεδομένων αντί να έχει σε κάθε σύνδεση μια αποκλειστική ζώνη συχνοτήτων. Ακόμη, έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με την τεχνολογία TDD (Time Division Duplex) και την FDD (Frequency Division Duplex) που θα περιγράφεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Η εξέλιξη των φωνητικών συστημάτων σε συστήματα που χρησιμοποιούν δεδομένα αποτυπώνεται έντονα στις μέρες μας. Οι συνδρομητές των 3G δικτύων έφτασε τα 200 εκατομμύρια τον Ιούνιο του 2007, που ανέρχεται μόλις στο 6,7% του συνολικού πληθυσμού συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας. Σε χώρες όπου το 3G κυκλοφόρησε γρηγορότερα, όπως η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα, η διείσδυση του 3G ήταν πάνω από 70%. Στην Ευρώπη από την άλλη, για το ίδιο χρονικό διάστημα, η Ιταλία κρατούσε τα ηνία με το 1/3 των συνδρομητών της να έχουν μεταβεί στα 3G δίκτυα. Τα πρότυπα 3G δικτύων κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **UMTS:** Η UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών) αποτελεί πρότυπο που κυριάρχησε στις ευρωπαϊκές χώρες. Πρόκειται για την εξέλιξη στην χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών, των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς. Το UMTS χρησιμοποιεί τεχνολογία ραδιοεπικοινωνίας πολλαπλής προσπέλασης με πολλαπλή πρόσβαση (W-CDMA) για την παροχή μεγαλύτερης φασματικής απόδοσης και εύρους ζώνης στους φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων. Εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων που προσφέρει το UMTS προσφέρει πρόσβαση σε υπηρεσίες διαδικτύου. Το σοβαρότερο μειονέκτημα είναι ότι το UMTS έχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τα δίκτυα GSM.

- **CDMA-2000:** είναι μια οικογένεια προτύπων κινητής τεχνολογίας 3G για την αποστολή δεδομένων φωνής, δεδομένων και σηματοδοσίας μεταξύ κινητών τηλεφώνων και τοποθεσιών κυττάρων. Αναπτύσσεται από το 3GPP2 ως ένα συμβατό με το παρελθοντικό σύστημα δεύτερης γενιάς (2G) CDMAONE (IS-95). Το CDMA2000 συγκρίνεται με το UMTS, ένα ανταγωνιστικό σύνολο προτύπων 3G, το οποίο αναπτύχθηκε από το 3GPP. Χρησιμοποιεί δύο μεθόδους ανάπτυξης:

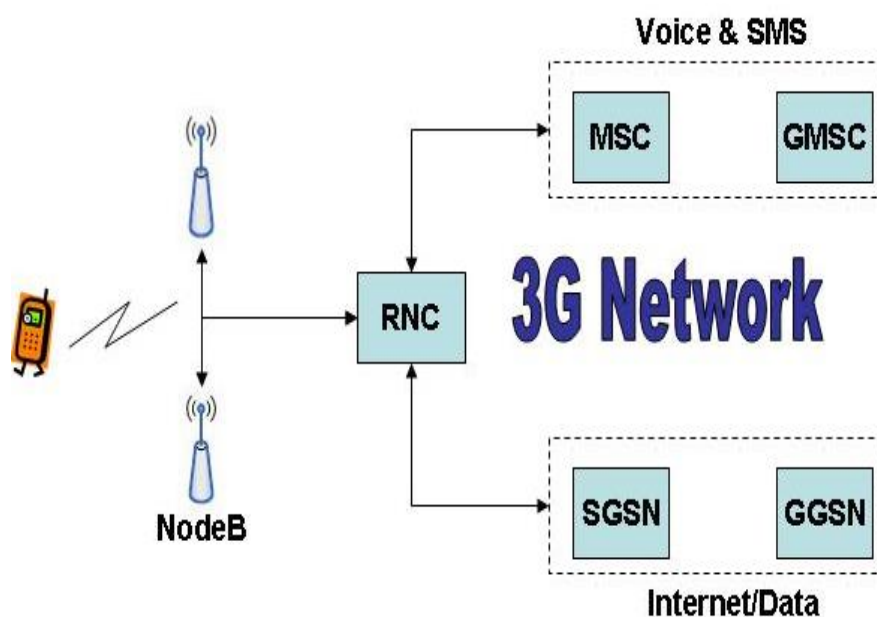
- **FDD (Frequency Division Duplexing)**: ο πομπός και ο δέκτης εκπέμπουν σε διαφορετική συχνότητα.
- **TDD (Time Division Duplexing)**: η ίδια ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιείται τόσο για τη μετάδοση όσο και για το download σε διαφορετικούς χρόνους [8].

1.5.1 3.5G (HSPA)

Το HSPA αποτελεί συγχώνευση των κινητών πρωτοκόλλων HSDPA και HSUPA, που επεκτείνουν και βελτιώνουν την απόδοση των υφιστάμενων κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων 3G χρησιμοποιώντας την τεχνική WCDMA. Οι πρώτες προδιαγραφές του HSPA υποστηρίζουν αυξημένες ταχύτητες δεδομένων μέγιστης ταχύτητας έως 14 Mbit/s στην downlink και 5,76 Mbit/s. Επίσης, μειώνει την καθυστέρηση και παρέχει έως και διπλάσια χωρητικότητα του συστήματος σε σύγκριση με το αρχικό πρωτόκολλο WCDMA [8].

1.5.2 3.75G (EHSOA)

Ως δίκτυο 3,75G αναφέρεται η δεύτερη φάση του HSPA (HSPA+ ή HSPAP (Plus) η οποία δίνει τη δυνατότητα για εξελιγμένη πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας και αποτελεί ένα τεχνικό πρότυπο για τις ασύρματες ευρυζωνικές τηλεπικοινωνίες που έχει εισαχθεί στην έκδοση 3GPP release 7 και έχει βελτιωθεί στις μεταγενέστερες εκδόσεις του 3GPP. Οι ρυθμοί δεδομένων του HSPA + στο downlink μπορούν να φτάσουν μέχρι και 42,2 Mbit/s. Εισάγει τεχνολογίες όπως η μορφοποίηση δέσμης (beamforming) και συστοιχίες κεραιών πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO). [8].



Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική Δικτύου 3G – Πηγή: Aumedu.blogspot.com

1.6 4G (2009) 4η Γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Ενώ τα χρόνια περνούσαν και όλο και πιο πολλοί άνθρωποι εξοικειώνονταν με την τεχνολογία και ειδικότερα με τις κινητές συσκευές, η ζήτηση αυξάνονταν ραγδαία. Αυτό απαιτούσε υψηλές ταχύτητες και μεγάλο όγκο μετάδοσης δεδομένων. Σαν αποτέλεσμα, η ανάπτυξη των επόμενων τεχνολογιών και δη της επόμενης γενιάς κινητών επικοινωνιών είχαν σαν προαπαιτούμενο τις πολύ υψηλές και αξιόπιστες ταχύτητες και τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων. Τον Μάρτιο του 2008, ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος - Ραδιοεπικοινωνιακός Τομέας (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για τα πρότυπα 4G, με την ονομασία International Advanced Mobile Telecommunications Advanced (IMT Advanced), που καθορίζει απαιτήσεις αιχμής για υπηρεσίες 4G στα 100 Mbit/s για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (όπως αυτοκίνητα) και 1 Gbit/s για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (όπως πεζούς και σταθερούς χρήστες).

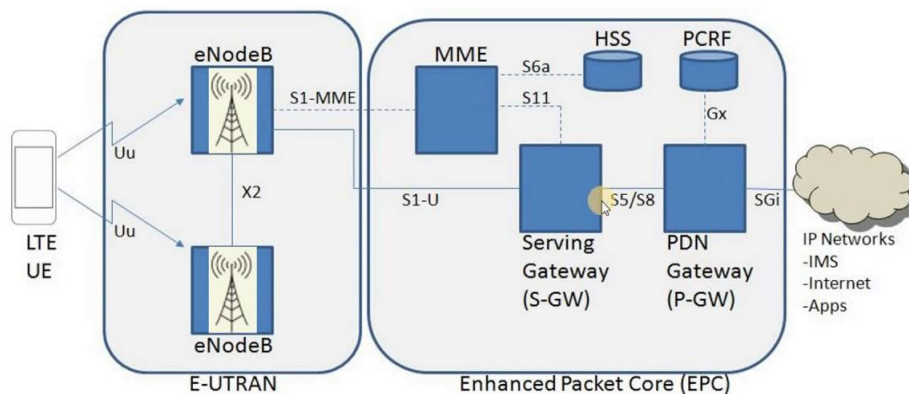
Πρωταρχικός σκοπός για την ανάπτυξη των δικτύων 4G μπορούμε να ορίσουμε την υψηλή απόδοση και την αξιόπιστη και απρόσκοπτη επικοινωνία. Τα γενικά χαρακτηριστικά που συνάδουν με αυτό το σκοπό είναι οι συγκριτικά υψηλότεροι βαθμοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων με υψηλού επιπέδου QoS (Quality Of Service - Ποιότητα Υπηρεσιών) και χαμηλότερο κόστος. Ταυτόχρονα, η κατανομή φάσματος είναι τέτοια που να επιτρέπονται οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Τα δίκτυα που εξυπηρετούν τέτοιους σκοπούς αποτελούνται από κυκλώματα μεταγωγής και όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά. Τα 4ης γενιάς δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όταν τέθηκαν σε λειτουργία εφάρμοσαν τις τεχνολογίες:

- LTE: Ξεκίνησε να λειτουργεί στην Σκανδιναβία από την εταιρεία TeliaSonera. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 4G λειτούργησε στη Στοκχόλμη το 2009. Στις μέρες μας είναι διαθέσιμα περίπου 650 εμπορικά δίκτυα LTE και 100 εμπορικά δίκτυα LTE-Advanced σε περισσότερες από 200 και 50 χώρες διεθνώς, αντίστοιχα.

- WiMax: Ξεκίνησε να λειτουργεί στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής από την εταιρεία Sprint.

Όταν μια φορητή συσκευή είναι 4ης γενιάς σύμφωνα με το πρότυπο IMT-A θα πρέπει να βασίζεται στην τεχνολογία IP. Υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 1Gbps όταν ο χρήστης βρίσκεται σε σταθερό σημείο ενώ 100Mbps όταν ο χρήστης είναι εν κινήσει. Επιπλέον υποστηρίζει ψηφιακή μετάδοση φωνής και πολυμέσων. Επίσης προσφέρει υπηρεσίες όπως IP τηλεφωνία, Mobile TV υψηλής ευκρίνειας και άλλες υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας καθώς και πληθώρα υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας. Η κατάργηση της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων είναι η κυριότερη διαφορά μεταξύ των δικτύων 4ης γενιάς και 3ης γενιάς επιτρέποντας στα δίκτυα 4ης γενιάς να επιτύχουν υψηλότερες ταχύτητες κάνοντας χρήση all-ip δικτύων. Με αυτό τον τρόπο τα δίκτυα 4ης γενιάς χειρίζονται τις τηλεφωνικές κλήσεις όπως και τα δεδομένα ήχου με μεταγωγή πακέτων μέσω Διαδικτύου.

4G | LTE ARCHITECTURE



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Δικτύου 4G – Πηγή: Secforce.blog.com

1.6.1 LTE & LTE-Advanced

Το σύστημα LTE ο διεθνής οργανισμός ITU-R προέβλεπε για την καθοδική ζεύξη (downlink) ρυθμό μετάδοσης 1Gbps και για ανοδική ζεύξη (uplink) 500Mbps. Επειδή το LTE δεν μπορούσε να καλύψει αυτές τις απαιτήσεις, αναβαθμίστηκε σε LTE-Advanced. Στόχος του LTE-Advanced είναι η μείωση του χρόνου μετάβασης από την κατάσταση αδράνειας στην συνδεδεμένη κατάσταση από τα 100ms στα 50ms. Το σύστημα LTE-Advanced βασίζεται στη μεταγωγή πακέτων και υποστηρίζει σχήματα FDD και TDD. Έχει χαρακτηριστικά όπως μικρή καθυστέρηση, μεγάλη ευελιξία και υψηλή απόδοση. Στην καθοδική ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης OFDMA και στην ανοδική ζεύξη η τεχνολογία SC-FDMA. Η τεχνική OFDM/OFDMA μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε μεγάλο εύρος ζώνης χωρίς να μας περιορίζουν οι συνθήκες διάδοσης στο ραδιοδίαυλο (πολυδιαδρομική διάδοση) και μας παρέχει ευελιξία διαχείρισης των ραδιοπόρων. Αντίστοιχα στην άνω ζεύξη γίνεται χρήση της τεχνικής SC-FDMA, που επιτρέπει την αποδοτική εκπομπή με βάση την συχνότητα από τις κινητές συσκευές. Στους παρακάτω πίνακες σκιαγραφούνται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες κάθε τεχνολογίας κινητών δικτύων μέχρι και το δίκτυο 4^{ης} γενιάς (4G+) [28].

Γενιά	Υπηρεσίες	Τεχνολογίες/Καινοτομίες/Δυνατότητες	Δίκτυα
1G	Φωνή	Αναλογική Μετάδοση, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA	AMPS, TACS
2G	Φωνή	Ψηφιακές Επικοινωνίες, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA, TDMA, CDMA	GSM, CDMA
2.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, Ταχύτητες έως και 384 kbps.	GPRS, EDGE
3G	Φωνή, Πολυμέσα	Πολλαπλή πρόσβαση CDMA, Αύξηση Χωρητικότητας & Βελτίωση Ποιότητας μετάδοσης φωνής/βίντεο	WCDMA-UMTS, CDMA2000
3.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, ταχύτητες 1-10 Mbps	HSPA, WiMAX
4G, 4G+	Δεδομένα	Πλήρης αρχιτεκτονική IP, Πολλαπλή πρόσβαση OFDMA. Τεχνολογίες MIMO. Ταχύτητες δεκάδων έως και εκατοντάδων Mbps. Υπηρεσίες φωνής μέσω του δικτύου δεδομένων (VoIP)	LTE, LTE-A

Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά Δικτύων 1G - 4G – Πηγή: ΕΕΚΤ

Γενιά	Υπηρεσίες	Τεχνολογία	Μέγιστος Ρυθμός Download	Τυπικός Ρυθμός Download
2G	G	GPRS	0,1 Mbps	<0,1 Mbps
	E	EDGE	0,3 Mbps	0,1 Mbps
3G	3G	3G (Basic)	0,3 Mbps	0,1 Mbps
	H	HSPA	7,2 Mbps	1,5 Mbps
	H+	HSPA+	21 Mbps	4 Mbps
	H+	DC-HSPA+	42 Mbps	8 Mbps
4G	4G	LTE	100 Mbps	15 Mbps
	4G+	LTE-A	300 Mbps	45 Mbps

Εικόνα 7: Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων Δικτύων 2G-4G – Πηγή: ΕΕΚΤ

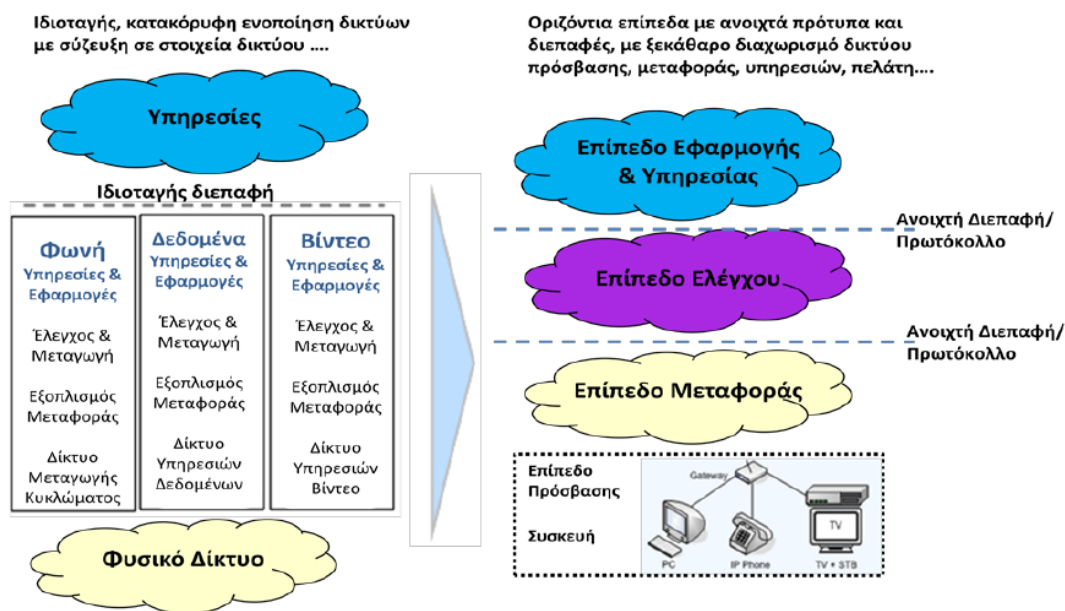
1.7 Δίκτυα του μέλλοντος

Στη σημερινή εποχή κυριαρχούν τα δίκτυα νέας γενιάς. Επί της ουσίας πρόκειται για ένα δίκτυο το οποίο εστιάζει στη μετάδοση πακέτων και έχει την ευχέρεια να προσφέρει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες καθώς επίσης και να χρησιμοποιεί πολλαπλές ευρυζωνικές και QoS-enabled τεχνολογίες μεταφορές και όπου οι δράσεις

οι οποίες έχουν άμεση σχέση με τις εν λόγω υπηρεσίες δεν εξαρτώνται από τις υποκείμενες τεχνολογίες, οι οποίες συσχετίζονται με τη μεταφορά.

Με λίγα λόγια, τα συγκεκριμένα δίκτυα παρέχουν απεριόριστη προσβασιμότητα σε όλους τους χρήστες ακόμα και σε εκείνους που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Τα δίκτυα του μέλλοντος υποστηρίζουν γενικευμένη κινητικότητα που προσφέρει τη δυνατότητα διαρκής αλλά και καθολικής παροχής υπηρεσιών σε όλους τους χρήστες.

Στην εικόνα που ακολουθεί, είναι εύκολο να διακρίνουμε μια συγκριτική παρουσίαση μεταξύ των κλασικών δικτύων και των δικτύων του μέλλοντος. Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε πως στα σύγχρονα δίκτυα περιέχονται καθορισμένα επίπεδα, όπως είναι για παράδειγμα το επίπεδο πρόσβασης, το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο εφαρμογών και υπηρεσιών.



Εικόνα 8: Δίκτυα του Μέλλοντος – Πηγή: Βορδώνης - Χατζηνάκης, Διπλωματική Εργασία, Π. Πατρών

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί πως τα δίκτυα του μέλλοντος αφορούν μια νέα δικτυακή υποδομή, που θα παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης αρκετών triple play υπηρεσιών (όπως είναι για παράδειγμα φωνή, δεδομένα και πολυμέσα). Ο βασικότερος στόχος αφορά τη βέλτιστη εφικτή εξυπηρέτηση των συγκεκριμένων εφαρμογών που χρειάζονται υψίρρυθμες ταχύτητες δικτύου και μεγάλο εύρος ζώνης, με απώτερο σκοπό να καταφέρουν να αντιμετωπίσουν τη διαρκή ανοδική τάση της ζήτησης, κάτι που δεν είναι εύκολο για καμία άλλη τεχνολογία μετάδοσης [6].

1.8 Η εξέλιξη προς τα δίκτυα 5G

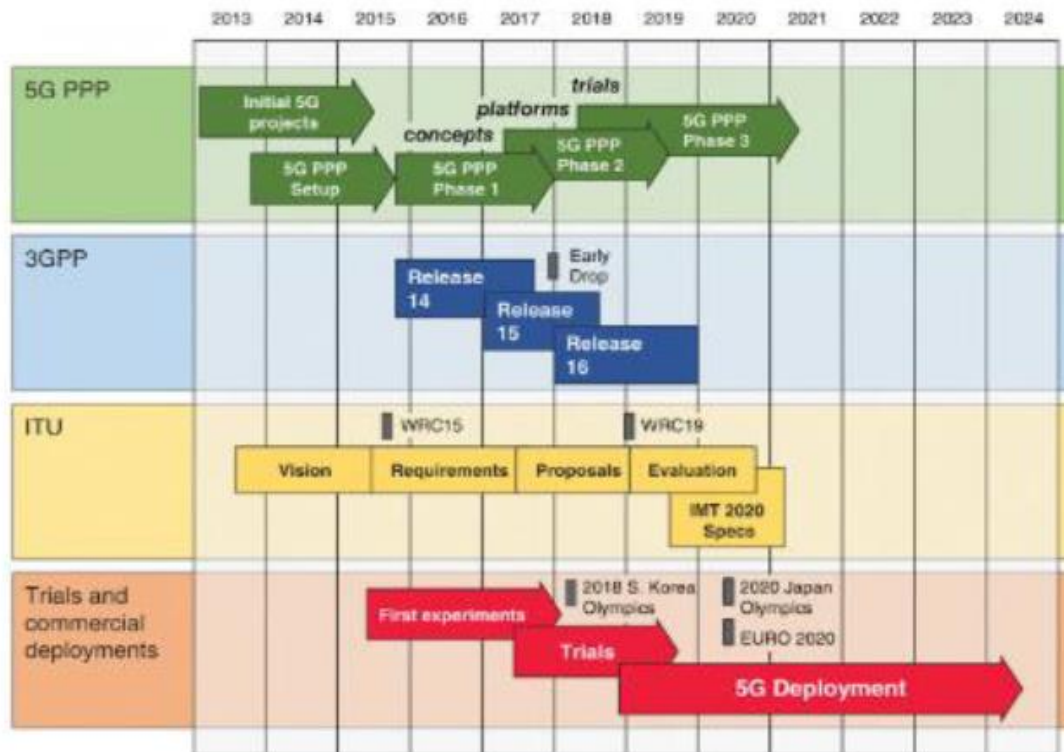
Σε ό,τι έχει να κάνει με τα δίκτυα κυψέλης, δηλαδή την 1G, θα πρέπει να επισημανθεί πως η βασική τεχνολογική ανάπτυξη η οποία επήλθε ήταν η ικανότητα την οποία προσέφερε στους χρήστες να επικοινωνούν διαμέσου του κινητού τηλεφώνου, δίχως να σταματάει η σύνδεση στην περίπτωση που υπάρξει μεταφορά από μια τοποθεσία σε άλλη.

Το πρώτο δίκτυο αυτής της μορφής εντοπίζεται στην Ιαπωνία στα τέλη της δεκαετίας του '70 ενώ μέχρι και τα μέσα της επόμενης δεκαετίας έγινε το 1^ο εθνικό δίκτυο. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και από διάφορα κράτη της Σκανδιναβίας ενώ αργότερα άρχισαν να θέτουν σε λειτουργία αυτά τα δίκτυα και άλλα κράτη. Παρόλα αυτά, το εκάστοτε κράτος ανέπτυξε τα δικά της πρότυπα αλλά και συστήματα επικοινωνίας, με βασικότερο στόχο να υφίσταται μια ολοκληρωμένη επικοινωνία που απαιτούσε την ενοποίηση των παγκόσμιων αγορών, έτσι ώστε η χρήση αυτών των συσκευών να μην περιορίζεται σε καθορισμένες γεωγραφικές τοποθεσίες.

Την περίοδο του '90, υπήρξε η επόμενη γενιά, που αφορούσε τα ψηφιακά δίκτυα GSM. Το πρώτο δίκτυο αυτής της μορφής έλαβε χώρα στην Φιλανδία και με αυτόν τον τρόπο η αναλογική μετάδοση σήματος έδωσε τη θέση της στην ψηφιακή εποχή. Τα δίκτυα αυτού του είδους οριοθέτησαν ενιαία πρότυπα επικοινωνίας αντιμετωπίζοντας με αυτόν τον τρόπο το φαινόμενο κατακερματισμού των προτύπων και αγορών, ανοίγοντας παράλληλα τον δρόμο τόσο για την ικανότητα των διεθνών κλήσεων όσο και για την πιο μεγάλη εξάπλωση των συγκεκριμένων συσκευών. Η ψηφιακή δράση προσέφερε την ευχέρεια εξυπηρέτησης πιο μεγάλου συνόλου συνδρομητών, συμβατότητα με άλλα συστήματα, επεκτασιμότητα καθώς επίσης και αισθητά βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών. Μαζί της η συγκεκριμένη τεχνολογία έφερε και μια καινούρια μέθοδο επικοινωνίας, που ήταν τα γραπτά μηνύματα [9].

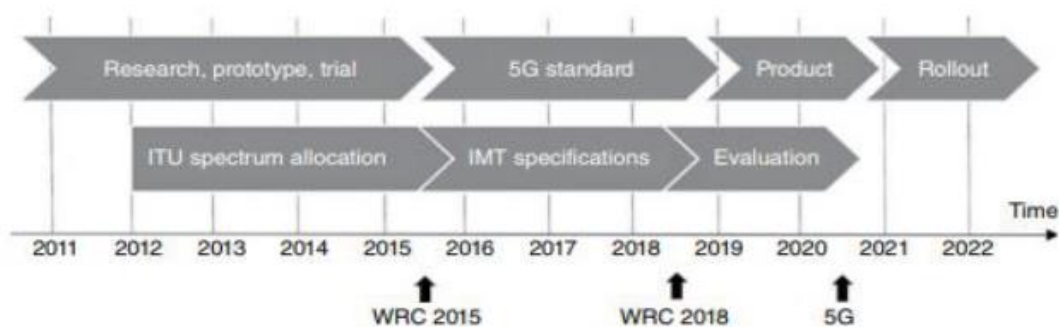
Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η επόμενη γενιά, η οποία είχε να κάνει με τη μεταφορά δεδομένων σε υψηλότερες ταχύτητες. Στις αρχές του αιώνα που διανύουμε υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, με συνέπεια να αναπτυχθεί η συγκεκριμένη γενιά (3G). Καινούρια συστήματα με πιο πολλές και εξελιγμένες δράσεις ήρθαν στο φως, πολυμέσα, μεταφορά πακέτων δεδομένων από και προς μια τέτοια συσκευή, τεράστια συνδεσιμότητα, δυνατότητα πρόσβασης στο internet, αποστολή και λήψη μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου κλπ. είναι ορισμένες από τις πιο σημαντικές και διαδεδομένες δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας. Μετέπειτα, ήρθε η επόμενη γενιά, η 4G που προσέφερε ακόμα πιο υψηλές ταχύτητες καθώς επίσης και πιο μικρό latency. Η συγκεκριμένη γενιά υποστηρίζει IP τηλέφωνα και όχι την κλασική τακτική του circuit-switching το οποίο χρησιμοποιούσε μέχρι πριν μερικά χρόνια, ενώ δρα και σε εντελώς διαφοροποιημένες συχνότητες σε σχέση με τις παλαιότερες τεχνολογίες.

Πλέον, όμως, σε παγκόσμιο επίπεδο έχουμε περάσει στην πρώιμη εποχή του 5G. Η πρώτη καθοριστική εμπορική ανάπτυξη αυτής της γενιάς υλοποιήθηκε κατά τους χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες στην Νότια Κορέα. Επί της ουσίας οι συγκεκριμένοι αγώνες αποτέλεσαν την 1^η τεράστια κλίμακας εξέλιξη και σηματοδότησαν ένα καθοριστικό ορόσημο στην εξέλιξη της εν λόγω τεχνολογίας.



Εικόνα 9: Ιστορική Εξέλιξη Δικτύων 5G – Πηγή: Holma et al., 2020

Πλέον το 3GPP έχει ολοκληρώσει τις προδιαγραφές της καλούμενης New Radio τεχνολογίας που αφορά το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης του 5G, αντικατοπτρίζοντας μια υπό-κατηγορία δράσεων αυτής της μορφής που είναι επαρκείς για τις πρώτες εμπορικές εφαρμογές αυτής της γενιάς στην καλούμενη μη αυτόνομη δράση NSA(Non Standalone). Η τελική ολοκλήρωση του 3GPP το οποίο πολλές φορές καλείται 1^ο επίπεδο της τελευταίας γενιάς, υλοποιήθηκε το Β' εξάμηνο της περιόδου του 2018 και περιείχε αυτόνομη δράση. Επιπλέον η τυποποίηση της συγκεκριμένης γενιάς στο 3GPP έχει επιτευχθεί σε υψηλό επίπεδο με απώτερο στόχο να προσφέρει τη δυνατότητα για πρώιμες εμπορικές εξελίξεις. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος ήταν ζωτικής σημασίας να υπάρξει μια ιεράρχηση του πλαισίου εφαρμογής αυτών των συστημάτων. Κάποιες φάσεις σχεδιασμού έχουν υλοποιηθεί αφήνοντας περισσότερες αλλαγές και βελτιστοποιήσεις για άλλα είδη υπηρεσιών για αργότερα [9].



Εικόνα 10: Φάσεις Σχεδιασμού 5G – Πηγή: Penttinen. 2019

Στο συγκεκριμένο σημείο χρειάζεται να σημειωθεί πως το 3GPP ακολουθεί την προσέγγιση πως εισάγεται στις αρχικές κυκλοφορίες αυτής της τεχνολογίας και είναι καθοριστικό να είναι αποδεδειγμένο στο μέλλον είτε συμβατό προς το μέλλον. Αυτό σημαίνει πως δεν χρειάζεται να αποτελεί πρόβλημα για περισσότερες αλλαγές στις μελλοντικές κυκλοφορίες [9]. Βασικό παράδειγμα της εν λόγω προσέγγισης αποτελεί η μέθοδος διαμέσου της οποίας το 3GPP διαχειρίζεται την αυτό-επιπέδωση, δηλαδή τη χρησιμοποίηση της ίδιας τεχνολογίας φάσματος τόσο για το Backhaul όσο και για συνδέσεις πρόσβασης. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το 5G συμφωνήθηκε την περίοδο του 2015, δίνοντας τη δυνατότητα στον IMT να οριοθετήσει τις απαιτήσεις. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την τεχνολογία παίζουν οι δράσεις τυποποίησης καθώς επίσης και το επίπεδο εξέλιξης των αγαθών [9].

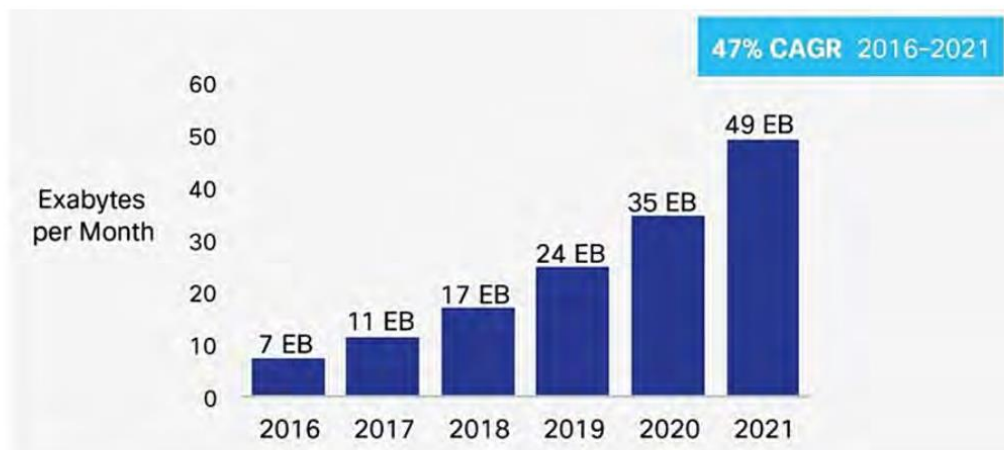
2 Δίκτυα 5G – Ανάλυση Θεωρητικού Πλαισίου

Όταν αναφερόμαστε σε δίκτυα 5ης γενιάς, με συντομογραφία 5G ορίζουμε και εννοούμε την 5η γενιά ασύρματων κινητών δικτύων, σημαντική εξέλιξη των σημερινών δικτύων 4G LTE. Σχεδιάζονται για να καλύψουν την πολύ μεγάλη ανάπτυξη των δεδομένων και της συνδεσιμότητας της σύγχρονης κοινωνίας στο διαδίκτυο καθώς με το πέρασμα των χρόνων και λόγω των πολύπλοκων ανθρώπινων αναγκών θα υπάρχουν δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές σε αυτό. Σε πρώτη φάση, το 5G θα λειτουργήσει σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα δίκτυα 4G, προτού εξελιχθεί σε πλήρως αυτόνομο δίκτυο. Η εφαρμογή τους καθώς και η προτυποποίηση τους αναμένεται να ολοκληρωθεί μέχρι το 2021, ενώ η πρώτη υλοποίηση ενός τέτοιου δικτύου σε μεγάλη κλίμακα πραγματοποιήθηκε στη Νότια Κορέα τον Απρίλιο του 2019.

Το 5G δεν είναι απλώς μια εξέλιξη της τεχνολογίας στις τηλεπικοινωνίες. Είναι η θεμελιώδης πλατφόρμα για την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και θα γίνει αναπόσπαστο μέρος των κοινωνιών και των πολιτικών υποδομών, όπως ακριβώς οι δρόμοι, η ενέργεια και οι μεταφορές. Αποτελεί την πύλη για τον εικονικό κόσμο, ο οποίος θα αρχίσει να προσαρμόζεται οργανικά στις ποικίλες ανάγκες των χρηστών με εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο και κατ' απαίτηση. Για τους διαχειριστές δικτύων, το 5G θα γίνει η απόλυτη πλατφόρμα για πραγματική επιχειρηματική καινοτομία και νέες ροές εσόδων. Η πιο ριζοσπαστική του ικανότητα είναι η μεταφορά τεράστιου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής όπως έχει διαμορφωθεί έχει οδηγήσει σε μεγάλη ζήτηση δεδομένων. Σύμφωνα με στοιχεία της EETT η προσδοκώμενη ζήτηση για data το 2023 θα αγγίξει 17GB ως μέση τιμή παγκοσμίως ανά μήνα και ανά ενεργό smartphone, ενώ η συνολική μηνιαία κίνηση δεδομένων θα ανέρχεται στα 107EB. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση δεδομένων πάνω από δίκτυα κινητών επικοινωνιών αναμένεται να αυξηθεί κατά οκτώ φορές από το 2017 έως το 2023. Μία άλλη έρευνα της Cisco Visual Networking Index από τον Φεβρουάριο του 2017 υποδεικνύει όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ότι η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να αυξηθεί σε 49 exabytes ανά μήνα έως το τέλος του 2021, δηλαδή επτά φορές μεγαλύτερη από το 2016 και με ετήσιο ρυθμό αύξησης 47%. Επίσης, σύμφωνα με μία άλλη έρευνα από την Ericsson για το διάστημα 2017-2023 παρατηρείται τάση εκθετικής αύξησης του αριθμού ευρυζωνικών συνδρομών κινητών επικοινωνιών (8,3 δις από 5,3 δις στο τέλος του 2017). Το 20% αυτής της κίνησης παγκοσμίως αναμένεται να περνάει πάνω από δίκτυα 5G ήδη το 2023. Το video το οποίο έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις μετάδοσης, αναμένεται ότι μέχρι το 2023 θα έχει αποσπάσει το 73% της συνολικής κίνησης (56% το 2017). Τέλος, ο αναμενόμενος αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων – Internet of Things (IoT)– μέσω κινητών επικοινωνιών το 2023 θα αγγίξει τα 3,5 δις (από 700 εκ. το 2017). Η ανάπτυξη της συνδρομητικής βάσης, η κίνηση δεδομένων και οι υψηλές απαιτήσεις απόδοσης

δικτύου αδυνατούν να εξυπηρετηθούν από τα σημερινά δίκτυα. Τα χαρακτηριστικά που καλύπτουν τις παραπάνω ανάγκες συγκεντρώνονται στο 5G, το οποίο θα φέρει επιπλέον μια πληθώρα νέων ευκαιριών για τους ανθρώπους, την κοινωνία και τις επιχειρήσεις [10].



Source: Cisco VNI Mobile, 2017

Εικόνα 11: Ρυθμός Δεδομένων Ανά Έτος (2016-2021)

Η οικογένεια προτύπων που θα χαρακτηρίζει τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα λέγεται IMT-2020 και θα εκδοθεί από την ITU. Πέραν όμως από την ITU, υπάρχουν και άλλοι φορείς οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς. Κάποιοι από αυτούς τους φορείς που θα παίζουν σημαντικό ρόλο είναι ο 3GPP και ο IEEE. Εκτός από τους ήδη υπάρχοντες φορείς, έχουν δημιουργηθεί και νέοι, οι οποίοι κινούν τα νήματα σε ιδιαίτερα κρίσιμες περιοχές με σπουδαιότερο και μεγαλύτερο, τον 5G PPP (5G Public-Private partnership), ο οποίος δημιουργήθηκε και λειτουργεί στην Ευρώπη και είναι μία συνεργασία κυρίως από εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, είτε ως πάροχοι υπηρεσιών είτε ως κατασκευαστές. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του 5G, εκτός από την παροχή ταχύτερων συνδέσεων και μεγαλύτερης χωρητικότητας είναι ο γρήγορος χρόνος απόκρισης και η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης. Η καθυστέρηση (latency) είναι ο χρόνος που απαιτείται για τις συσκευές να ανταποκρίνονται η μία με την άλλη μέσω του ασύρματου δικτύου. Τα δίκτυα 3G είχαν τυπικό χρόνο απόκρισης 100 χιλιοστών του δευτερολέπτου, το 4G μείωσε τον χρόνο σε περίπου 30 χιλιοστά του δευτερολέπτου και το 5G λέγεται πως θα έχει καθυστέρηση που θα είναι τόσο χαμηλή όσο 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Ουσιαστικά το 5G θα είναι ένα νέο οικοσύστημα το οποίο θα καθιστά εφικτό έναν υπερσύγχρονο, πλήρως συνδεδεμένο κόσμο. Το δίκτυο 5G θα είναι εξαιρετικά ετερογενές και θα συγκλίνει προς πολλαπλούς τύπους τεχνολογιών πρόσβασης, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα WiFi & LTE, τόσο σε αδειοδοτημένο όσο και σε μη αδειοδοτημένο φάσμα, παρέχοντας βελτιωμένη εμπειρία χρηστών.

Τα δίκτυα 5G πρόκειται να είναι πιο αποτελεσματικά από τις προηγούμενες γενιές, καθώς αναμένεται να είναι ταχύτερα προσφέροντας υψηλότερους ρυθμούς

δεδομένων, να υποστηρίζουν σημαντικά περισσότερους χρήστες και συνδεδεμένες συσκευές, αλλά πιο καίρια σημασία έχει το γεγονός ότι θα μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες εξατομικευμένες, προσαρμοσμένες στις εκάστοτε συνθήκες και σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, σημαντικά πλεονεκτήματα που αναμένεται να έχουν είναι η ευρύτερη κάλυψη δικτύου και η παρατεταμένη διάρκεια ζωής των συνδεδεμένων συσκευών. Το 5G αποτελεί ευκαιρία για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για την ενίσχυση των πολιτών και των επιχειρήσεων. Θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στη στήριξη κυβερνήσεων και πολιτικών για τη μετατροπή των πόλεων τους σε έξυπνες πόλεις, επιτρέποντας στους πολίτες και τις κοινότητες να απολαμβάνουν τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη μιας προηγμένης ψηφιακής οικονομίας. Υπόσχεται να προσφέρει βελτιωμένη εμπειρία τελικού χρήστη, προσφέροντας νέες εφαρμογές και υπηρεσίες με ταχύτητες Gigabit και σημαντικά βελτιωμένη απόδοση και αξιοπιστία. Εν ολίγοις, τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα έχουν ως βασικό μέλημα να αξιοποιήσουν τις επιτυχίες των 2G, 3G και 4G κινητών δικτύων, τα οποία έχουν μεταμορφώσει τις κοινωνίες, υποστηρίζοντας νέες υπηρεσίες και νέα επιχειρηματικά μοντέλα, παρέχοντας στους φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων τη δυνατότητα να δημιουργήσουν και να αναπτύξουν νέες καινοτόμες λύσεις και υπηρεσίες για τους καταναλωτές. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα κάποιες βασικές περιπτώσεις χρήσεις και εφαρμογές που θα δημιουργηθούν με την ενεργοποίηση των δικτύων 5G [11,13].

2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις Δικτύων 5G

Είναι αναντίρρητο γεγονός πως η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα ο διαρκώς υψηλός ρυθμός αύξησης των smart devices, και της εκτίναξης του όγκου και της ταχύτητας δεδομένων, μας παροτρύνουν να εξετάσουμε από διαφορετική οπτική γωνία τα 5G δίκτυα. Εκ των πραγμάτων και χωρίς να εμβαθύνουμε αρκετά, καθίσταται σαφές πως πρέπει να χαρακτηρίζονται από τέσσερα βασικά γνωρίσματα: *α) υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και μεγάλος όγκος δεδομένων β) συνεχής και αδιάκοπη συνδεσιμότητα, γ) ελάχιστο χρόνο καθυστέρησης και δ) ελαχιστοποίηση του κόστους και της ενέργειας*. Η ανάπτυξη των δικτύων 5G πέρα από την ραγδαία αύξηση της ταχύτητας και της χωρητικότητας των δικτύων αποσκοπεί και σε κάποιους άλλους πιο ουσιαστικούς στόχους έχοντας σαν αποστολή την βελτιστοποίηση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η επερχόμενη γενιά κινητών δικτύων αναμένεται να ενεργοποιήσει ένα τεράστιο οικοσύστημα το οποίο θα λέγεται Internet of Things (IoT) ή αλλιώς Διαδίκτυο των Πραγμάτων, όπου τα δίκτυα μπορούν να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες επικοινωνίας για δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές πετυχαίνοντας εκρηκτικές ταχύτητες, εκμηδενισμό της καθυστέρησης για απόκριση και ταυτόχρονα ελαχιστοποίηση του κόστους.

Το 5G θα μπορεί να υποστηρίξει εντελώς νέες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, πραγματοποιώντας το όραμα μιας πλήρως ψηφιακής εποχής, ενώ, για τους παρόχους, υπόσχεται την επέκταση του προϊόντικού μίγματος προς την κατεύθυνση του IoT. Αυτό θα επιτευχθεί με τη σύγκλιση των διαδικτυακών υπηρεσιών με τα πρότυπα των

υπαρχόντων δικτύων κινητών επικοινωνιών, κάτι που θα οδηγήσει στο “Mobile Internet” μέσω ετερογενών δικτύων (HetNets – Heterogenous Networks) με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Με την δημιουργία των ετερογενών αυτών δικτύων θα γίνει εφικτή η χρήση του “Διαδικτύου Πραγμάτων” (IoT - Internet of Things) στα 5G δίκτυα. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν αυτές οι υποσχέσεις, οι πάροχοι θα βρεθούν αντιμέτωποι με την πρόκληση της αλλαγής των επιχειρηματικών τους μοντέλων, πέρα από τις παραδοσιακές B2C αγορές. Νέες αγορές περιλαμβάνουν αυτές της αυτοκίνησης, των online παιχνιδιών, των υπηρεσιών personal cloud, των δικτύων αισθητήρων, των απομακρυσμένων υπηρεσιών υγείας, κ.ά. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμα μετά το 2020, επομένως, η ανάπτυξη τους διεθνώς επικεντρώνεται σε τρεις βασικές περιοχές [11,12]:

1. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), όπου εκτιμάται σύμφωνα με τη Cisco ότι ως το 2025, ο αριθμός των συνδεδεμένων IoT συσκευών θα είναι διπλάσιος του αριθμού των προσωπικών συσκευών, ανοίγοντας έτσι μια τεράστια νέα αγορά για τους παρόχους.

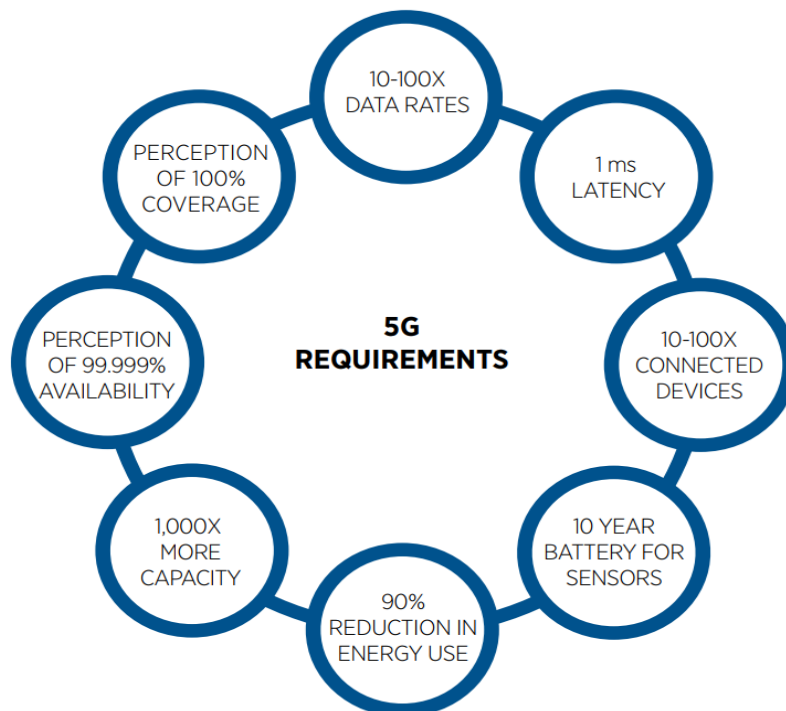
2. Βελτιστοποιημένες υπηρεσίες (optimized services), οι οποίες θα υλοποιούν εφαρμογές επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο, όπως δικτυακή εκπομπή καταναμημένου περιεχομένου (distributed content delivery network broadcasting), για παράδειγμα παροχή ζωντανής μετάδοσης αθλητικών αγώνων ή άλλων γεγονότων, software updates, in-app διαφημίσεις, κ.ά..

3. Κινητή ευρυζωνικότητα (mobile broadband), η οποία άλλωστε αποτελεί πλέον βασικό πυλώνα για την ανάπτυξη των παρόχων και όπου οι απαιτήσεις των πελατών για μεγαλύτερες ταχύτητες αυξάνονται συνεχώς. Είναι αναντίρρητο δεδομένο, σύμφωνα με πολλές έρευνες πως ο ρυθμός αύξησης δεδομένων τα επόμενα χρόνια θα είναι ραγδαίος. Κατά αυτόν τον τρόπο οι πάροχοι θα οδηγηθούν σε μια σημαντική αναδιάρθρωση στον τομέα των εσόδων. Σύμφωνα με τη GSMA,[11] έως το 2020, το ποσοστό των εσόδων των παρόχων από δεδομένα, ως προς τα συνολικά έσοδα, θα ξεπεράσει το 60%, ποσοστό που είναι κάτι παραπάνω από τριπλάσιο σε σύγκριση με το προ δεκαετίας που ήταν 18%.

Ουσιαστικά, ο ταχύτερος ρυθμός αύξησης των συνδεδεμένων συσκευών στο Internet και οι απαιτητικές μελλοντικές προσδοκίες των χρηστών επιζητούν τις καταλληλότερες απαντήσεις οι οποίες θα δοθούν από την αύξηση της χωρητικότητας, την βέλτιστη χρήση του ραδιοφάσματος αλλά και τη βελτίωση της απόδοσης ενέργειας και του κόστους. Για τον λόγο αυτό, κατά γενική ομολογία τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς κρίνεται απαραίτητο πως πρέπει συνοπτικά να διαθέτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά και να ικανοποιούν τις εξής απαιτήσεις [13,14]:

- **10-100 φορές μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών.**
- **1000 φορές υψηλότερο εύρος ζώνης ανά περιοχή.**
- **10-100 φορές υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.**
- **Latency (Καθυστέρηση απόκρισης) 1 millisecond.**
- **99.99% διαθεσιμότητα δικτύου.**
- **100% κάλυψη.**

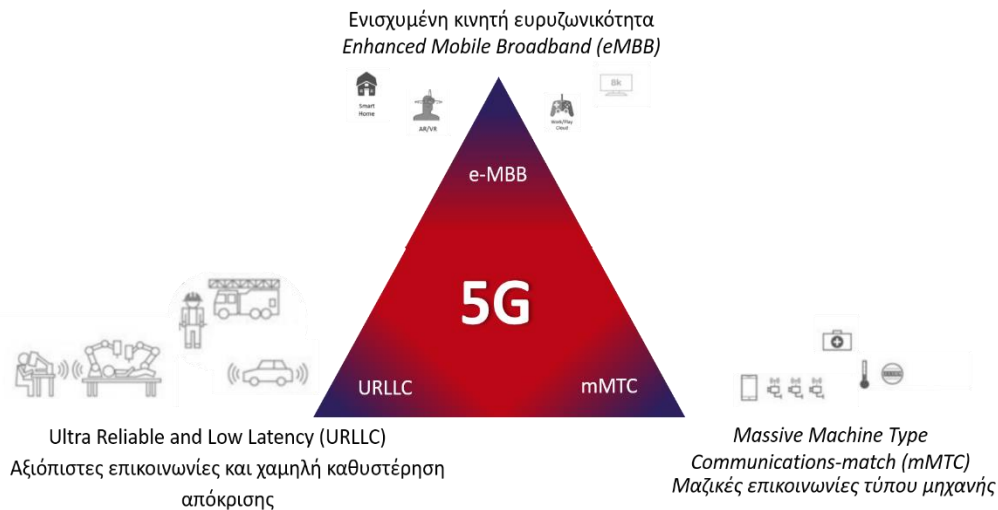
- **90% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του δικτύου.**



Εικόνα 12: Στόχοι και Απαιτήσεις Δικτύων 5G – Πηγή: GSMA

Τα δίκτυα 5G δεν αποτελούν απλώς μια βελτίωση των προηγούμενων δικτύων, αλλά γίνεται ένα άλμα αναφορικά με τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και τη χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης που θα προσφέρουν, τη μαζική διασύνδεση συσκευών (machine to machine), την αξιοπιστία των δικτύων και την ενεργειακή τους απόδοση. Οι αλλαγές αυτές θα ικανοποιήσουν την ανάγκη για αυξημένη χωρητικότητα και ρυθμούς μετάδοσης που απαιτεί σήμερα η αυξανόμενη χρήση video (ποιότητα video 4K, ο αυξημένος χρόνος παρακολούθησης τηλεοπτικών και άλλων προγραμμάτων μέσω κινητών συσκευών κλπ.). Σύμφωνα με το 3GPP οι τρεις κύριοι τεχνικοί στόχοι του 5G δικτύου ή τρεις τύποι υπηρεσιών όπως αναφέρονται [14] μερικές φορές είναι:

1. *Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (Enhanced Mobile Broadband-eMBB)*
2. *Αξιόπιστες Επικοινωνίες και χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης (Ultra Reliable and Low Latency -URLLC)*
3. *Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (Massive Machine Type Communications-match)*



Εικόνα 13: Τύποι Υπηρεσιών 5G

2.2 Προϋποθέσεις Ανάπτυξης Δικτύων 5G

Τα 5G δίκτυα κατέχουν καταλυτικό ρόλο στον ψηφιακό μετασχηματισμό και αποτελούν υψίστης σημασίας στοιχείο για την δημιουργία έξυπνων πόλεων (smart cities). Παρόλα αυτά, η ανάπτυξη των δικτύων αυτών, η χρηστικότητα και λειτουργικότητα τους με τις υφιστάμενες και με νέες υποδομές καθώς και η βέλτιστη αξιοποίησή τους απαιτούν ένα σύνολο συντονισμένων δράσεων σε νομοθετικό/κανονιστικό και τεχνικό επίπεδο. Με στόχο την πρωτοπορία στην ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανάμεσα σε αυτά και η Ελλάδα, συμφώνησαν σε ένα πλαίσιο συνεργασίας με στόχο την έγκαιρη διάθεση του απαιτούμενου φάσματος, τη διευκόλυνση της ανάπτυξης των απαιτούμενων υποδομών (οπτικών ινών και κεραιοσυστημάτων), την αξιοποίηση των υφιστάμενων υποδομών. Με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας των δικτύων 5G και την δημιουργία ενός πλαισίου πανευρωπαϊκής συνεννόησης με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Για τον λόγο αυτό, στις 14 Σεπτεμβρίου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνέταξε ένα Πλάνο Δράσης (Action Plan) που αφορά τα δίκτυα 5G, σύμφωνα με το οποίο όλες οι ευρωπαϊκές πόλεις μέχρι το 2025 θα πρέπει να προσφέρουν αδιάλειπτη σύνδεση με 5^{ης} γενιάς δίκτυα. Πέρα από αυτό το στόχο, κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι αναγκαίο να προσφέρει εμπορικά διαθέσιμες υπηρεσίες 5G σε μια τουλάχιστον μεγάλη πόλη ως το 2020. Οι ενέργειες για την ανάπτυξη και υλοποίηση δικτύων 5G στην Ευρώπη εντάσσονται και στο νέο ευρωπαϊκό σχέδιο για το Gigabit Society, το οποίο υποδεικνύει ότι τα αστικά κέντρα και οι κύριες επίγειες διαδρομές μεταφορών θα πρέπει να έχουν απρόσκοπτη κάλυψη 5G έως το 2025. Για αυτόν τον λόγο κάθε κράτος μέλος έχει καταρτίσει οδικό χάρτη για την επίτευξη αυτών των σημείων αναφοράς στο τέλος του 2017.

Το Πλάνο Δράσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής θέτει μια σειρά από πολύ σημαντικά θέματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη από τα κράτη μέλη. Αυτά περιλαμβάνουν [15]:

1. Κοινό χρονοδιάγραμμα για την εισαγωγή υπηρεσιών 5G. Αρχική υλοποίηση δικτύων ως το τέλος του 2018, και εισαγωγή πλήρως λειτουργικών εμπορικών υπηρεσιών ως το τέλος του 2021. Αυτό το χρονοδιάγραμμα περιλαμβάνει επίσης τη σύσταση προς όλα τα κράτη μέλη να εκπονήσουν, ως το τέλος του 2017, εθνικούς οδικούς χάρτες για την υλοποίηση δικτύων 5G.
2. Την αποφυγή των εμποδίων για τη διάθεση του ραδιοφάσματος 5G. Οι σχετικές ενέργειες περιλαμβάνουν τον εντοπισμό, ως το τέλος του 2016 ενός προσωρινού καταλόγου φασματικών ζωνών για την αρχική εισαγωγή των υπηρεσιών 5G σε τουλάχιστον τρεις ζώνες (κάτω από 1 GHz, μεταξύ 1 και 6 GHz, πάνω από 6 GHz) και, στη συνέχεια, τη συμφωνία, ως το τέλος του 2017, στο πλήρες σύνολο των ζωνών φάσματος μεταξύ των χωρών-μελών.
3. Την υλοποίηση και αξιοποίηση επενδύσεων σε κινητά και σταθερά δίκτυα, ιδίως μέσω της θέσπισης συγκεκριμένων χρονικών και ποιοτικών στόχων έτσι ώστε να παρακολουθείται στενά η αποστολή που έχει να κάνει με την παροχή πλήρους κάλυψης και πρόσβασης σε δίκτυα 5G ως το τέλος του 2025.
4. Η προτυποποίηση η οποία είναι αναγκαία για την διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των δικτύων. Βασικός στόχος είναι τα πρώτα παγκόσμια πρότυπα για το 5G ήταν να είναι διαθέσιμα μέχρι το τέλος του 2019, ενώ το πλάνο δράσης προβλέπει τη θέσπιση ενιαίων προτύπων που να καλύπτουν τόσο το ραδιοφάσμα όσο και το δίκτυο κορμού. Τη διευκόλυνση καινοτομίας στο 5G, προβλέποντας συστάσεις προς τις επιχειρήσεις να σχεδιάσουν, ήδη από το 2017, τεχνολογικά πειράματα που θα επιδείξουν τις δυνατότητες του 5G σε οικονομικούς κλάδους στρατηγικής σημασίας. Οι οδικοί χάρτες για την υλοποίηση advanced pre-commercial trials έπρεπε να είναι έτοιμοι ως το Μάρτιο του 2017 (έτσι ώστε οι δοκιμές να ξεκινήσουν από το 2018).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέτοντας ως κύριο μέλημα την προστασία και την ασφάλεια των πολιτών της, ενθαρρύνει τα κράτη-μέλη να αξιοποιήσουν τις μελλοντικές υποδομές 5G ούτως ώστε να βελτιώσουν την απόδοση των υπηρεσιών επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές δημόσιας ασφάλειας συμπεριλαμβανόμενων των υπηρεσιών πολιτικής προστασίας και αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών. Κλείνοντας, διευκολύνει τα κράτη μέλη της να προβούν στις αναγκαίες επενδύσεις, προτείνοντας τη συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων για το σχεδιασμό αντίστοιχων venture capital facilities, σε συνεργασία με το EFSI (European Fund for Strategic Investments) [15].

Το όραμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως αποτυπώνεται στα σχετικά κείμενα, για τα δίκτυα επόμενης γενιάς είναι σε δέκα χρόνια από σήμερα οι τομείς τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών να ενοποιηθούν σε μια κοινή υποδομή πολύ υψηλής χωρητικότητας. Αυτό το όραμα προϋποθέτει ευελιξία και επεκτασιμότητα των υποδομών, που με τη σειρά τους απαιτούν εικονικά διαμορφωμένες (virtualised) λειτουργίες δικτύου υλοποιούμενες σε υλικό (hardware) που θα είναι γενικού σκοπού, προγραμματιζόμενο και υψηλής επίδοσης και που θα παρέχει τους απαραίτητους πόρους για μεταφορά, δρομολόγηση, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων [16].

Όσον αφορά την Ελλάδα, το υφιστάμενο ρυθμιστικό περιβάλλον επί της ουσίας, δεν είναι ενθαρρυντικό για το περαιτέρω άνοιγμα της αγοράς, τις απαιτούμενες επενδύσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν αλλά και τη διασφάλιση των υπάρχοντων δικτύων. Το πρόβλημα δεν εντοπίζεται στη νομοθεσία αλλά στην εφαρμογή του στην πράξη από τις εμπλεκόμενες δημόσιες υπηρεσίες. Τα δύο σημαντικότερα ζητήματα αφορούν στις αδειοδοτήσεις σταθμών βάσης και στο φάσμα.

Το Σύστημα Ηλεκτρονικής Υποβολής Αιτήσεων Κατασκευών Κεραιών (ΣΗΛΥΑ) θεσπίστηκε με τον Ν.4070/2012 και αναπτύχθηκε από την ΕΕΤΤ για την υλοποίηση της αδειοδότησης κατασκευών κεραιών με στόχο την επιτάχυνση και απλοποίηση της διαδικασίας και τη δυνατότητα τήρησης σε ηλεκτρονική μορφή του συνόλου των σχετιζόμενων με την αδειοδότηση εγγράφων, τα οποία είναι διαθέσιμα στο σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων. Η λειτουργικότητα του συστήματος βελτιώθηκε εντός του 2016 με νέες δυνατότητες, ενώ συνεχίστηκε η εγγραφή υπηρεσιών. Οι δημόσιες υπηρεσίες που το χρησιμοποιούν έχουν βοηθηθεί στη λειτουργία τους καθώς η πληροφορία είναι διαθέσιμη στο σύστημα ενώ υπάρχει διαφάνεια. Παρά τις βελτιώσεις, συνεχίζουν να υπάρχουν σημαντικά προβλήματα, τα οποία δυσχεραίνουν και καθυστερούν τις επενδύσεις σε δίκτυα. Μερικά από αυτά είναι τα εξής [16]:

1. Οι προβλεπόμενοι βάσει του νομοθετικού πλαισίου χρόνοι έκδοσης αδειών δεν τηρούνται από τις δημόσιες υπηρεσίες ενώ δεν εκδίδονται και τα προβλεπόμενα πιστοποιητικά πληρότητας στις περιπτώσεις καθυστέρησης.
2. Μόλις 5 περιφέρειες και 20 πολεοδομίες σύμφωνα με την ΕΕΤΤ έχουν εγγραφεί στο σύστημα ενώ η Ελλάδα αριθμεί 13 περιφέρειες και πάνω από 150 πολεοδομίες. Η πλειοψηφία των εμπλεκόμενων στις διαδικασίες περιφερειών και πολεοδομιών δεν έχει εγγραφεί παρότι έχουν περάσει πάνω από 4 έτη από την ψήφιση του σχετικού νόμου και την ανάπτυξη του συστήματος.
3. Αποκεντρωμένες υπηρεσίες όπως τα Δασαρχεία και οι Αρχαιολογίες κ.α. δεν είναι ακόμα εγγεγραμμένες στο σύστημα.
4. Μεγάλη καθυστέρηση και άρνηση έκδοσης Πολεοδομικών Εγκρίσεων από ορισμένες πολεοδομίες και καθυστέρηση έκδοσης Εγκρίσεων Περιβαλλοντικών Όρων από τις Περιφέρειες.

5. Έλλειψη εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού στην ΕΕΤΤ. Ορισμένες πρόσφατες τροπολογίες και διοικητικές πράξεις της ΕΕΤΤ, λέγεται πως θα ενισχύσουν το ανθρώπινο δυναμικό που θα αναλάβει να διεκπεραιώσει τις εκκρεμείς αιτήσεις, αμβλύνοντας το πρόβλημα.
6. Υπάρχουν συνεχιζόμενες ελλείψεις στη δευτερογενή νομοθεσία (ΚΥΑ & ΥΑ) που απαιτείται, ώστε να αποσαφηνιστούν οι διαδικασίες και να ρυθμιστούν ορισμένες υποκατηγορίες σταθμών βάσης:
 - Πάρκα Κεραιών για την αδειοδότηση κρίσιμων κομβικών εγκαταστάσεων.
 - Αδειοδότηση υφιστάμενων ΣΒ πλησίον αεροδρομίων πολεμικής αεροπορίας και κεραιών ΥΠΑ.
 - Εγκατάσταση Κεραιών σε πυλώνες ΔΕΗ.
 - Καθορισμός διαδικασιών και δικαιολογητικών για την πολεοδομική έγκριση και το ΣΗΛΥΑ ώστε να είναι σαφείς οι υποχρεώσεις τόσο των αιτούντων(παρόχων) όσο και των εμπλεκόμενων δημόσιων υπηρεσιών στις διαδικασίες αδειοδότησης.
 - Μικρές τροποποιήσεις σταθμών βάσης (δομικών και άλλων χαρακτηριστικών) και δυνατότητα απλουστευμένης διαδικασίας αδειοδότησης.

Μια πολύ σημαντική προϋπόθεση για την ανάπτυξη και λειτουργία των δικτύων 5^{ης} γενιάς αποτελεί η έγκαιρη και συντονισμένη διάθεση του απαιτούμενου φάσματος συχνοτήτων. Εντός του 2019 αναμένεται να ολοκληρωθούν οι διαδικασίες για την εναρμόνιση των φασματικών ζωνών των 3.6GHz και των 26GHz ώστε να ακολουθήσει η διάθεσή τους για την ανάπτυξη δικτύων 5G μέχρι το τέλος του 2020. Παράλληλα, θα προχωρεί η «απελευθέρωση» της ζώνης των 700MHz. Η ζώνη των 700MHz (690-794MHz) αποδόθηκε για κινητές τηλεπικοινωνίες από τη Διεθνή Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών το 2012. Οι ευρωπαϊκές χώρες βρίσκονται ήδη στη διαδικασία υλοποίησης της απόδοσης του εν λόγω φάσματος ενώ ορισμένες χώρες έχουν ήδη προχωρήσει στη δημοπρασία του. Στην Ελλάδα όμως, το εν λόγω φάσμα ήδη χρησιμοποιείται από τρίτους χρήστες και πιο συγκεκριμένα από το Υπουργείο Άμυνας και χρειάζεται να οργανωθεί μία συνεργασία όπως έγινε για το ψηφιακό μέρισμα των 800MHz για την ομαλή μετάβαση των υφιστάμενων χρηστών και την απόδοση του στις τηλεπικοινωνίες. Η διάθεση αυτών των φασματικών ζωνών θα επιτρέψει και την επίτευξη του στόχου υλοποίησης 5G δικτύου σε ένα τουλάχιστον κύριο αστικό κέντρο κάθε ευρωπαϊκού κράτους.

Σε επόμενο στάδιο για το 5G, θα απαιτηθεί φάσμα σε τρεις περιοχές [16]:

- <1GHz: (π.χ. 700 MHz) που θα υποστηρίξει την γεωγραφική κάλυψη περιοχών και θα υποστηρίξει το IoT.
- 1-6GHz: που παρέχει ένα καλό μίγμα δυναμικότητας και κάλυψης. Σε αυτή την περιοχή η ζώνη των 3,3 GHz – 3,8 GHz προβλέπεται να αποτελέσει τη βάση για το 5G.

- >6GHz: φάσμα σε αυτή την περιοχή θα απαιτηθεί για να υποστηρίξει τις υπερυψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες που προβλέπονται για το 5G. Η ζώνη των 24 GHz – 28 GHz παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε αυτήν την περίπτωση.

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G προϋποθέτει εκτεταμένη εγκατάσταση νέων υποδομών «ενσύρματων» τηλεπικοινωνιών συστημάτων αλλά και κεραιοσυστημάτων. Η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων υποδομών θεωρείται απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να περιοριστεί το κόστος υλοποίησης, να περιοριστεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση και να επιταχυνθούν οι σχετικές διαδικασίες. Η Οδηγία 2014/61/ΕΕ, που έχει ενσωματωθεί στην Ελληνική νομοθεσία με τον νόμο 4463/2017 (ΦΕΚ Α΄ 82/30.03.2017) προβλέπει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την καταγραφή και αξιοποίηση των υφιστάμενων υποδομών, αλλά και για τον συντονισμό τεχνικών εργασιών για την υλοποίηση νέων εγκαταστάσεων. Ένα πολύ σημαντικό θέμα, που θα πρέπει να εξεταστεί, είναι η απαίτηση για παροχή υψηλού επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες και για μείωση των συνδεδεμένων χρηστών ανά κυψέλη, πράγμα το οποίο οδηγεί αναγκαστικά σε «πύκνωση» των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, με την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού κεραιοσυστημάτων, ειδικά στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, όχι μόνο σε τεχνικό επίπεδο, αλλά κυρίως σε διαδικαστικό/κανονιστικό εκεί όπου ενέργειες όπως οι διαδικασίες αδειοδότησης, η εύρεση σημείων εγκατάστασης κεραιοσυστημάτων κ.λπ. καθιστούν δύσκολο αυτό το έργο. Στα χρόνια που έπονται, οι απαιτήσεις αδειοδότησης σταθμών βάσης για **4G+** και **5G** [16] είναι:

- Αναβάθμιση και επανααδειοδότηση υφιστάμενου δικτύου - 11.000 σταθμοί βάσης και 5.000 μικρές κεραίες.
- Αδειοδότηση επιπρόσθετων σταθμών βάσης και 10.000 επιπλέον μικρών κεραιών για την πύκνωση του συστήματος και την κάλυψη κενών.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς αποτελούν και οι νέες επενδύσεις, εκ των οποίων ένα σημαντικό μέρος θα καλυφθεί από τον ιδιωτικό τομέα. Για να επιτευχθεί αυτό, θα απαιτηθεί και η συμβολή του δημόσιου τομέα, η οποία θα είναι κρίσιμη κυρίως για τη διασφάλιση των απαραίτητων υποδομών για τη «φιλοξενία» των δικτύων πέμπτης γενιάς, όπως για παράδειγμα υποδομές οπτικών ινών. Αξίζει να αναφερθεί ότι στο τρέχον πολυετές πρόγραμμα προβλέπονται σχεδόν 6 δις € για την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας, μέσω των Ευρωπαϊκών Διαρθρωτικών και Επενδυτικών Ταμείων (ESIF), ενώ επιπλέον 8,2 δις € περιλαμβάνονται στο Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων (EFSI). Το συνολικό ύψος των δημόσιων παρεμβάσεων που έλαβαν έγκριση συμβατότητας με το καθεστώς κρατικών ενισχύσεων κατά την περίοδο 2009-2017 ανήλθε σε 38 δις €. Θα πρέπει να τονίσουμε πως η δημόσια παρέμβαση είναι καθοριστική τόσο στην ανάπτυξη υποδομών, όσο και στην τόνωση της ζήτησης των υπηρεσιών.

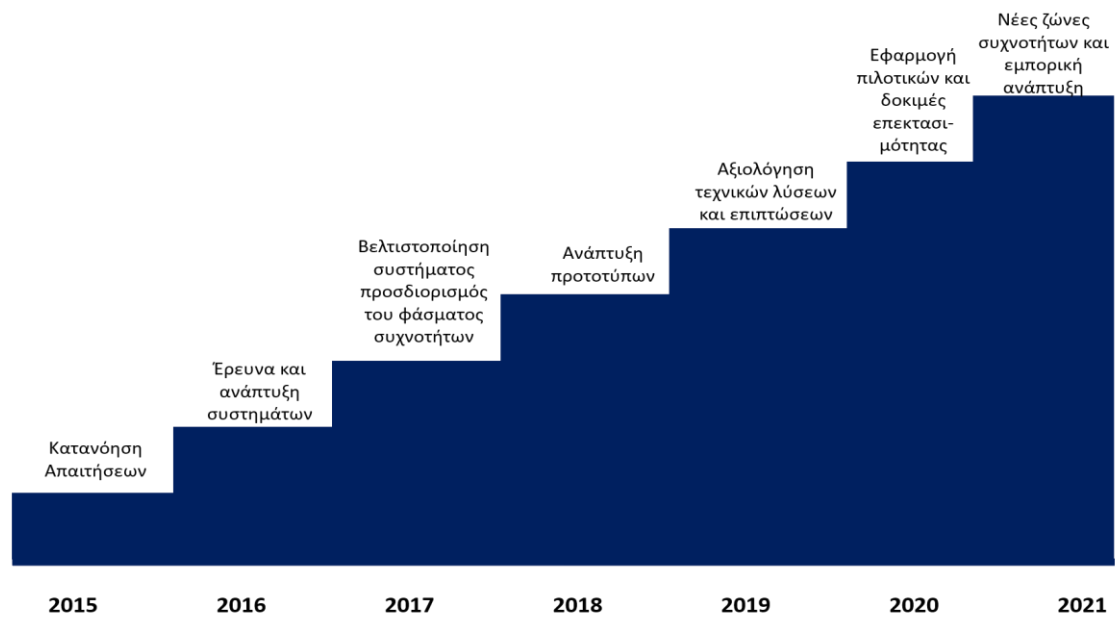
Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για την σωστή και έγκαιρη ανάπτυξη των δικτύων 5G, είναι η ανάπτυξη ενός «5G οικοσυστήματος», που θα περιλαμβάνει σενάρια χρήσης, κοινότητες χρηστών, καινοτόμες επιχειρήσεις και εφαρμογές. Ήδη,

το ευρωπαϊκό πλαίσιο στόχων υποδεικνύει τομείς εφαρμογής των δικτύων 5^{ης} γενιάς (π.χ. η ρομποτική χειρουργική απομακρυσμένα, η δημιουργία ευρωπαϊκών διαδρόμων αυτοματοποιημένης οδήγησης κ.α.), οι οποίοι θα αποσκοπούν στο να απαντούν στις πραγματικές ανάγκες της κοινωνίας και των επιχειρήσεων. Σε αυτό, έχει συμβάλει καθοριστικά και η ανάπτυξη των πιλοτικών δικτύων που έχουν αναδείξει κάποιες από τις δυσκολίες, αλλά και τις βέλτιστες πρακτικές που πρέπει να ακολουθηθούν για την ανάπτυξη των δικτύων. Ήδη στην Ευρώπη αναπτύσσονται πιλοτικά δίκτυα και στην Ελλάδα προωθείται η υλοποίηση πιλοτικών δικτύων σε επιλεγμένους Δήμους της χώρας (π.χ. Καλαμάτα, Τρίκαλα). Τέλος, θα αποτελέσουν τη βάση για την εξοικείωση των τοπικών κοινωνιών, τη δημιουργία κοινοτήτων χρηστών και θα προσφέρουν πλατφόρμες για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών και τη δραστηριοποίηση ερευνητικών ομάδων, αλλά και επιχειρήσεων.

2.3 Χρονικός Ορίζοντας Υλοποίησης

Ο οργανισμός 5G-PPP ο οποίος χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή είχε θέσει στόχο από το 2013 ότι η τεχνολογία 5G θα είναι διαθέσιμη στην Ευρώπη έως το 2021. Ωστόσο, είναι δύσκολο οι ερευνητικές προσπάθειες να εξασφαλίσουν την ηγετική θέση της Ευρώπης στο 5G από μόνες τους. Απαιτείται ευρύτερη προσπάθεια για να καταστεί το 5G -και οι υπηρεσίες που θα προκύψουν από αυτό- πραγματικότητα, ιδίως για την εμφάνιση μιας ευρωπαϊκής "εγχώριας αγοράς" για το 5G. Ένα σχέδιο δράσης για την έγκαιρη και συντονισμένη ανάπτυξη δικτύων 5G στην Ευρώπη μέσω μιας ισχυρής σχέσης μεταξύ της ΕΕ, των κρατών μελών και της βιομηχανίας. Στην Ελλάδα, μια έρευνα του IOBE που αφορά τη σημασία των κινητών επικοινωνιών στην ελληνική οικονομία συνοψίζει σε 7 στάδια τον χρονικό ορίζοντα υλοποίησης των δικτύων 5G [17].

1. Αρχικό στάδιο διερεύνησης για την κατανόηση των στόχων του 5G και τον καθορισμό αρχιτεκτονικών και τεχνολογικών επιλογών που θα ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις.
2. Ενδεδειγμένη έρευνα και ανάπτυξη συστημάτων για όλα τα μέσα πρόσβασης, ασύρματα δίκτυα και πυρήνα.
3. Προσδιορισμός και ανάλυση του φάσματος συχνοτήτων για το 5G.
4. Ανάπτυξη πρωτοτύπων και πιλοτικά διαχείρισης και λειτουργίας του δικτύου 5G.
5. Αξιολόγηση των υφιστάμενων τεχνικών λύσεων και των επιπτώσεων τους στην πραγματική οικονομία
6. Εφαρμογή πιλοτικών και δοκιμές επεκτασιμότητας με διαφορετική πολυπλοκότητα ανάλογα.
7. Αξιοποίηση νέων ζωνών συχνοτήτων και αρχική εμπορική ανάπτυξη νέων συστημάτων.



Εικόνα 14: Χρονικός Ορίζοντας Υλοποίησης 5G

2.4 Προτυποποίηση Δικτύων 5G

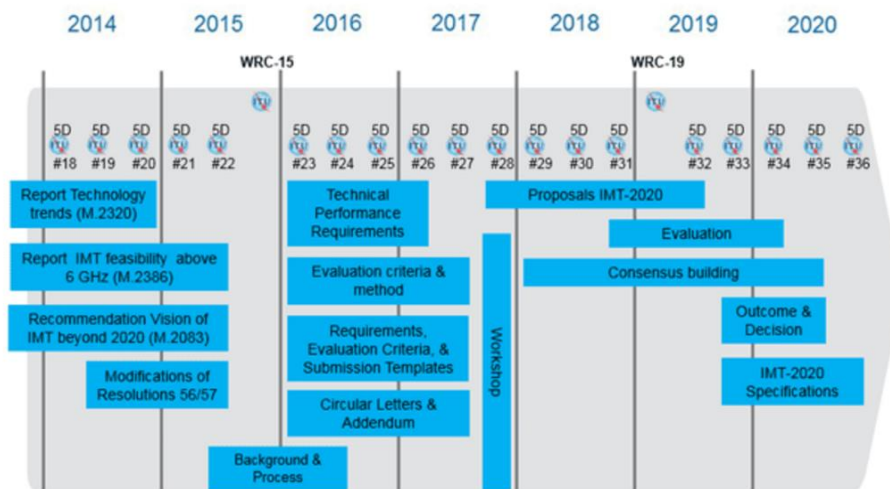
Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) είναι μια διεθνής εξειδικευμένη οργάνωση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) μέσα στην οποία κρατικός και ιδιωτικός τομέας συντονίζουν την ίδρυση και λειτουργία δικτύων και υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών. Έχει την ευθύνη για τη σωστή διανομή του παγκόσμιου ραδιοφάσματος, για τις τροχιές των δορυφόρων και αναπτύσσει τις τεχνικές προδιαγραφές οι οποίες εξασφαλίζουν στα δίκτυα απρόσκοπτη διασύνδεση. Επιπλέον είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση, την τυποποίηση, τον έλεγχο και την ανάπτυξη των διεθνών τηλεπικοινωνιών καθώς και για την εναρμόνιση των εθνικών πολιτικών. Η ITU έχει σαν θεμελιώδη αρχή να συνδέει όλους τους ανθρώπους του κόσμου ασχέτως με την τοποθεσία διαμονής τους και ανεξάρτητα από τις δυνατότητές τους, επιπλέον υποστηρίζει το δικαίωμα και την ανάγκη για επικοινωνία κάθε ανθρώπου. Το δίκτυο των μελών της ITU είναι αρκετά μεγάλο, έτσι εκτός από τα 193 κράτη μέλη, μέλη της είναι πολλά κορυφαία ακαδημαϊκά ιδρύματα και περίπου 700 εταιρείες τεχνολογίας. Με την βοήθεια των μελών της προσφέρει οφέλη των σύγχρονων τεχνολογιών επικοινωνίας στους ανθρώπους με έναν αποτελεσματικό, ασφαλή, εύκολο και προσιτό τρόπο.

Στις αρχές του 2012 η ITU (International Telecommunication Union) θέτει τις βάσεις για ερευνητικές δραστηριότητες που θα απαιτούν τα συστήματα 5ης γενιάς ξεκινώντας ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη του προτύπου IMT – 2020 (International Mobile Telecommunications). Στόχος του προγράμματος αυτού αποτελεί η μετατροπή των πόλεων σε δικτυωμένα τηλεπικοινωνιακά περιβάλλοντα χάρη στα δεδομένα, τις εφαρμογές και τις δυνατότητες που προσφέρουν τα δίκτυα 5ης γενιάς (5G) στο κοινό. Η οικογένεια αυτή προτύπων άρχισε να αναπτύσσεται από την ITU, με την βοήθεια

και άλλων φορέων οι οποίοι εργάζονται για την ανάπτυξη και οριστικοποίηση των τεχνολογιών που θα ενσωματωθούν στα 5G δίκτυα.

Οι φορείς αυτοί είναι οργανισμοί και εταιρίες οι οποίες δραστηριοποιούνται στον χώρο των τηλεπικοινωνιών είτε ως φορείς που ασχολούνται με την προτυποποίηση και την εξέλιξη γενικότερα των τεχνολογιών, όπως οι 3GPP και 3GPP2 είτε ως φορείς που ασχολούνται αποκλειστικά με τα 5G δίκτυα, όπως η 5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership), που είναι μία σύμπραξη δημόσιων και ιδιωτικών φορέων, που δραστηριοποιούνται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και είναι υπό την αιγίδα του προγράμματος έρευνας και καινοτομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Horizon 2020. Δημιουργήθηκε το 2013 με την υπογραφή του συμβολαίου συμφωνίας (Contractual Agreement) από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission-EC), που αντιπροσώπευε τους δημόσιους φορείς, και την “5GIA” (5G Infrastructure Association - 5G Ένωση Υποδομών), που αντιπροσώπευε τους ιδιωτικούς φορείς. Οι διαδικασίες τυποποίησης στον τομέα των ΤΠΕ για την ψηφιακή ενιαία αγορά καθορίζουν με σαφή τρόπο την προώθηση της ανάδειξης παγκόσμιων προτύπων στον κλάδο για βασικές τεχνολογίες 5G (δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, κεντρικό δίκτυο) και αρχιτεκτονικές δικτύου. Οι απαιτήσεις που εξέδωσε ο τομέας ραδιοεπικοινωνιών της της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών ITU (ITU-R) το 2015 για ασύρματα δίκτυα, συσκευές και υπηρεσίες 5G ορίζονται στο πρότυπο International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020 Standard). Το πρότυπο αυτό ολοκληρώθηκε το 2020 ενώ πολλά από τα κομμάτια προτύπων είχαν ολοκληρωθεί νωρίτερα, όπως οι απαιτήσεις για τις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης εγκρίθηκαν οι οποίες εγκρίθηκαν το Νοέμβριο του 2017. Ακολούθως οργανισμοί τυποποίησης όπως το 3GPP ή το 5GPPP αναπτύσσουν τεχνολογίες 5G που πληρούν τις απαιτήσεις που ορίζονται από τα πρότυπα. Στην εικόνα που ακολουθεί, σκιαγραφείται το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του προτύπου IMT-2020 που αφορά το 5G [18].

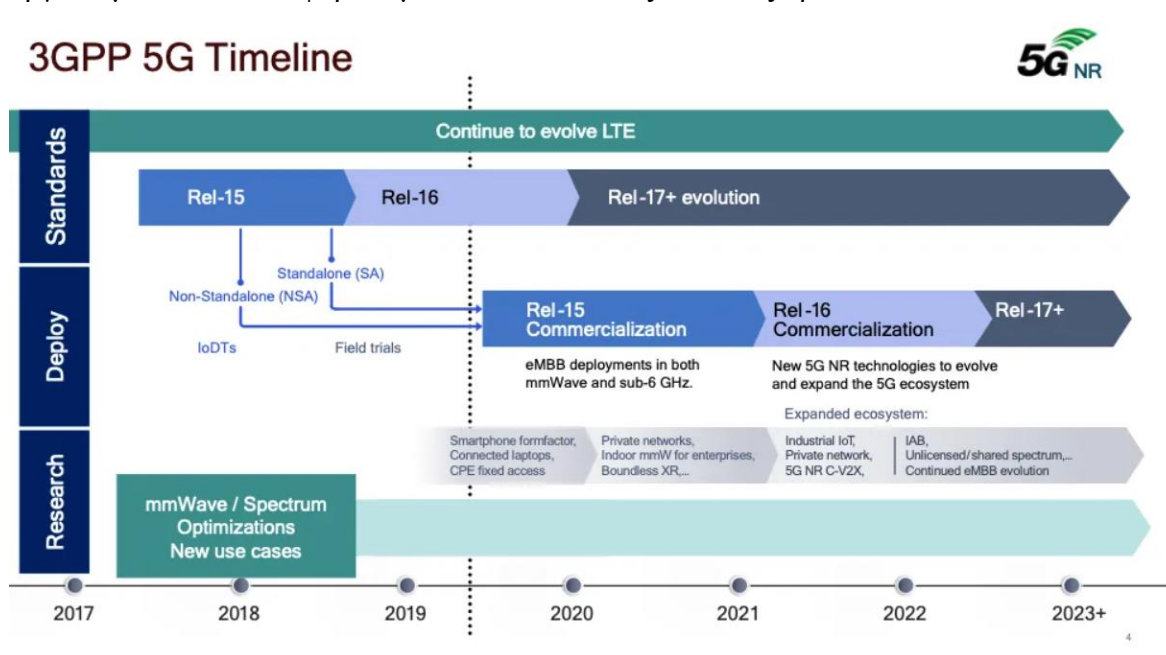
Detailed Timeline & Process for IMT-2020 in ITU-R



Note: While not expected to change, details may be adjusted if warranted.

Εικόνα 15: Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Προτύπων 5G - IMT 2020 – Πηγή: Kharbuli et al. 2018, JETIR

Σε ένα σημαντικό ορόσημο για το 5G, το 3GPP ολοκλήρωσε την Έκδοση 16 τον Ιούλιο του 2020 - το δεύτερο σύνολο προδιαγραφών για την τεχνολογία 5G New Radio (NR). Η έκδοση 16 ολοκληρώθηκε στις 3 Ιουλίου 2020 με τη μικρή καθυστέρηση λόγω της πανδημίας COVID-19. Κοιτάζοντας μπροστά, το 3GPP Release 17 αναμένεται το 2021, αν και το 3GPP ανακοίνωσε ότι η κυκλοφορία κινδυνεύει να καθυστερήσει, αναφέροντας τη μετάβαση από φυσικές συναντήσεις σε τηλεδιασκέψεις. Το παρακάτω χρονοδιάγραμμα απεικονίζει τον προγραμματισμό του οργανισμού 3GPP αναφορικά με τα στάδια και τις εκδόσεις προτύπων του 5G [19].



Εικόνα 16: Χρονοδιάγραμμα Προτύπων 5G - 3GPP – Πηγή: Semiengineering.com

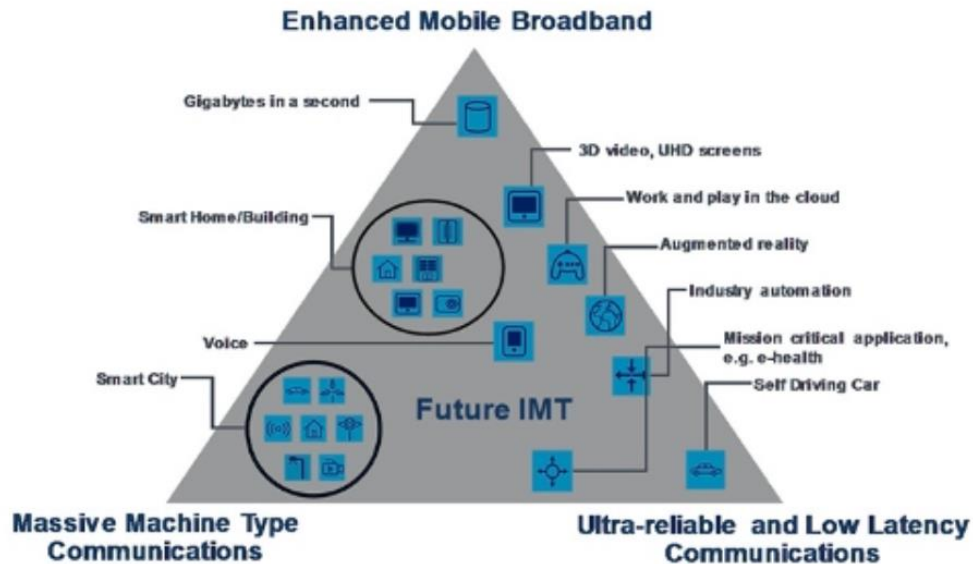
2.5 Νέοι τύποι υπηρεσιών που προσφέρει το 5G

Η επερχόμενη εποχή του 5G θα δημιουργήσει νέες προκλήσεις στα υφιστάμενα δίκτυα αναφορικά με τις προσφερόμενες υπηρεσίες και τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα που θα φέρει. Οι απαιτήσεις του νέου δικτύου κινητής τηλεφωνίας θα είναι αρκετά διαφορετικές από τις προηγούμενες γενιές. Εφαρμογές όπως η κινητή τηλεφωνία και η κινητή ευρυζωνικότητα θα συνεχίσουν να στοχεύουν στην παροχή αποτελεσματικών υπηρεσιών επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων, ενώ πολλές από τις νέες εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης θα έχουν να κάνουν με την επικοινωνία μεταξύ μηχανών, με αποτέλεσμα συχνά να αποκαλούνται επικοινωνία τύπου - μηχανής (MTC – Machine Type Communication). Αυτές οι υπηρεσίες και οι νέες εφαρμογές προβλέπεται να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο ζωής και απασχόλησης στο ευρύτερο κοινωνικό περιβάλλον. Παρόλο που εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, οι εφαρμογές MTC μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες - μαζική MTC (massive MTC) και κρίσιμη MTC (critical MTC), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), το METIS-I project και το Next Generation Mobile Network (NGMN) Alliance έχουν χωρίσει τις υπηρεσίες των 5G δικτύων σε τρεις μεγάλες κατηγορίες αναμενόμενων περιπτώσεων χρήσης (use cases) [20]:

- α) **τις υπηρεσίες εμπλουτισμένης Κινητής Ευρυζωνικότητας - enhanced Mobile BroadBand (eMBB)**, που θα χρησιμοποιούν μεγάλο εύρος ζώνης και θα απαιτούν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, για την παροχή εξαιρετικής κάλυψης και ομοιόμορφης συνδεσιμότητας παντού. Προβλεπόμενες σχετικές υπηρεσίες αποτελούν το 3D/UHD video, οι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας (virtual reality), ή οι υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality) κλπ..
- β) **τις υπηρεσίες εξαιρετικά Αξιόπιστων Επικοινωνιών Χαμηλής Καθυστέρησης – ultra Reliable Low-Latency Communications (uRLLC) ή αλλιώς mMTC (ultra-reliable MTC)** που αφορούν την υψηλή χωρητικότητα και μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων για την παρακολούθηση και τον απομακρυσμένο έλεγχο κρίσιμων διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Εδώ μπορούν να αναφερθούν παραδείγματα όπως ο έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, η αυτοματοποίηση της διανομής ενέργειας, ο απομακρυσμένος έλεγχος κρίσιμων μηχανημάτων (εγχειρήσεις/υπηρεσίες υγείας, αυτόνομη οδήγηση και χειρισμός βαρέων οχημάτων ή μηχανημάτων γενικότερα κλπ.).
- γ) **τις υπηρεσίες μαζικής Επικοινωνίας μεταξύ μηχανών - massive Machine Type Communications (mMTC)** για την παροχή ευρείας κάλυψης και βαθιάς διείσδυσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για εκατοντάδες χιλιάδες συσκευές ανά km². Επίσης, για την παροχή απανταχού συνδεσιμότητας με χαμηλή πολυπλοκότητα υλικού και λογισμικού (hw και sw) (και άρα χαμηλού

κόστους) και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Παραδείγματα: παρακολούθηση και αυτοματοποίηση κτιρίων, ευφυής γεωργία, ευφυής εφοδιαστική αλυσίδα (logistics), παρακολούθηση και διαχείριση στόλου, υλοποιήσεις ευφών πόλεων - smart cities κλπ..

5G Usage scenarios



Εικόνα 17: Περιπτώσεις Χρήσης 5G – Πηγή: Zdnet.com

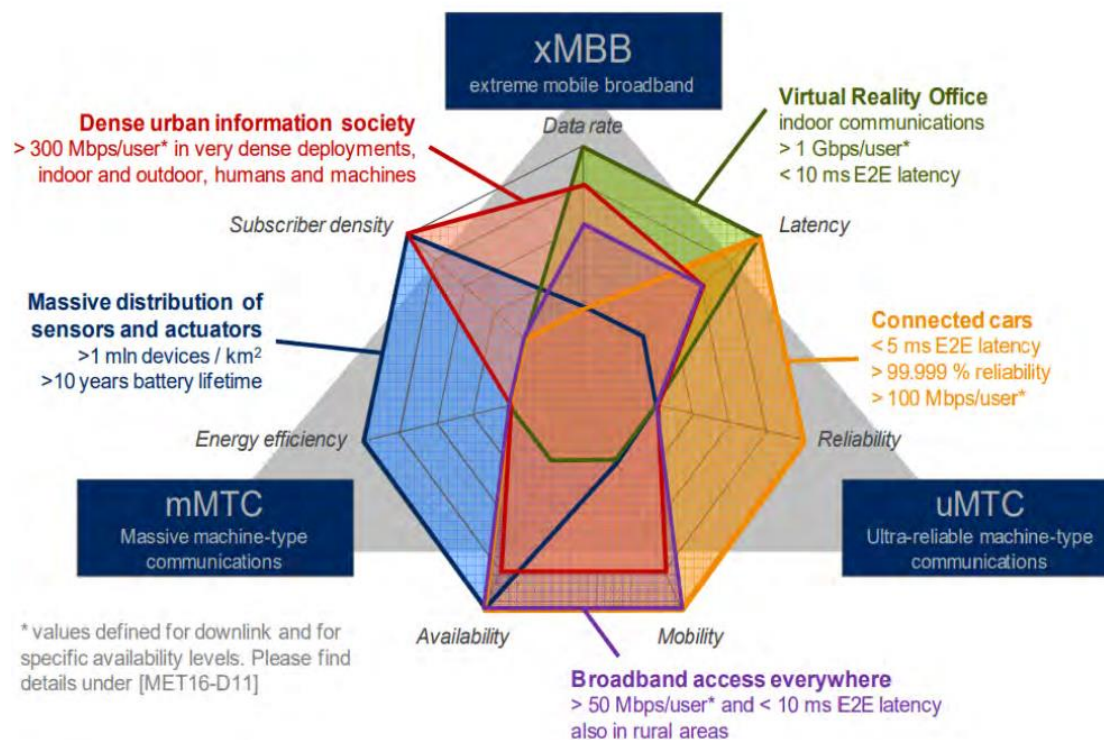
Πιο συγκεκριμένα, στην υπηρεσία **eMBB (extreme Mobile Broadband)** ανήκουν όλες οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται σήμερα από τα υπάρχοντα δίκτυα 2G ως και 4G, αλλά με βελτιωμένη επίδοση και αδιάλειπτη εμπειρία για τους χρήστες τόσο ως προς την κάλυψη όσο και ως προς την κινητικότητα. Παρέχει αυξημένες ταχύτητες δεδομένων, αλλά και βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS – Quality of Service) μέσω αξιόπιστων προβλέψεων μεταβαλλόμενων ρυθμών δεδομένων. Οι ρυθμοί μεγαλύτερων δεδομένων απαιτούνται από εφαρμογές όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (σύνθεση εικονικής πραγματικότητας και φυσικού κόσμου) και η απομακρυσμένη παρουσία. Η βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών προσδιορίζεται μέσω της απαίτησης παροχής αξιόπιστων και υψηλών ποσοστών ρυθμού δεδομένων οπουδήποτε και οποτεδήποτε και της ελάττωσης του χρόνου καθυστέρησης καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Η υπηρεσία eMBB εκτείνεται από ρυθμούς αιχμής της τάξεως των Gbps έως μέτρια ποσοστά - της τάξεως των δεκάδων Mbps, όπου θα προσφέρονται με πολύ υψηλή αξιοπιστία [21].

Η υπηρεσία **mMTC (massive - reliable MTC)** χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που απαιτούνται πολύ μικροί χρόνοι μετάδοσης, επικοινωνία D2D (device to device) και ποικιλομορφία πολλαπλών επιπέδων. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της υπηρεσίας είναι ο μαζικός αριθμός συνδεδεμένων συσκευών. Αναφέρεται σε εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα από πλευράς ασύρματης συνδεσιμότητας, καθώς και πολύ χαμηλή καθυστέρηση. Ενώ ο μέσος όγκος

των δεδομένων που μεταφέρονται από και προς τις συσκευές μπορεί να μην είναι μεγάλος, είναι χρήσιμη η ύπαρξη μεγάλων στιγμιαίων ευρών ζώνης που θα είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις χωρητικότητας και χρόνου καθυστέρησης (latency). Αυτή η περίπτωση χρήσης παρέχει συνδεσιμότητα για ένα μεγάλο αριθμό συσκευών εξοικονόμησης κόστους και ενέργειας. Η ανάπτυξη αισθητήρων και ενεργοποιητών μπορεί να εκτείνεται σε μια ευρεία περιοχή για την επιτήρηση και τη μέτρηση των περιοχών που καλύπτουν, αλλά και παράλληλα μπορεί να συστεγάζεται με ανθρώπους, όπως παραδείγματος χάριν με τα smartwatches [21].

Η υπηρεσία **uMTC (ultra-reliable MTC)** όπου ανήκουν οι υπηρεσίες με αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα (π.χ. ευφυή συστήματα μεταφορών, συνδεδεμένα οχήματα, ασύρματος έλεγχος βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κ.λπ.) Το κύριο χαρακτηριστικό είναι η υψηλή αξιοπιστία, ενώ ο αριθμός των συσκευών και οι απαιτούμενες ταχύτητες δεδομένων είναι σχετικά πιο χαμηλές σε σχέση με άλλες περιπτώσεις χρήσης. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τους ελάχιστους ρυθμούς δεδομένων, την κάλυψη, το μέγεθος του πακέτου δεδομένων κλπ. Θα εξακολουθήσουν να μοιράζονται δυναμικά τους ίδιους πόρους χρόνου – συχνότητας, επιτυγχάνοντας αποτελεσματική χρήση του φάσματος [21].

Οι υπηρεσίες αυτές έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τους ελάχιστους ρυθμούς δεδομένων, την κάλυψη, το μέγεθος του πακέτου δεδομένων κλπ. Θα εξακολουθήσουν να μοιράζονται δυναμικά τους ίδιους πόρους χρόνου – συχνότητας, επιτυγχάνοντας αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Οι τεχνολογικές απαιτήσεις για τις τόσο διαφορετικές υπηρεσίες που προβλέπονται από τα δίκτυα 5G είναι πολύ μεγάλες και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Για παράδειγμα, απαιτείται μέσος ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας της τάξης των 300- 500 Mbps, ενώ ο μέγιστος ρυθμός πρέπει να μπορεί να φθάσει ή και να ξεπεράσει τα 20 Gbps στην κατερχόμενη ζεύξη (Downlink) και τα 10Gbps στην ανερχόμενη ζεύξη (Uplink). Οι απαιτούμενοι χρόνοι αντίδρασης (latency/καθυστέρηση) στο δίκτυο ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση χρήσης κυμαίνονται μεταξύ 4 και 0,5 ms. Η κάλυψη των δικτύων πρέπει να πλησιάζει το 100%, ενώ η προσφερόμενη αξιοπιστία να είναι εξαιρετικά υψηλή (99,999%). Θα πρέπει η κατανάλωση ενέργειας να είναι 1000 φορές μικρότερη. Όσον αφορά στο πλήθος των συνδεδεμένων συσκευών και αντικειμένων αναμένονται 10 έως και 100 φορές περισσότερες συσκευές με 30 φορές μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα. Τέλος, απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας επικοινωνίας σε σχέση με τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Το 5G αναμένεται να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα λύσεων με επιπτώσεις σε μια ποικιλία διαφορετικών τομέων στο πεδίο της κοινωνίας, της οικονομίας και του περιβάλλοντος όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα [22].



Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά Περιπτώσεων Χρήσης 5G – Πηγή: Metis-ii.eu

2.6 Ευφυείς Υπηρεσίες & Τεχνητή Νοημοσύνη

Στη σημερινή εποχή υφίστανται και μελλοντικά θα κυριαρχήσουν οι ευφυείς υπηρεσίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ευφυείς είτε έξυπνες πόλεις. Οι συγκεκριμένοι όροι χρησιμεύουν με βασικότερο στόχο να περιγράψουν το πως οι σύγχρονες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εύρυθμη δράση των πόλεων, ενισχύοντας σε σημαντικό επίπεδο την αποδοτικότητά τους, βελτιώνοντας την ανταγωνιστικότητά τους και προσφέροντας καινούριες μεθόδους διαμέσου των οποίων έχουν την ευχέρεια να αντιμετωπίσουν σοβαρά ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η ελάττωση των ποσοστών ανεργίας, το ζήτημα του κοινωνικού αποκλεισμού, της περιβαλλοντικής υποβάθμισης κλπ..

Γενικότερα, υφίστανται αρκετοί και διαφορετικοί κλάδοι εφαρμογών αυτών των υπηρεσιών, που περιέχουν επιμέρους κλάδους δράσης, εξελίσσοντας υπηρεσίες στην κατεύθυνση της αποτελεσματικότητας και της αειφορίας. Οι εν λόγω κλάδοι περιέχουν την ευφυή οικονομία, την ευφυή κινητικότητα, το ευφυές περιβάλλον, τους ευφυείς κατοίκους, την ευφυή διαβίωση καθώς επίσης και την ευφυή διακυβέρνηση. Οι εν λόγω υπηρεσίες διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Στην πρώτη κατηγορία εξ αυτών περιέχονται οι κινητές πληρωμές, η ηλεκτρονική επιχειρηματικότητα, το IoT, οι έξυπνες πόλεις και τα έξυπνα σπίτια, η τηλεϊατρική, το υπολογιστικό νέφος κλπ. ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν υπηρεσίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη για την οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, το blockchain, οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, η ρομποτική, τα drones, η κλπ. [16].

Σχετικό με τις ευφυείς υπηρεσίες για τις οποίες πρωταγωνιστικό ρόλο θα παίξει η ανάπτυξη των δικτύων 5G, είναι η έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) καθώς λέγεται πως είναι η τεχνολογία του μέλλοντος σύμφωνα με πολλούς ερευνητές και για αυτόν το λόγο δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην έρευνα και ανάπτυξή της. Συνοπτικά, ως τεχνητή νοημοσύνη ορίζουμε την τεχνολογία με την οποία μια μηχανή/συσκευή θα έχει την ικανότητα να αναπαράγει τις ευφυείς γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπου (π.χ. εκμάθηση, επίλυση προβλημάτων, δημιουργικότητα, σύνθετες αποφάσεις, παραγωγή γνώσης, κατανόηση περιβάλλοντος κλπ.), με πλήρη αυτονομία. Είναι σημείο το οποίο ενώνει πολλές επιστήμες, που κυρίως αφορούν τα μαθηματικά, την μηχανική, την νευρολογία, την πληροφορική και τη γλωσσολογία. Η τεχνολογία των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης δεν θα βασίζεται σε προεγκατεστημένους αλγόριθμους σε αντίθεση με παλαιότερες τεχνολογίες.

Τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης μεγιστοποιούν τη χρησιμότητά τους σε εργασίες που βασίζονται σε γνώση και εμπειρία, σύνθετους συλλογισμούς ή ευφυή διάδραση με το περιβάλλον. Η «ευφυΐα» των συστημάτων TN συνήθως μετρείται με τρεις τρόπους. Πρώτον, με ποσοτικό κριτήριο τη σύγκλιση / απόκλιση μιας απόφασης από τη θεωρητική βέλτιστη. Δεύτερον, με ποιοτικό κριτήριο τη σύγκλιση / απόκλιση από την απόφαση που θα λάμβανε ένα φυσικό πρόσωπο στο ίδιο περιβάλλον. Τρίτον, με κριτήριο την ικανότητα αυτόνομης βελτίωσης και ανάπτυξης της ευφυΐας (π.χ. μέσα από προηγούμενες σωστές ή λάθος αποφάσεις). Τα συστήματα TN μπορούν να προσφέρουν λύσεις σε σύγχρονες κοινωνικές προκλήσεις, έχουν σημαντικά οφέλη για όσους επενδύουν στην αξιοποίησή τους ενώ μερικά παραδείγματα αξιοποίησής τους μπορούν να είναι η ταχύτερη εύρεση θεραπειών, η βελτίωση της παραγωγικότητας του νοσηλευτικού προσωπικού (έως 50%), η μείωση των δαπανών υγείας (έως 10%), η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.α. Είναι μια τεχνολογία που εξελίσσεται και να εφαρμόζεται με επίκεντρο τον άνθρωπο. Είναι αναγκαίο λοιπόν, τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης να μπορούν να εξηγήσουν τη λειτουργία τους, προκειμένου να εξηγούνται οι λόγοι λήψης κάθε απόφασης και πρέπει να διασφαλίζεται η αποφυγή διακρίσεων εις βάρος πληθυσμιακών / κοινωνικών ομάδων [24].

2.7 Πρακτικές Εφαρμογές και Δυνατότητες του 5G

Το 5G αλλάζει ριζικά τον τρόπο ζωής για όλους. Για τους καταναλωτές, το 5G υποστηρίζει συναρπαστικές εμπειρίες, υψηλότερο ασύρματο ρυθμό δεδομένων και σύνδεση στο Internet of Things (IoT) που θα φέρουν μια νέα επανάσταση στις αλληλεπιδράσεις τους με το κόσμο γύρω τους. Για τις επιχειρήσεις, το 5G ενισχύει τις δυνατότητες 4G LTE για την παροχή αξιόπιστου ασύρματου δικτύου που επιτρέπει νέες εφαρμογές IoT, οδηγεί τις βιομηχανίες στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και δημιουργεί νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των επιχειρήσεων καθώς και μια σειρά από νέες εφαρμογές οι οποίες θα αλλάξουν ριζικά τη δομή της

αγοράς. Παρακάτω, περιγράφονται ορισμένες από τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που θα ανακύψουν από τη χρήση του δικτύου 5G [21-23].

2.7.1 Internet of Things (IoT) – Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Internet of Things ή διαδίκτυο των πραγμάτων, είναι το δίκτυο που αποτελείται από μια πληθώρα ηλεκτρονικών συσκευών με περιπτώσεις όπως βιομηχανικές μηχανές, wearable συσκευές κλπ., οι οποίες ενσωματώνουν ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση, η συλλογή και η ανταλλαγή δεδομένων ή ακόμα και η ανάληψη κάποιας δράσης βάσει αυτών. Οι εν λόγω συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο ίντερνετ συλλέγουν, ανταλλάσσουν πληροφορίες και επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο όρος Internet of Things επινοήθηκε το 1999 από τον επιχειρηματία Kevin Ashton έναν από τους ιδρυτές του auto-id center στο MIT. Ο Kevin Ashton αποτελεί μέλος της ομάδας που ανακάλυψε τον τρόπο σύνδεσης των συσκευών με το διαδίκτυο ενώ κατά την παρουσίαση του επιτεύγματος αυτού αναφέρθηκε για πρώτη φορά ο όρος the Internet of Things και από τότε καθιερώθηκε η χρήση του.

Το IoT, είναι ιδανικό παράδειγμα για την πλήρη εφαρμογή της τεχνολογίας δικτύων 5^{ης} γενιάς καθώς αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την επίτευξη της ευφυούς ζωής, της εργασίας και της παραγωγής, την ανάπτυξη των έξυπνων υπηρεσιών και συνακόλουθα επεκτείνει τις επικοινωνίες από τον άνθρωπο σε άνθρωπο, στο επίπεδο άνθρωπος μεταξύ συσκευής και συσκευής μεταξύ συσκευής. Το δίκτυα 5G αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και επέκταση αυτού του εγχειρήματος καθώς ένα μεγάλο ποσοστό των διασυνδεδεμένων συσκευών θα φέρουν απαιτήσεις οι οποίες θα μπορούν να καλυφθούν μόνο από τα ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς. Το IoT αποτελεί μια τεχνολογική επανάσταση που θα αλλάξει τις ισορροπίες στο μέλλον, θα φέρει ριζικές αλλαγές στις αγορές σε τομείς όπως οι υπηρεσίες υγείας, η βιομηχανία, η γεωργία, η προστασία του περιβάλλοντος, οι ευφυείς μεταφορές, η δημόσια και οικιακή ασφάλεια και σε πολλούς άλλους τομείς [23].



Εικόνα 19: Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Πηγή: Senior.ceng.edu

2.7.2 Έξυπνες Πόλεις – Smart Cities

Ένα άλλο εγχείρημα το οποίο θα μπορεί να γίνει πραγματικότητα με την ανάπτυξη των δικτύων 5G είναι αυτό των έξυπνων πόλεων. Η ανάπτυξη υποδομών συνολικά σε μια περιοχή όπως είναι οι εξελιγμένοι αισθητήρες και οι συσκευές παρακολούθησης με βίντεο οι οποίες θα είναι διασυνδεδεμένες στο διαδίκτυο, θα μπορούν να προσφέρουν τα κατάλληλα συστήματα ανίχνευσης και προειδοποίησης καθώς και να μεταβιβάζουν πληροφορίες και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στα κέντρα ελέγχου και σε όλες τις αρμόδιες αρχές. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να αφορούν τη δημόσια ασφάλεια, τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, την κίνηση στους δρόμους, τις περιοχές υψηλής εγκληματικότητας, την πρόληψη πλημμυρών και πυρκαγιών, την προσοχή κρίσιμων και ευαίσθητων υποδομών (τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, ενεργειακό δίκτυο) κ.α. Η παρακολούθηση μιας πόλης κατά αυτόν τον τρόπο είναι ένας μοχλός ενίσχυσης της ασφάλειας ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την παραγωγικότητα των επιχειρήσεων και των αστικών θεσμών.

Το επιθυμητό αποτέλεσμα το οποίο θα κατέχει μια έξυπνη πόλη είναι ότι θα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί προληπτικά και όχι κατασταλτικά στις ανάγκες των πολιτών και των επιχειρήσεων της. Επιπροσθέτως, τα δίκτυα έξυπνων αισθητήρων θα προσδιορίσουν τις συνθήκες για την οικονομική και ενεργειακή απόδοση συνολικά της πόλης ή και μεμονωμένα μιας κατοικίας. Κάτι παρόμοιο μπορεί να γίνει για κάθε σπίτι, όπου όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές όπως πχ οι συναγερμοί ασφαλείας, οι αισθητήρες θερμοκρασίας, οι ελεγκτές παραθύρων και θέρμανσης, η ηλεκτρική σκούπα και άλλες οικιακές συσκευές θα είναι συνδεδεμένες ασύρματα.



Εικόνα 20: Έξυπνες πόλεις – Πηγή: Internetofbusiness.com

2.7.3 Αυτοκινητοβιομηχανία/Αυτόνομα Οχήματα

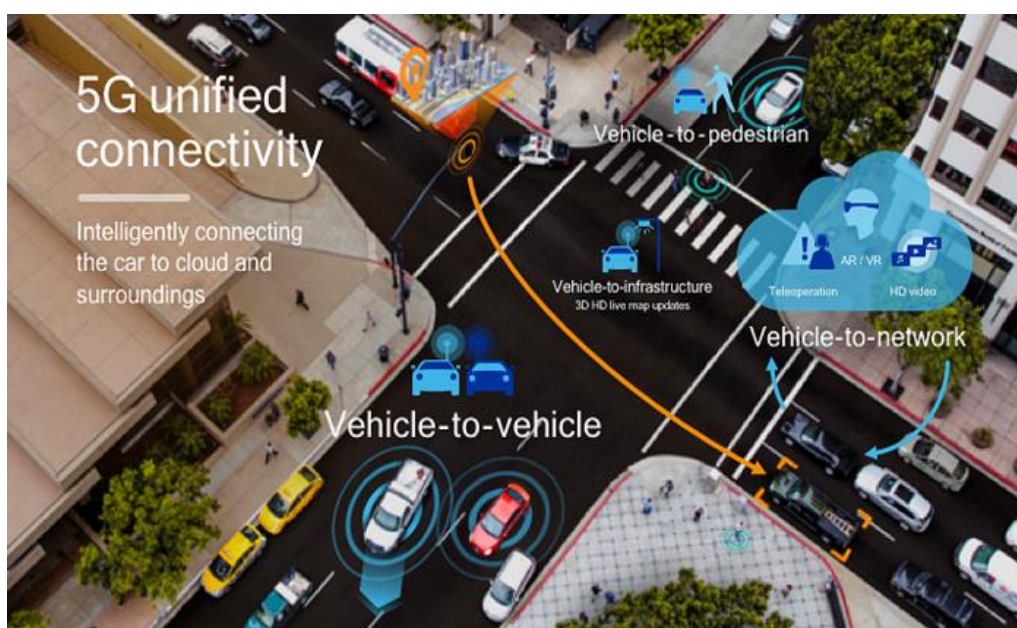
Ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας αναμένεται να είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας εφαρμογής για το 5G, με πολλές περιπτώσεις χρήσης που αφορούν κινητές επικοινωνίες για οχήματα. Εν πρώτοις, προσδοκάται η επιπλέον εξέλιξη των συστημάτων υποβοήθησης οδηγών με χάρτες πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο, ενημέρωση για τις καιρικές συνθήκες και την πρόγνωση καιρού και σημαντικές προειδοποιήσεις αναφορικά με επικίνδυνα σημεία του οδικού δικτύου.

Ταυτόχρονα, το 5G θα συντελέσει στην ανάπτυξη και εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων και στη ρεαλιστική υλοποίηση της κίνησής τους στου δρόμους. Για να σχεδιάσουν και να συγχρονίσουν την πορεία τους, αυτά τα οχήματα θα είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους και θα χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς για την παροχή μηδενικής καθυστέρησης απόκρισης, αδιάλειπτης επικοινωνίας και για την ευρύτερη κάλυψη κάθε σημείου με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό της εκάστοτε γεωγραφικής θέσης. Επιπλέον θα δίνεται η δυνατότητα για τη δημιουργία εφαρμογών που έχουν στόχο τον απομακρυσμένο έλεγχο οχημάτων με εμφανή οφέλη στις περιπτώσεις εξυπηρέτησης ειδικών καταστάσεων όπως πχ σε ορυχεία, σε απομονωμένα μέρη σε βουνά κλπ..

Ένα άλλο παράδειγμα περίπτωσης χρήσης που αφορά την αυτοκινητοβιομηχανία έχει να κάνει με την ψυχαγωγία που θα μπορούν να απολαμβάνουν οι επιβάτες η οποία απαιτεί κινητή ευρυζωνική σύνδεση υψηλής χωρητικότητας ανεξάρτητα από την τοποθεσία και την ταχύτητά τους.

Άλλες περιπτώσεις χρήσης για τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι οι πίνακες ελέγχου της επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality dashboards). Οι πληροφορίες επικάλυψης θα εμφανίζονται πάνω από το τι βλέπει ο οδηγός μέσα από το παρμπρίζ του αυτοκινήτου, εντοπίζοντας αντικείμενα στο σκοτάδι και

ενημερώνοντας τον οδηγό για τις αποστάσεις και τις κινήσεις των αντικειμένων. Επίσης αυτά τα αυτοκίνητα θα διαθέτουν την ικανότητα να ανιχνεύουν κρίσιμες καταστάσεις ασφάλειας, όπως ο πάγος, άλλα ατυχήματα σε κοντινή απόσταση και άλλες επικίνδυνες οδικές συνθήκες. Κατά συνέπεια, οι οδηγοί θα είναι ενήμεροι και θα μπορούν να επιλέξουν εναλλακτικούς τρόπους δράσης, ώστε να οδηγούν με μεγαλύτερη ασφάλεια και κατ' επέκταση να μειώνουν τους κινδύνους ατυχημάτων. Συνοψίζοντας, η αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας θα υποστεί ριζικό μετασχηματισμό, καθώς αναπτύσσονται πέρα από τις λειτουργίες ψυχαγωγίας και ευκολίας, πιο κρίσιμοι παράγοντες που αφορούν την ασφαλέστερη και πιο βιώσιμη κινητικότητα.



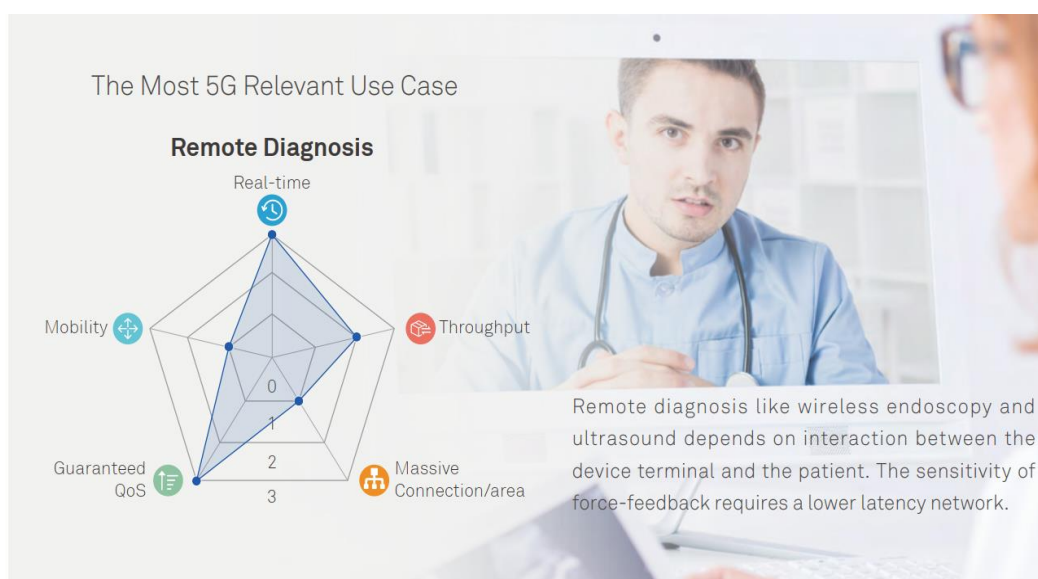
Εικόνα 21: Αυτόνομα οχήματα – Πηγή: Iot.eetimes.com

2.7.4 Εφαρμογές στην Ιατρική

Θα μπορούσαμε να πούμε πως τα οφέλη από τα δίκτυα 5G στην περίπτωση χρήσης που αφορά την υγεία είναι ίσως τα πιο κρίσιμα σε σχέση με όλες τις άλλες εφαρμογές. Τα δίκτυα 5G πρόκειται να ενισχύσουν την παροχή της φροντίδας υγείας ξεκινώντας με τη δυνατότητα παρακολούθησης ασθενών και απομακρυσμένης ιατρικής διάγνωσης στον προσωπικό ή επαγγελματικό τους χώρο, μέσω των εφαρμογών τηλεδιάσκεψης και ταυτόχρονης αποστολής δεδομένων από κατάλληλους διασυνδεδεμένους αισθητήρες. Επιπροσθέτως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάσωση ανθρώπινων ζώων σε καταστάσεις κρίσιμης φροντίδας και έκτακτης ανάγκης μέσω των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που βασίζονται στην κινητή επικοινωνία. Συγκεκριμένα, μπορούν να παρέχουν απομακρυσμένη παρακολούθηση χρησιμοποιώντας αισθητήρες για διάφορες μεταβλητές όπως οι καρδιακοί παλμοί και η αρτηριακή πίεση. Συνεχίζοντας, σε καταστάσεις που χρήζουν έκτακτη

αντιμετώπιση, θα είναι εφικτή η εκτέλεση απομακρυσμένης εγχείρησης με τη χρήση κατάλληλων ρομποτικών μηχανημάτων.

Συνεπώς, η απαίτηση για αξιόπιστη σύνδεση με μηδενική καθυστέρηση που θα επιτρέπει τον διαρκή έλεγχο των ιατρικών μηχανημάτων, τη μετάδοση οπτικοακουστικού υλικού υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο και την ύπαρξη βάσεων δεδομένων που θα αφορούν τους ασθενείς, είναι απαραίτητη ώστε να υπάρχει η δυνατότητα παροχής υψηλής ποιότητας υπηρεσιών υγείας. Ο ρόλος και η συμβολή της τηλεϊατρικής είναι καίριας σημασίας ιδιαίτερα για τις υποανάπτυκτες χώρες και για περιοχές που έχουν εμπλακεί σε πολεμική σύρραξη, εκεί όπου η ιατροφαρμακευτική περίθαλψη είναι σχεδόν αδύνατη.

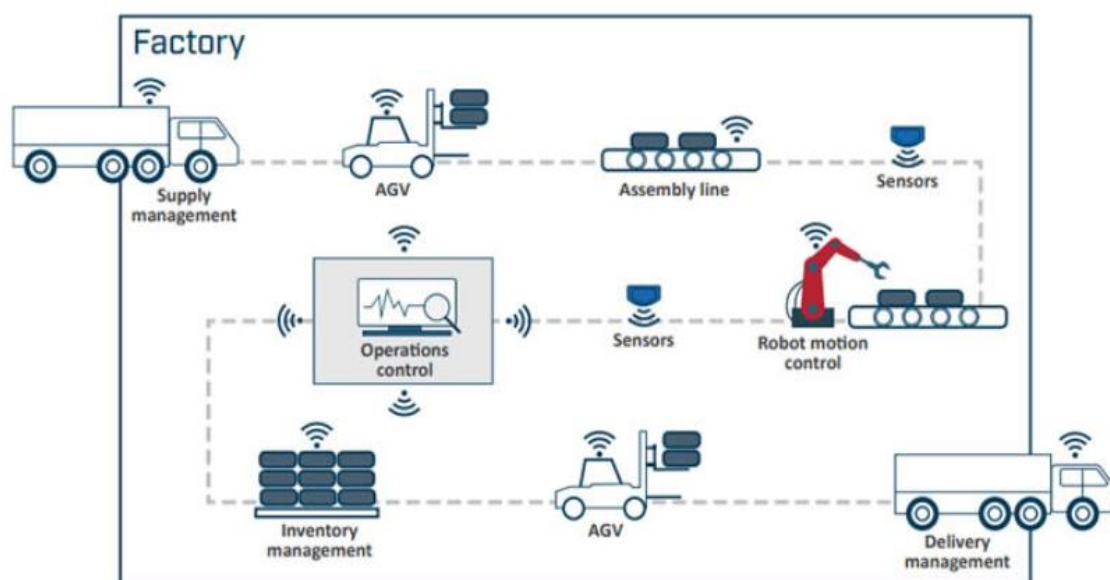


Εικόνα 22: Απομακρυσμένη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη – Πηγή: Huawei

2.7.5 Βιομηχανία & Logistics

Οι κινητές επικοινωνίες καθίστανται ολοένα και πιο σημαντικές για το σύνολο του βιομηχανικού κλάδου και τις εφαρμογές του. Η έλευση των δικτύων 5G αναμένεται να επισπεύσει την πλήρη διασύνδεση των εργοστασίων σε όλα τα επίπεδα καθώς η βιομηχανική παραγωγή ψηφιοποιείται. Αναλυτικότερα, με τα δίκτυα 5G θα μπορεί να υποστηριχτεί αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ μεγάλου αριθμού μηχανημάτων αποσκοπώντας στην αύξηση της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας της γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, καθίσταται εφικτή μεγαλύτερη ασφάλεια λόγω του απομακρυσμένου ελέγχου δύσκολων μηχανημάτων και της εποπτείας σε πραγματικό χρόνο, διαδικασιών αυξημένου βαθμού επικινδυνότητας. Πολλές βιομηχανίες και επιχειρήσεις στοχεύουν μελλοντικά στο να χρησιμοποιήσουν μηχανήματα όπως drones, ρομποτικούς γεραμούς κ. για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας σε δυσπρόσιτες περιοχές και την αύξηση της ασφάλειας διατηρώντας τους εργαζόμενους έξω από επικίνδυνα περιβάλλοντα.

Ταυτόχρονα, αξιοσημείωτη είναι και η προοπτικές εκπαίδευσης των εργαζομένων μέσω της χρήσης εφαρμογών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Ωστόσο, η επίτευξη αυτού του στόχου προϋποθέτει ότι η ασύρματη σύνδεση λειτουργεί με χαμηλές καθυστερήσεις και πολύ χαμηλές πιθανότητες σφάλματος, απαιτήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν με τα δίκτυα 5G. Άμεση συνάφεια με τον κλάδο της βιομηχανίας έχουν τα logistics όπου η παρακολούθηση φορτίων και εμπορευμάτων αποτελούν σημαντικές περιπτώσεις χρήσης για τα κινητά δίκτυα 5G, οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση αποθεμάτων και πακέτων οπουδήποτε κι αν βρίσκονται μέσω συστημάτων πληροφοριών με βάση την τοποθεσία τους. Οι περιπτώσεις των logistics και της μεταφοράς εμπορευμάτων εντάσσονται σε αυτές που απαιτούν συνήθως σχετικά χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων, όμως χρειάζονται ευρεία κάλυψη και αξιόπιστες πληροφορίες ακριβούς θέσης σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 23: Έξυπνη βιομηχανία – Πηγή: 5G.co.uk news

2.7.6 AR & VR – Επαυξημένη & Εικονική Πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) και η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality) είναι τεχνολογίες οι οποίες θα μετασχηματίσουν την αγορά και οι οποίες θα φέρουν επανάσταση στην κατανάλωση περιεχομένου τόσο στον καταναλωτή όσο και σε επιχειρήσεις. Το AR / VR όπως αναφέρθηκε παραπάνω ανήκει στον τύπο υπηρεσιών της εμπλουτισμένης κινητής ευρυζωνικότητας (eMBB), και συνεπώς απαιτεί υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, αποθήκευση και ισχυρές υπολογιστικές δυνατότητες. Για αυτόν το λόγο καθοριστική σημασία θα παίξει η χρήση του cloud, το οποίο έχει τη δυνατότητα να παρέχει τεράστιους χώρους αποθήκευσης δεδομένων καθώς και την απαραίτητη ικανότητα υπολογιστικών δυνατοτήτων και ταχύτητας για τις προβλεπόμενες εργασίες. Το 5G θα βελτιώσει σημαντικά την πρόσβαση σε αυτού του είδους τις υπηρεσίες που βασίζονται στο Cloud.

Με την ανάπτυξη των AR/VR οι προσδοκίες των καταναλωτών θα αυξάνονται διαρκώς καθώς αυτές οι νέες τεχνολογίες θα μπορούν να προσφέρουν πιο ζωντανές εμπειρίες στον τελικό χρήστη. Μια περίπτωση είναι η χρήση του VR-360 μοιρών, με την οποία οι θεατές θα μπορούν να απολαύσουν αθλητικές εκδηλώσεις, συναυλίες και φεστιβάλ σαν να είναι στην πραγματικότητα εκεί. Μέσω του VR θα αλλάξει η εμπειρία των video games, παρέχοντας συναρπαστική οπτική διέγερση και ζωντανές εμπειρίες σε πραγματικό χρόνο. Ταυτόχρονα η επανυξημένη πραγματικότητα(AR) μπορεί να ενισχύσει την εμπειρία ενός επισκέπτη σε ένα μουσείο ή άλλο σημείο ενδιαφέροντος κρατώντας απλά την κινητή συσκευή προς ένα συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος και ενώ η κάμερα καταγράφει το σημείο ενδιαφέροντος, η εφαρμογή θα εμφανίζει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με το τι βλέπει ο επισκέπτης. Μέσω των δικτύων 5G που διασφαλίζουν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης θα επιτραπεί σε χρήστες να συνδεθούν μεταξύ τους ασύρματα και να βιώσουν υψηλή ποιότητα ψυχαγωγίας ενώ μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση.

Σύμφωνα με έρευνα της Huawei, η αγορά Cloud αυξάνεται ραγδαία σε ποσοστό 18% σε ετήσια βάση. Αυτό σημαίνει ότι στα επόμενα 10 χρόνια, τα σπίτια και τα γραφεία θα απαλλάσσονται ολοένα και περισσότερο από τους σταθερούς και τους φορητούς υπολογιστές και στη θέση τους θα υπάρχουν οθόνες προβολής οι οποίες θα ενεργοποιούνται από φωνητική εντολή ή επαφή. Αυτό μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό σε θέματα εκπαιδευτικού χαρακτήρα και όχι μόνο. Παράλληλα, θα μειωθεί σημαντικά το κόστος των συσκευών, κάνοντας τις κονσόλες ή τις συσκευές προσιτές για τους τελικούς χρήστες. Όπως είναι αντιληπτό, το AR/VR θα συντελέσει στην ανάπτυξη πολλών κλάδων με χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτόν της ψυχαγωγίας, του τουρισμού, της εκπαίδευσης κ.α.. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται ενδεικτικά, τα στάδια και τα χαρακτηριστικά αυτών των εφαρμογών.



Εικόνα 24: Επανυξημένη πραγματικότητα & εικονική πραγματικότητα – Πηγή: Ebiztrait.com

3 Δίκτυα 5G – Ανάλυση Τεχνολογικού Πλαισίου

Ουσιαστικά, ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από δύο θεμελιώδη στοιχεία, το δίκτυο κορμού και το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης. Στα αρχικά στάδια υλοποίησης των δικτύων 5^{ης} γενιάς, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα λειτουργήσουν και θα ενσωματώσουν τα δίκτυα 5G με υπάρχοντα δίκτυα 4G με στόχο να παρέχουν αδιάλειπτη συνδεσιμότητα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με τον όρο 5G εννοούμε την τελευταία γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, η οποία καλείται να ανταποκριθεί στις όλο και πιο απαιτητικές ανάγκες των χρηστών, αφού πλέον η καθημερινή χρήση των έξυπνων συσκευών και του διαδικτύου καθίσταται ολοένα και πιο αναγκαία. Αποστολή των νέων αυτών δικτύων είναι η εξυπηρέτηση μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων, με υπερύψηλές ταχύτητες καθώς και να εκμηδενίσουν τις δυσκολίες μεταφοράς πακέτων μεταξύ των ασύρματων δικτύων πρόσβασης (RAN) και των δικτύων κορμού (Core Networks) με το λιγότερο δυνατό κόστος. Προδιαγράφονται όχι μόνο ένα νέο δίκτυο κορμού (5GC) αλλά και μια νέα τεχνολογία ραδιοπρόσβασης που καλείται New Radio (NR). Οι λειτουργίες του δικτύου κορμού (Core Network-CN) είναι πλήρως διαχωρισμένες από το δίκτυο ραδιοπρόσβασης (Radio Access Network - RAN) [25]. Το RAN είναι υπεύθυνο για την λειτουργικότητα όλου του δικτύου που είναι σχετική με το radio scheduling, τον χειρισμό των ραδιοπόρων, πρωτόκολλα επαναμετάδοσης και κωδικοποίηση. Το CN είναι υπεύθυνο για όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες του δικτύου: authentication, χρέωση, εγκατάσταση end-to end συνδέσεων. Στόχος της ανάπτυξης των 5G δικτύων είναι η ενοποίηση όλων των υπάρχοντων Radio Access Technologies, όπως το GSM, το HSPA, το LTE και το WiFi, σε ένα δίκτυο, μαζί με τις νέες που αναπτύσσονται ως 5G τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, οι οποίες θα χρησιμοποιούν centimeters και millimeter waves.

Εκτός του μεγάλου συχνοτικού φάσματος που έχουν διαθέσιμο οι νέες τεχνολογίες 5G, θα χαρακτηρίζονται και από τη μείωση των διαστάσεων των κεραιών, επιτρέποντας έτσι την σωστή κατευθυντικότητα με πολύ μεγάλη ακρίβεια προς την επιθυμητή κατεύθυνση, μειώνοντας ταυτόχρονα την απαιτούμενη ισχύ για την μετάδοση των δεδομένων αλλά και την παρεμβολή του σήματος του κάθε χρήστη με των υπολοίπων. Ακόμα, καθιστούν εφικτή την χρήση τεχνικών MIMO από τις υποδομές του δικτύου και από τον εξοπλισμό των χρηστών. Παράλληλα, ένα άλλο κύριο χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής των δικτύων 5G θα είναι και το λεγόμενο softwarization του δικτύου. Οι βασικές τεχνικές και οι έννοιες που θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για τον προσδιορισμό των δικτύων 5^{ης} γενιάς είναι αναμφίβολα το Λογισμικό Καθορισμένης Δικτύωσης (SDN) και οι Λειτουργίες Δικτύου Εικονικοποίησης(NFV). Κάποια από τα πλεονεκτήματα της λογισμικοποίησης του δικτύου περιλαμβάνουν την μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών(CAPEX), τη μείωση του λειτουργικού κόστους (OPEX) καθώς και τη βελτίωση της ποιότητας εμπειρίας από τον πελάτη. Η αρχιτεκτονική και οι τεχνολογίες 5G είναι αναγκαίο να διαφοροποιούνται διαρκώς με σκοπό να προσαρμόζονται κάθε στιγμή στις απαιτήσεις των ενδιαφερόμενων μερών. Το 5G πέρα από την τεχνολογική επανάσταση και τις ραγδαίες αλλαγές που πρόκειται να επιφέρει σε καταναλωτές και επιχειρήσεις,

αναμένεται να αλλάξει τα δεδομένα, όσον αφορά και τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Στην παρακάτω εικόνα σκιαγραφείται η γενική αρχιτεκτονική του 5G και των βασικών της στοιχείων. Σε αυτήν την ενότητα θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε την αρχιτεκτονική των 5G δικτύων, καθώς και τις τεχνολογίες εκείνες με τις οποίες τα 5G δίκτυα θα φέρουν την λεγόμενη επανάσταση στον χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών [26,27].

3.1 Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης

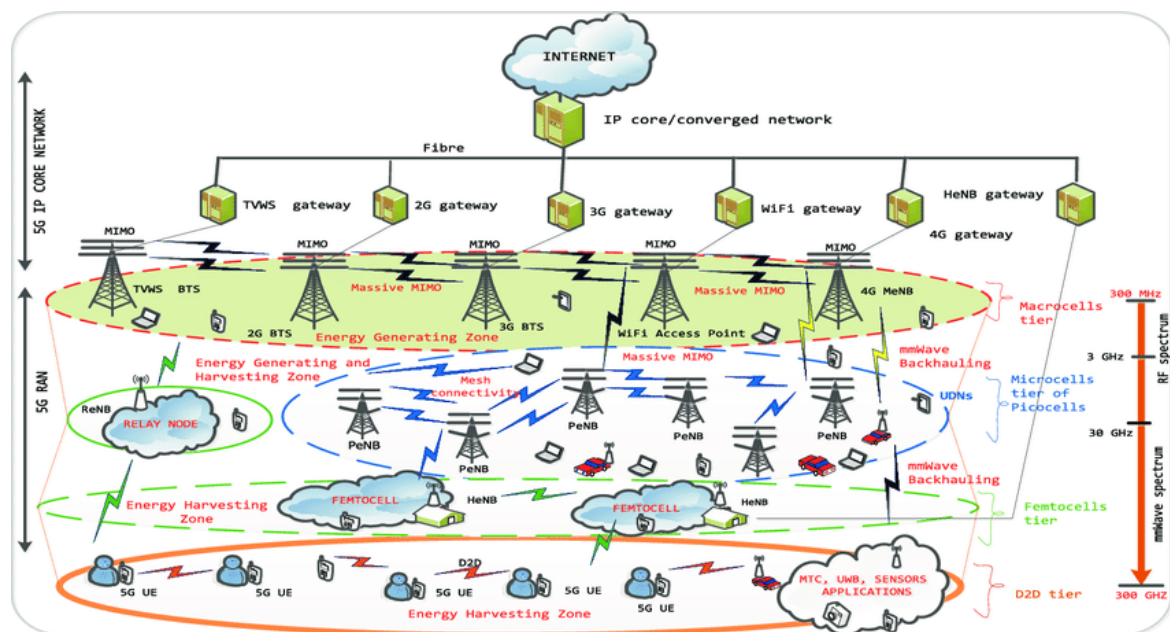
Η αρχική ανάπτυξη της υποδομής κινητής τηλεφωνίας 5G θα επικεντρωθεί σε στο να παρέχει αυξημένο εύρος ζώνης δεδομένων και αξιοπιστία σύνδεσης μέσω δύο νέων περιοχών ραδιοσυχνοτήτων. Το πρώτο εύρος συχνοτήτων επικαλύπτει και επεκτείνει τις συχνότητες 4G LTE, που λειτουργούν από 450 MHz έως 6.000 MHz. Οι ζώνες αριθμούνται από 1 έως 255 και αυτό συνήθως αναφέρεται ως New Radio (NR) ή sub-6GHz. Το δεύτερο εύρος συχνοτήτων λειτουργεί σε πολύ υψηλότερες συχνότητες που κυμαίνονται από 24.250 MHz (~ 24GHz) έως 52.600 MHz (~ 52GHz). Οι ζώνες αριθμούνται από 257 έως 511 και αυτό συνήθως αναφέρεται ως η ζώνη των χιλιοστομετρικών κυμάτων (mmWave), αν και αυστηρά μιλώντας το μήκος συχνότητας «χιλιοστόμετρου» ξεκινά από 30 GHz. Σε γενικές γραμμές τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G βασίζονται επί του παρόντος στην αρχιτεκτονική των μακροκυψελών (macro-cells). Ωστόσο, με την παρούσα κατάσταση τα macro-cells που καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές δεν θα επαρκούν για να προσφέρουν την πυκνή κάλυψη, χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό εύρος ζώνης και όλες τις υπόλοιπες απαιτήσεις που για να ικανοποιούν τις 5G εφαρμογές.

Για την παροχή της πυκνής κάλυψης και του δικτύου υψηλής χωρητικότητας που απαιτείται από το 5G, οι πάροχοι επενδύουν στην πυκνοποίηση του υφιστάμενου δικτύου ραδιοπρόσβασης 4G (RAN) - ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές - αναπτύσσοντας μικροκυψελωτά δίκτυα (small cells). Τα small cells, ενώ εξυπηρετούν μια πολύ μικρότερη γεωγραφική περιοχή από τα macro-cells, αυξάνουν την κάλυψη δικτύου, ενισχύουν την χωρητικότητα και την ποιότητα των υπηρεσιών. Η ανάπτυξη μικρών κυψελών (small cells) είναι ένας τρόπος ενίσχυσης της χωρητικότητας και της ποιότητας των υπάρχοντων δικτύων 4G ενώ θέτει τα θεμέλια για τα εμπορικά δίκτυα 5G και πρώιμες υπηρεσίες eMBB. Τα small cells αυξάνουν την χωρητικότητα του δικτύου χωρίς την ανάγκη πρόσθετου φάσματος, καθιστώντας τα ελκυστικά να χρησιμοποιηθούν από τους παρόχους σε σημεία που το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι σπάνιο.

Λόγω της πυκνής κάλυψης που πρέπει να παρέχουν τα small cells, κρίνεται αναγκαίο πως θα πρέπει να εγκατασταθούν κεραιοσυστήματα τέτοιου τύπου σε διάφορα σημεία μιάς περιοχής όπως για παράδειγμα οι στάσεις λεωφορείων, φώτα οδικού δικτύου, φανάρια κ.λ.π. Συχνά συνοδεύονται από καμπίνες εξωτερικού τύπου οι οποίες θα μπορούν να φιλοξενήσουν τον υπόλοιπο ραδιοεξοπλισμό, την παροχή ενέργειας και το transport κομμάτι του σταθμού με το οποίο αποκτά συνδεσιμότητα.

Για την σωστή υλοποίηση των δικτύων 5G αναγκαία πρέπει να θεωρείται και η βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Σε αυτό θα συντελέσει η Massive MIMO τεχνολογία (Massive Multi-Input Multi-Output) με την οποία θα ελέγχεται η συστοιχία κεραιών πολλών στοιχείων κεραίας για να δημιουργήσει πολλαπλές δέσμες ταυτόχρονα και κάθε δέσμη φέρει διαφορετικό σήμα στο χρήστη. Το MIMO μπορεί να υποστηρίξει έως και εκατοντάδες ή και χιλιάδες κεραίες, αυξάνοντας τους ρυθμούς δεδομένων και υποστηρίζοντας τη διαμόρφωση δέσμης, απαραίτητο για αποτελεσματική μετάδοση ισχύος.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του δικτύου ασύρματης πρόσβασης του 5G είναι η ενσωμάτωση και ενοποίηση και άλλων Radio Access Technologies, όπως το GSM, το HSPA, το LTE και το WiFi, καθώς και διαφορετικών τύπου κόμβοι πρόσβασης σε ένα δίκτυο (macro cells, micro cells). Κλείνοντας, οι νέες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης θα διευρύνουν κατά πολύ τις φασματικές περιοχές καθώς θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και millimeter waves οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ζώνες εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (24GHz – 28GHz) αλλά και low band ζώνες (700MHz) [27,28].



Εικόνα 25: Γενική Αρχιτεκτονική RAN 5G – Πηγή: IEEE Communications and Surveys and Tutorials

3.1.1 Φασματικές Περιοχές του 5G

Είναι γεγονός, ότι τα δίκτυα 5G αναμένεται να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων σε σχέση με αυτές που χρησιμοποιούνταν μέχρι σήμερα, καθώς θα κληθούν να εξυπηρετήσουν νέες πολυδιάστατες και πολύπλοκες εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν διάλογοι συχνοτήτων με πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σύγκριση με τις προηγούμενες

τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών. Οι φασματικές περιοχές ενδιαφέροντος που αφορούν το 5G, μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες [20] οι οποίες είναι:

α) Η Χαμηλή Ζώνη κάτω από το 1 GHz, π.χ. στα 700 MHz, με την οποία εξασφαλίζεται εκτεταμένη κάλυψη και προσφέρεται η δυνατότητα εύκολης μετάβασης από τα παλαιότερης γενιάς δίκτυα. Ταυτόχρονα, αυτή η ζώνη θα υποστηρίξει την γεωγραφική κάλυψη μεγάλης έκτασης (π.χ. αγροτικές περιοχές, απομακρυσμένα μέρη) και θα συμβάλλει καθοριστικά στην ανάπτυξη του IoT. Στην Ευρώπη υπάρχει σαφή προτίμηση για τις συχνότητες μεταξύ 694-790MHz δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο 100MHz συνεχούς εύρους ζώνης, παρόλο που αυτή η ζώνη χρησιμοποιείται για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση. Είναι δεδομένο πως η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει λάβει την απόφαση για την συντονισμένη απελευθέρωση αυτής της ζώνης για όλα τα κράτη μέλη της προκειμένου να αναπτυχθούν και να ενεργοποιηθούν τα δίκτυα 5G.

β) Η Μεσαία Ζώνη 3400-3800 MHz (3.4-3.8 GHz), η οποία παρέχει ένα καλό μίγμα δυναμικότητας και κάλυψης. Αυτή η περιοχή, η ζώνη των 3,4 GHz – 3,8 GHz προβλέπεται να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη του 5G καθώς θα προσφέρει εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες και την απαιτούμενη χωρητικότητα για τις νέες υπηρεσίες 5G, αναπτύσσοντας macro αλλά και small cells.

γ) Η Υψηλή Ζώνη 24.25 - 27.5 GHz (26 GHz), η οποία προσφέρει υπερυψηλές ταχύτητες μετάδοσης και χωρητικότητα για να υποστηρίξει τις υπερυψηλές ευρυζωνικές συνδέσεις οι οποίες θα δημιουργήσουν νέες καινοτόμες υπηρεσίες και θα επιτρέψουν την ανάπτυξη νέων μοντέλων επιχειρηματικότητας και νέων τομέων της οικονομίας.



Εικόνα 26: Φασματικές Περιοχές 5G – Πηγή: Carritech.com

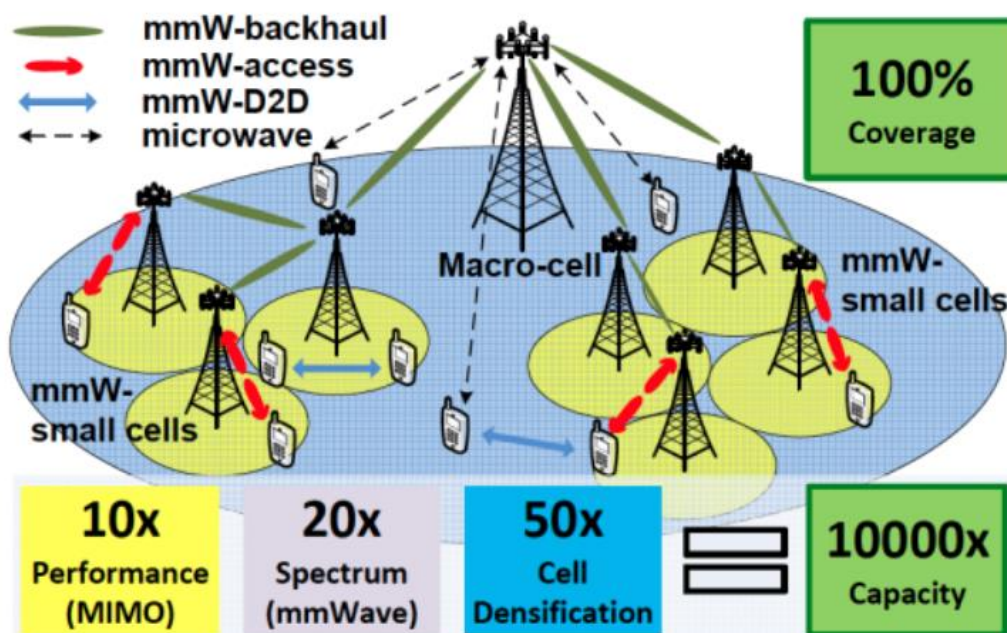
Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) ολοκλήρωσε επιτυχώς τη δημοπρασία για την χορήγηση δικαιωμάτων χρήσης σε όλες τις φασματικές περιοχές του 5G (700 MHz, 2 GHz, 3400 – 3800 MHz και 26 GHz) στη δημόσια διαβούλευση που ξεκίνησε 6 Φεβρουαρίου 2020 και ολοκληρώθηκε στις 16 Σεπτεμβρίου 2020.

3.1.2 mmWave και τεχνικές Beamforming

Για να συμβαδίσουν τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς με την εκρηκτική αύξηση της ζήτησης έξυπνων συσκευών καθώς και με την απαίτηση για τεράστιους ρυθμούς δεδομένων, εξετάζεται η μαζική πύκνωση των κυψελών προκειμένου να επιτευχθεί η μέχρι και 10.000 φορές αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου μέχρι τα τέλη της επόμενης δεκαετίας. Με την εκρηκτική αύξηση της κίνησης από την ασύρματη μετάδοση δεδομένων, το παράδοξο μεταξύ της ανάγκης για μεγάλη χωρητικότητα του δικτύου και της έλλειψης φάσματος γίνεται ολοένα και πιο έντονο. Η έλλειψη αυτή αποτελεί τροχοπέδη και είναι ένα βασικό πρόβλημα για τα 5G δίκτυα, αφού απαιτείται πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης για να επιτευχθούν οι στόχοι και να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις. Πέρα από την καλύτερη αξιοποίηση του υφιστάμενου εύρους ζώνης, ένας ακόμη πιο αποδοτικός τρόπος θα ήταν να προσθέσουμε νέες ζώνες φάσματος στο ήδη υπάρχον. Η ζώνη συχνοτήτων από 30 GHz έως 300 GHz στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, γνωστή και ως millimeter wave (mmWave) έχει προταθεί να γίνει ένα σημαντικό μέρος της πέμπτης γενιάς κινητών δικτύων, για την παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας multi-gigabit και για την υλοποίηση εφαρμογών όπως π.χ υπέρ-υψηλής ευκρίνειας βίντεο (UHDV). Ειδικότερα, η βασική προσέγγιση γίνεται στη ζώνη 28 GHz, τη ζώνη 38 GHz καθώς και στη λεγόμενη ζώνη E-band (71-76 GHz και 81-86 GHz) οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για backhaul λύσεις.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε μακροκυψέλη θα αποτελείται από πολλές μικρότερες κυψέλες (small cells) και ετερογενή δίκτυα, όπως WLAN (wireless local area networks) ή WPAN (wireless personal area networks). Αυτό συνιστά μια πολλά υποσχόμενη λύση για την ενίσχυση της χωρητικότητας των 5G δικτύων και σε συνδυασμό με τις mmWave ζώνες, ιδίως των 28 GHz, 38 GHz, ενδυναμώνεται κατά πολύ η τοπική πρόσβαση. Συνεπώς, θα έχουμε πολλές μικρές κυψέλες με τεράστιο εύρος ζώνης, ικανές να παρέχουν στον χρήστη ρυθμούς πολλών gigabits για εφαρμογές πολυμέσων, όπως υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μεταξύ συσκευών, π.χ. laptops, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας σε πραγματικό χρόνο (HDTV), ασύρματο gigabit Ethernet, ασύρματο gaming σε ρυθμούς έως και 3 Gb/s. Επίσης πέρα από την πύκνωση του δικτύου, εξακριβώθηκε ότι η χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να βελτιωθεί και από τη χρήση εξελιγμένων κατευθυντικών κεραιών στην ζώνη των mmWave. Από μελέτες που έγιναν διαπιστώθηκε πως με τη χρήση αυθαίρετων γωνιών σε κατευθυντικές κεραιές πετυχαίνουμε 20 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από ό,τι στα δίκτυα 4G, ενώ υπάρχουν ακόμα περισσότερα περιθώρια βελτίωσης όταν χρησιμοποιηθούν πλήρως κατευθυντικές κεραιές από και προς τα σημεία μετάδοσης και λήψης. Η ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς, θα παίξει καθοριστικό ρόλο για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το οποίο συμπεριλαμβάνει την αμφίδρομη σύνδεση κάθε συσκευής που βρίσκεται σε ένα χώρο με το διαδίκτυο, ώστε να είναι εφικτός ο απομακρυσμένος έλεγχος αυτών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που αναδύεται είναι η οικονομική αποδοτικότητα του δικτύου από πλευράς ενέργειας καθώς θα είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ συσκευών (D2D) η οποία προσφέρει μια πολύ καλή ευκαιρία για αύξηση της φασματικής αποδοτικότητας των κυψελών χάρη στην εκμετάλλευση του φάσματος στις ζώνες των mmWave, επιτρέποντας έτσι σε κάθε συσκευή να

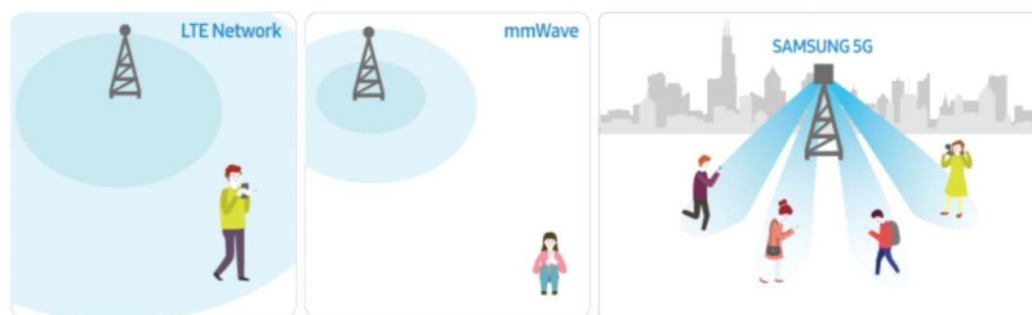
επικοινωνεί με κάποια κοντινή της, δίνοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει μία πληθώρα εφαρμογών. Επίσης, τα mmWave έρχονται να δώσουν λύση και στην ανάγκη για πυκνοποίηση του δικτύου καθώς η σύνδεση πολλών σταθμών βάσης μεταξύ τους με τη χρήση οπτικών ινών βασισμένων στο backhaul θα ήταν μία αρκετά δαπανηρή λύση. Αναλυτικότερα, στη ζώνη των E-band ζεύξεων (71-76 GHz και 81-86 GHz) μπορεί να επιτευχθεί υψηλής ταχύτητας ασύρματο backhaul δίκτυο πιο αποδοτικό, ευέλικτο και πιο εύκολα υλοποιήσιμο. Κατά αυτόν τον τρόπο παρέχονται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και επιπλέον είναι μια εξαιρετική λύση για backhaul συνδέσεις όσον αφορά τις μικρές κυψέλες (small cells) [28].



Εικόνα 27: mmWave για access & backhaul λύσεις – Πηγή: Profratnarajah.org

Ενώ στο παρελθόν είχε εξεταστεί να γίνει χρήση των mmWave ζωνών για τις κινητές επικοινωνίες, εν τέλει απορρίφθηκε και κρίθηκε ακατάλληλη κυρίως λόγω της χαμηλής ποιότητας διάδοσης. Η ανάγκη όμως για περισσότερους πόρους φάσματος προκειμένου τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς να πετύχουν τους στόχους τους, σε χωρητικότητα και ρυθμούς μετάδοσης, ανάγκασε τους ερευνητές στο να επανεξετάσουν το ενδεχόμενο χρήσης του φάσματος στις mmWave ζώνες. Έτσι προέκυψε ένα πλήθος προκλήσεων που πρέπει να ξεπεραστούν προτού χρησιμοποιηθούν χιλιοστομετρικά κύματα συμπεριλαμβανομένων του ισχυρού pathloss, της απαραίτητης υψηλής κατευθυντικότητας των κυματομορφών, της ατμοσφαιρικής σκέδασης, της απορρόφησης από τη βροχή η οποία μειώνει την ισχύ του σήματος, της χαμηλής περίθλασης γύρω από τα εμπόδια, της χαμηλής διείσδυσης μέσα από αντικείμενα που εξασθενούν το σήμα και του υπέρογκου κόστους εξοπλισμού. Επιπλέον προκλήσεις προστίθενται λόγω των θεμελιωδών διαφορών μεταξύ των mmWave επικοινωνιών και των ήδη υφιστάμενων συστημάτων επικοινωνίας, που λειτουργούν σε άλλες ζώνες (π.χ., 2.4 GHz και 5 GHz), ενώ

υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer), στο επίπεδο του μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και στη δρομολόγηση των στρωμάτων των mmWave επικοινωνιών στα ασύρματα δίκτυα 5G. Για την καταπολέμηση αυτών των αδυναμιών, έχει εισαχθεί ως μέτρο καταστολής η τεχνολογία Beamforming. Πρόκειται για ένα σύστημα ασύρματης εκπομπής, που προσδιορίζει την πιο αποτελεσματική διαδρομή παροχής δεδομένων σε έναν συγκεκριμένο χρήστη και μειώνει τις παρεμβολές για τους χρήστες που βρίσκονται στη γύρω περιοχή. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στις χιλιοστομετρικές συχνότητες να ταξιδέψουν μακριά δίχως να υπάρχουν παρεμβολές από άλλα σήματα. Συνοψίζοντας, για την επίτευξη υψηλής απόδοσης του δικτύου, απαιτούνται νέες τεχνολογίες και πρωτόκολλα για να αντιμετωπιστούν προκλήσεις όπως είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών, η αντιμετώπιση των παρεμβολών, ο προγραμματισμός της μετάδοσης, και η κατάλληλη διαμόρφωση του σήματος [29,31].



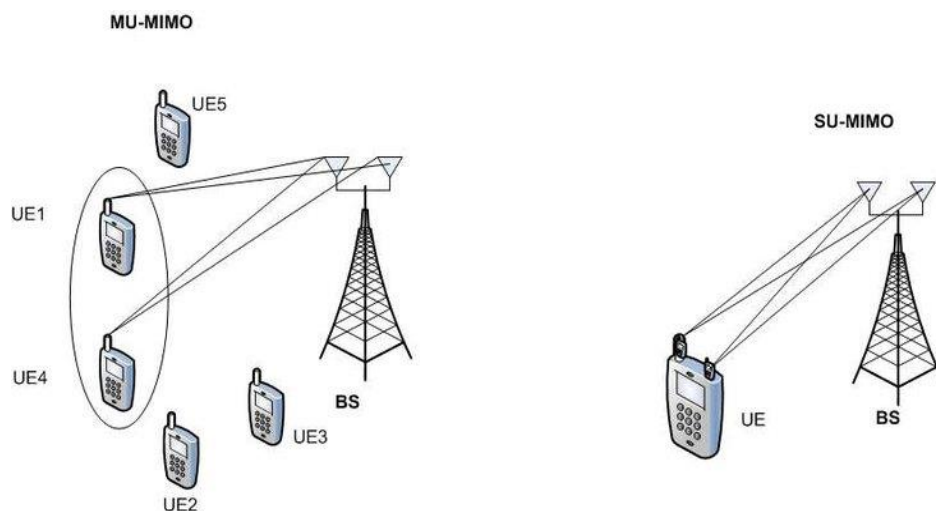
Εικόνα 28: Τεχνολογία Beamforming – Πηγή: Slideshare 3G4GLtd.net

3.1.3 Massive MIMO

Η τεχνολογία πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων είναι ένα αντικείμενο μεγάλου ενδιαφέροντος εδώ και σχεδόν δυο δεκαετίες αναφορικά με τα ασύρματα δίκτυα λόγω της ικανότητάς τους να αντιμετωπίσουν την αύξηση της κυκλοφορίας των δεδομένων και να βελτιώσουν την αξιοπιστία του ασύρματου δικτύου. Για την σωστή ανταπόκριση στις απαιτήσεις του συστήματος 5G, απαιτείται μία εντυπωσιακή αλλαγή στο σχεδιασμό της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής. Έχει παρατηρηθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών ασύρματων τεχνολογιών βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η παρούσα αρχιτεκτονική σχεδίαση των κυψελωτών δικτύων, είτε σε εσωτερικό, είτε σε εξωτερικό χώρο, αναφέρεται στην χρησιμοποίηση ενός σταθμού βάσης (BSs) ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της κυψέλης. Συνεπώς, αν ο χρήστης βρίσκεται σε κάποιο εσωτερικό χώρο, το σήμα θα πρέπει να διεισδύσει στο εσωτερικό του κτιρίου, μέσω των τοίχων με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλες απώλειες. Αυτό συνεπάγεται χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, έλλειψη αξιοπιστίας και μειωμένη φασματική και ενεργειακή απόδοση.

Βασική ιδέα για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής 5G είναι να διαχωρίσουμε το πλάνο υλοποίησης εξωτερικού και εσωτερικού χώρου έτσι ώστε να αποφευχθεί η απώλεια διείσδυσης μέσω των τοίχων. Οι δύο μέθοδοι που θα συντελέσουν σε αυτό

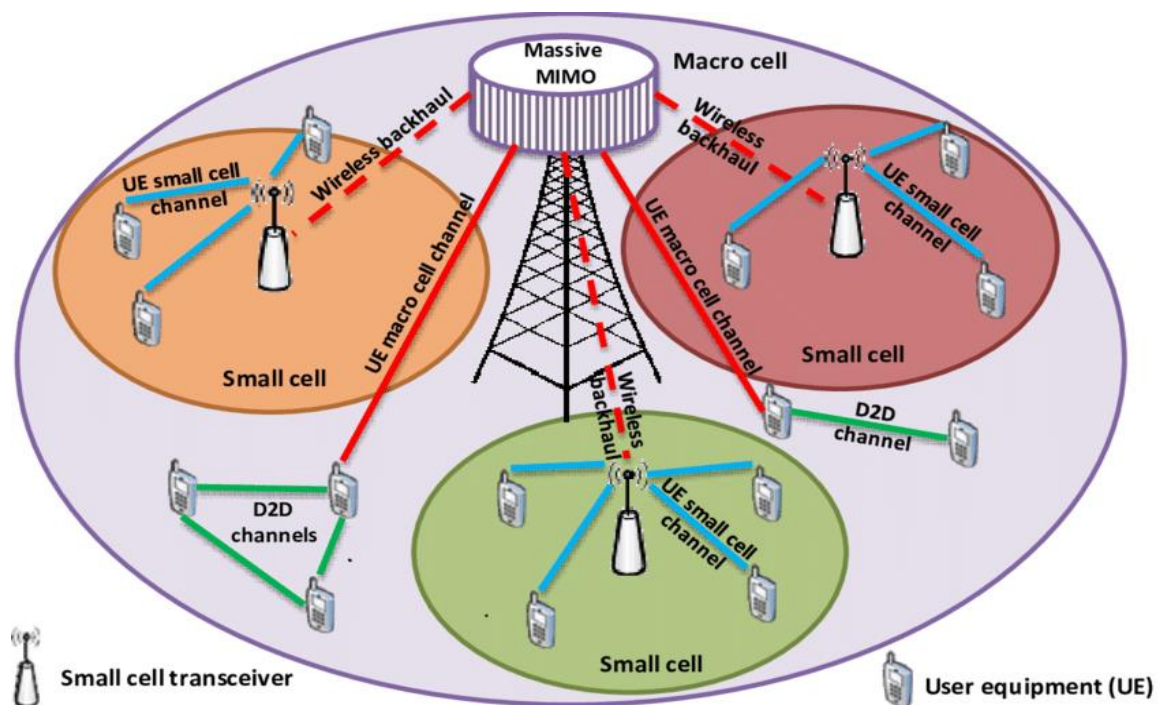
είναι η τεχνολογία massive MIMO όπου αναπτύσσονται γεωγραφικά καταναμημένες συστοιχίες κεραιών με δεκάδες ή εκατοντάδες στοιχεία κεραίας και το σύστημα καταναμημένης κεραίας (DAS) στο οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια. Πιο συγκεκριμένα, τα massive MIMO συστήματα αναφέρονται στη χρήση πολλαπλών στοιχείων κεραίας τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη. Πρόκειται για μία μέθοδο που στοχεύει στο να πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα των ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιώντας πολλές κεραιές μετάδοσης και λήψης σήματος, έτσι ώστε να γίνεται εκμετάλλευση πολλαπλών μονοπατιών την ίδια χρονική στιγμή. Στην παρούσα φάση υφίστανται 2 περιπτώσεις της τεχνολογίας MIMO, το single-user MIMO (SU-MIMO), όπου ο αριθμός των κεραιών που μπορούν να φιλοξενηθούν από την φορητή συσκευή του χρήστη είναι μικρός και η multi-user έκδοση του MIMO (MUMIMO) όπου επειδή οι σταθμοί βάσεις πρέπει να επικοινωνούν με πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, για να είναι αποτελεσματικοί είναι αναγκαία η χρήση πολλών πομποδεκτών [28,29].



Εικόνα 29: SU MIMO εναντίων MU MIMO – Πηγή: Khan et al. 2014, Journal of Space Technology

Η πλειοψηφία των σημερινών συστημάτων, ιδιαίτερα από όταν αναπτύχθηκε η τεχνολογία 4G τα συστήματα MIMO χρησιμοποιεί δύο με τέσσερις κεραιές, ωστόσο για να καταφέρουν τα συστήματα της πέμπτης γενιάς κινητών δικτύων να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των χρηστών τους, έπρεπε η MIMO τεχνολογία να πάει ένα βήμα παραπέρα. Σε αυτό το πλαίσιο άρχισε να διερευνάται η εκδοχή να εξοπλίζεται κάθε BS (base station) με μια σειρά από κεραιές, πολύ περισσότερες από τον αριθμό των ενεργών χρηστών, τοποθετώντας εκατοντάδες κεραιές ανά σταθμό βάσης. Έτσι καταλήξαμε στα συστήματα κεραιών ευρείας κλίμακας πιο γνωστά πλέον ως massive MIMO. Στόχος των massive MIMO συστημάτων είναι να αποκομίσουν τη βέλτιστη χωρητικότητα από την χρήση μεγαλύτερων συστοιχιών κεραιών επιτυγχάνοντας ένα μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στα ασύρματα κανάλια ενώ ταυτόχρονα θα εξυπηρετείται τεράστιος όγκος δεδομένων. Επί του πρακτέου, πολύ σημαντική βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί όσον αφορά την αξιοπιστία, την φασματική απόδοση και την ενεργειακή απόδοση των δικτύων.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως τα πλεονεκτήματα της massive MIMO τεχνολογίας είναι πως μπορούμε να πετύχουμε θεαματική βελτίωση στη φασματική και ενεργειακή απόδοση του δικτύου επιτυγχάνοντας μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στα ασύρματα κανάλια, η εξάλειψη των επιπτώσεων του θορύβου και της γρήγορης εξασθένησης του σήματος καθώς και η ελάττωση των παρεμβολών χρησιμοποιώντας μεθόδους απλής γραμμικής προκωδικοποίησης και ανίχνευσης. Πρέπει να αναφερθεί πως στον δρόμο για την υλοποίηση της τεχνολογίας massive MIMO υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν. Μια σοβαρή πρόκληση για την υλοποίηση του massive MIMO έχει να κάνει με αρχιτεκτονική του καθώς απαιτούνται ριζικά διαφορετικές δομές σταθμών βάσης, όπου αντί να υπάρχουν λίγοι αλλά υψηλής ισχύος ενισχυτές για την τροφοδοσία των κεραιών, πλέον θα έχουμε ένα μεγάλο αριθμό από μικροσκοπικές κεραιές τροφοδοτούμενες από ενισχυτές χαμηλής ισχύος. Επιπλέον, είναι πολύ πιθανή η αναγκαιότητα κάθε κεραία να έχει το δικό της ενισχυτή. Όπως επισημάνθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η επικοινωνία με mmWave απαιτεί την χρήση πολλών κεραιών που μπορούν να στρίβουν και να ορίζουν την κατεύθυνση του κύματος. Οι κεραιές είναι πολύ μικρότερες σε αυτές τις συχνότητες και ως εκ τούτου πολύ μεγάλος αριθμός αυτών μπορεί θεωρητικά να χωρέσει σε φορητές συσκευές. Οπότε, κάθε εφαρμογή του massive MIMO στις συχνότητες των mmWave θα πρέπει να βρει τη σωστή ισορροπία μεταξύ της μείωσης της στάθμης ισχύος/παρεμβολής και του παραλληλισμού. Η επεκτασιμότητα, οι συσχετίσεις κεραιών και το κόστος, είναι κάποιες προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να υπάρξουν καινοτόμες μορφές τοπολογιών έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση με τεχνολογία massive MIMO. [31]



Εικόνα 30: Τεχνολογία Massive MIMO – Πηγή: IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems

3.1.4 Ετερογενή Δίκτυα

Το σενάριο αρχιτεκτονικής που αποτελεί τη βάση των σημερινών δικτύων και αναμένεται να αποτελέσει θεμέλιο λίθο της επόμενης γενιάς συστημάτων, είναι αυτό της ανάπτυξης ετερογενών δικτύων. Ένα ετερογενές δίκτυο είναι εκείνο το δίκτυο που συμπεριλαμβάνει ένα πλήθος διαφορετικών τεχνολογιών ραδιο-πρόσβασης φωνής και δεδομένων (2G, 3G και 4G), καθώς και πολλαπλών τύπων κόμβων πρόσβασης (macro, micro, pico και femto), οι οποίες συμβάλλουν από κοινού στην απρόσκοπτη υποστήριξη υψηλής κάλυψης, χωρητικότητας και ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζοντας εξαιρετικά επίπεδα παρεχόμενων υπηρεσιών στους τελικούς συνδρομητές. Η συνύπαρξη των διαφορετικών ραδιοτεχνολογιών οφείλεται κυρίως σε τεχνολογικούς λόγους, καθώς η ταυτόχρονη παροχή υψηλών επιπέδων υπηρεσιών φωνής και δεδομένων μπορεί να υποστηριχθεί συνδυαστικά από τις επιμέρους τεχνολογίες. Οφείλεται όμως και σε οικονομοτεχνικούς λόγους με βάση τις διαχρονικές επενδύσεις των παρόχων επικοινωνιών στις υποδομές των δικτύων. Από την πλευρά του χρήστη, η συνύπαρξη των τεχνολογιών είναι διάφανη καθώς τα σύγχρονα smartphones υποστηρίζουν όλες τις τεχνολογίες και επιλέγουν αυτόματα την κατάλληλη τεχνολογία, ανάλογα με το είδος της ζητούμενης υπηρεσίας, ακολουθώντας ταυτόχρονα πολιτικές βελτιστοποίησης χρήσης των διαθέσιμων πόρων του συνολικού δικτύου.

Με τον όρο επίπεδο (layer) ή στρώμα (tier) δικτύου ορίζουμε μία τοπολογία κόμβων ραδιο-πρόσβασης, ευρέως γνωστών ως σταθμών βάσης (base stations), που καλύπτουν αντίστοιχες κυψέλες (cells) με ομογενή χαρακτηριστικά, ως προς το μέγεθος (cell size), τις διαστάσεις της κατασκευής και τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Παραδοσιακά τα ραδιοδίκτυα σχεδιάζονταν και εξαπλώνονταν με βάση ένα μοναδικό στρώμα, γνωστό ως μακρο-κυψελωτό ή απλά “macro”. Οι macro κυψέλες εξυπηρετούν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή ακτίνας από μερικές εκατοντάδες μέτρα (500 m περίπου σε τυπικά αστικά περιβάλλοντα & 10 km περίπου σε τυπικά αγροτικά περιβάλλοντα), ανάλογα με το προφίλ της επιθυμητής περιοχής κάλυψης (πυκνή αστική, αστική, αγροτική, κλπ.). Οι συγκεκριμένοι Σ/Β τοποθετούνται έπειτα από προσεκτικό σχεδιασμό από τους planners των παρόχων και συνήθως σε ειδικές κατασκευές (radio towers) που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους. Η ισχύς τους είναι κατάλληλη ώστε να παρέχουν κάλυψη ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους, και υποστηρίζουν πολλαπλές φασματικές ζώνες, δηλαδή 800, 900, 1800, 2100, και 2600 MHz. Τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (voice & data) 2G, 3G, 4G έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με βάση κυρίως τη συγκεκριμένη τοπολογία μακροκυψελών. Η ενσωμάτωση μικρών κυψελών “small-cells” όπου υπάρχει ανάγκη για τη βέλτιστη κάλυψη των χρηστών, οι οποίες είναι μικρότερης εμβέλειας σε σχέση με τις κυψέλες macro, συνιστά μία πάγια πρακτική τοπολογικής εξέλιξης των σύγχρονων ραδιο-δικτύων. Οι κυψέλες small-cells διαθέτουν εμβέλεια από λίγα μέτρα (femto-cells) έως μερικές δεκάδες (pico) ή και εκατοντάδες μέτρα (micro). Έχουν ισχύ εκπομπής από 100 mW (femto) έως και 10W (micro), ενώ τοποθετούνται είτε σε εξωτερικούς (micro/pico) είτε σε εσωτερικούς χώρους (pico/femto). Για τη λειτουργία

τους συνήθως χρησιμοποιούνται υψηλότερες φέρουσες συχνότητες, π.χ. 1800, 2100 και 2600 MHz (και μελλοντικά 3500 MHz ή και παραπάνω)[18].

Οι micro-cells συνήθως εγκαθιστούνται σε εξωτερικό χώρο, σε χαμηλό ύψος, και καλύπτουν κυρίως περιοχές δημοσίου και ιδιωτικού ενδιαφέροντος με αυξημένες απαιτήσεις τηλεπικοινωνιακής κίνησης (π.χ. γήπεδα, πάρκα, στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, συνεδριακά κέντρα με εξωτερικούς χώρους) ενώ μερικές φορές μπορούν να τοποθετηθούν και σε στύλους φωτισμού, σε καπάκια φρεατίων στους δρόμους σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές κλπ.. Οι ίδιοι σταθμοί μπορούν να προσφέρουν κάλυψη και σε εσωτερικούς χώρους.

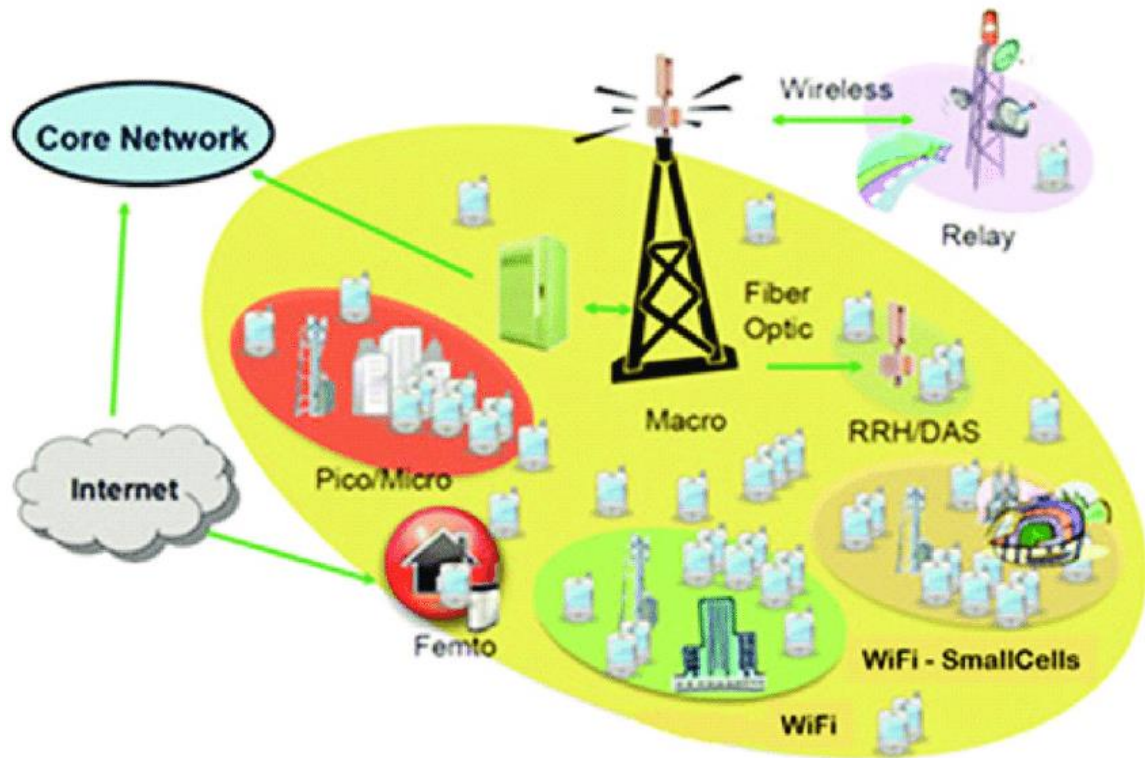
Οι pico-cells έχουν ακτίνα κάλυψης μερικών δεκάδων μέτρων και καλύπτουν συνήθως απαιτητικούς εσωτερικούς χώρους ή εσωτερικούς κι εξωτερικούς χώρους δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμούς τραινών, στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, κλπ. Οι femto-cells τοποθετούνται σε οικιακούς χώρους και λειτουργούν βάσει ενός μοντέλου περιορισμένης πρόσβασης. Άρα συνυπάρχουν τα διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, που δρουν συνδυαστικά και συνεργατικά καθώς κάθε επίπεδο επικεντρώνεται σε διαφορετικά προφίλ κάλυψης και τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τις συνεχείς επενδύσεις σε εναλλακτικές υποδομές ραδιο-πρόσβασης. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των παραπάνω τύπων δικτύων [30].

Ιεραρχικό Επίπεδο	Χαρακτηριστικά	Στόχευση
Macro	Ακτίνα κάλυψης: 500 m – 10 km Ισχύς Εκπομπής: Έως μερικές δεκάδες Watt Τοποθέτηση: Σε ειδικές κατασκευές σε εξωτερικό χώρο (radio towers/masts)	Παροχή ευρείας γεωγραφικής & πληθυσμιακής κάλυψης.
Στοχευμένες Κυψέλες Μικρής Εμβέλειας (Small-Cells)		
Micro	Ακτίνα κάλυψης: 150 – 200m Ισχύς Εκπομπής: 1 – 10W Τοποθέτηση: Σε εξωτερικό χώρο	Περιοχές δημοσίου ενδιαφέροντος (στάδια, πάρκα). Καλύπτουν και εσωτερικούς χώρους.
Pico	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 1 W, τυπικά 250 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Απαιτητικοί χώροι ή χώροι δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμοί τραινών κλπ.
Femto	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 100 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Οικιακοί χώροι βάσει «κλειστού» μοντέλου πρόσβασης.

Εικόνα 31: Χαρακτηριστικά Τύπων Κυψελωτών Δικτύων – Πηγή: ΕΕΚΤ

Συνεπώς, ο όρος “ετερογενή δίκτυα” χρησιμοποιείται για να περιγράψει τόσο τα σημερινά όσο και τα μελλοντικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, τα οποία χρησιμοποιούν πολλαπλές τεχνολογίες ραδιο-πρόσβασης αλλά και πολλαπλά

ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, ώστε να βελτιστοποιούν κάθε φορά τα επίπεδα της παρεχόμενης κάλυψης αλλά και της χωρητικότητας και ποιότητας υπηρεσιών των συνδρομητών που κινούνται σε ετερογενή περιβάλλοντα. Χωρίς τη χρήση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, καθίσταται αδύνατη η παροχή υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών με τα απαιτούμενα κάθε φορά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις απόδοσης δικτύου, στο παρόν και στο μέλλον.



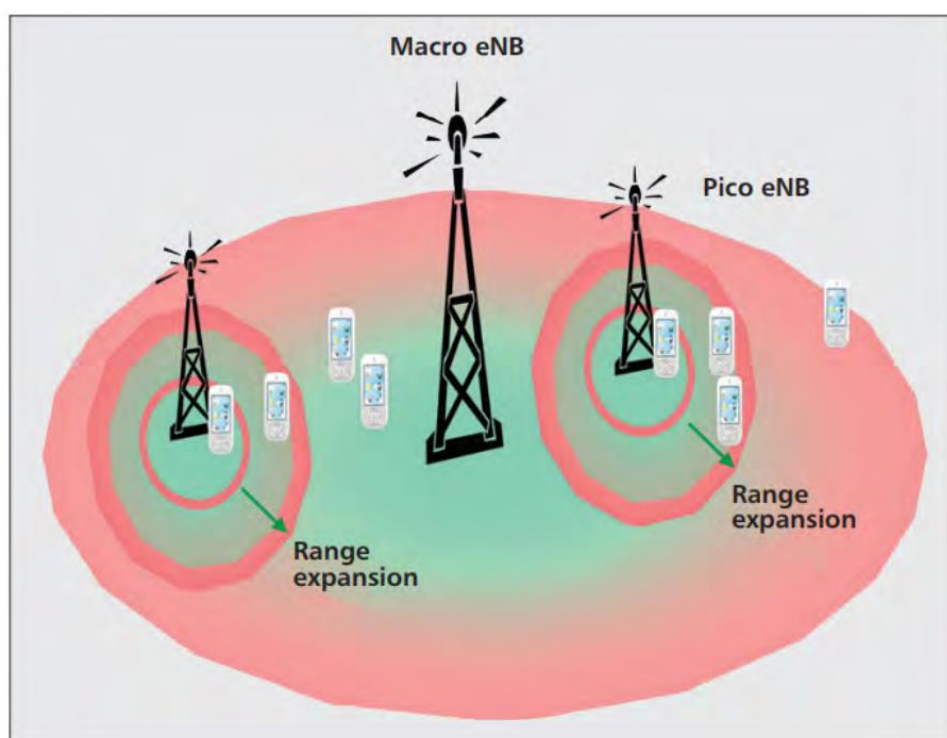
Εικόνα 32: Ετερογενή Δίκτυα – Πηγή: Primefeed.in

3.1.5 Ultra Dense Networks – Πυκνοποίηση Δικτύων και ανάπτυξη των Small Cells

Σύμφωνα με την τακτική πυκνοποίησης του δικτύου (network densification) θα δημιουργηθούν πολύ πυκνές κυψέλες εγκαθιστώντας πολλούς σταθμούς βάσης επιτυγχάνοντας υψηλό εύρος ζώνης, χαμηλή απόκριση ενώ παράλληλα θα υποστηρίζουν ένα τεράστιο αριθμό από συσκευές και τεχνολογίες. Η απόφαση των παρόχων σε σχέση με το πού θα εγκαταστήσουν τους νέους Σ/Β θα έχει κύριο γνώμονα το κόστος προετοιμασίας της περιοχής που θα εγκατασταθεί έτσι ώστε να σταθμίζεται με το όφελος που θα δημιουργείται από την κάλυψη που θα παρέχει στη γεωγραφική περιοχή η κυψέλη αυτή. Όσον αφορά τα small cells, πρόκειται για ένα είδος σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, μικρού μεγέθους και συνακόλουθα μικρής ενεργειακής κατανάλωσης. Χρησιμοποιούνται για την παροχή ασύρματης πρόσβασης τόσο σε εσωτερικούς, όσο και σε εξωτερικούς χώρους ενώ μπορεί να έχουν εμβέλεια η οποία κυμαίνεται από 10m έως 2km. Στα δίκτυα 5G είναι απαραίτητη η εγκατάσταση δικτύου

small cells σε πολλές περιοχές αποσκοπώντας στο να παρέχουν απρόσκοπτη κάλυψη και αύξηση της ταχύτητας και χωρητικότητας του δικτύου [32].

Η μέθοδος πυκνοποίησης δικτύου περιλαμβάνει τη χωρική πυκνότητα, δηλαδή μέρη στα οποία εγκαθιστούμε σε μεγάλη πυκνότητα νέα Small Cells τα οποία περιλαμβάνουν τα Pico cells και τα Femto cells και τη συχνοτική πυκνότητα (densification over frequency ή spectral aggregation) όπου χρησιμοποιούμε μεγαλύτερες περιοχές του ραδιοφάσματος σε διαφορετικές συχνότητες. Σύμφωνα με την χωρική πυκνωση, αυξάνουμε τον αριθμό των κεραιών ανά κόμβο, αυξάνουμε την πυκνότητα των εγκατεστημένων σταθμών βάσης σε μια γεωγραφική περιοχή και προσπαθούμε να διανέμουμε ομοιόμορφα τους χρήστες στους σταθμούς βάσης. Κατά την συχνοτική πυκνωση – φασματική συνάθροιση (spectral aggregation) χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ξεκινώντας από τις χαμηλές συχνότητες (600 Mhz) φτάνοντας ως τις υπερυψηλές συχνότητες (30Ghz). Στην προσπάθεια αυτή, η ανάπτυξη των τεχνολογιών επικοινωνίας massive MIMO και χιλιοστομετρικών κυμάτων (mmwaves) θα αποτελέσει αρωγό στην δημιουργία μεγάλου αριθμού small cells για να σχηματιστούν τα Ultra Dense 5G δίκτυα. Στην εικόνα που ακολουθεί, απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο επεκτείνουμε την κάλυψη ενός cell με τη χρήση της τεχνολογίας Network Densification [28,33].



Εικόνα 33: Πυκνοποίηση Δικτύων-UDN – Πηγή: IEEE Communications Magazine

Τα Ultra Dense Networks (UDNs), αντιμετωπίζουν την υψηλή κίνηση στη μετάδοση δεδομένων μέσω της πυκνωσης της υποδομής. Ο στόχος είναι να αυξηθεί η χωρητικότητα, να αυξηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των ραδιοσυνδέσεων και να υπάρξει καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος. Συμπεραίνουμε ότι για τη

βελτίωση της χωρητικότητας του δικτύου 5G, η μελλοντική τοπολογία θα ενσωματώνει διαφορετικού τύπου small cells. Αυτοί οι διαφορετικοί τύποι των small cell BSs θα στοχεύουν σε διαφορετικά περιβάλλοντα και κίνηση. Η πυκνωση λοιπόν, των δικτύων θα παίζει σημαντικό ρόλο καθώς δίνει την δυνατότητα άμεσων και αποτελεσματικών επικοινωνιών.

Ωστόσο, η ανάπτυξη πρόσθετων σταθμών βάσης συνεπάγεται σημαντικό κόστος και σύνθετο σχεδιασμό της χωροταξίας των Σ/Β. Εφαρμόζοντας την κλασσική τεχνική του network densification, μπορούμε να λύσουμε το θέμα της αυξημένης κίνησης στη μετάδοση δεδομένων, όμως αυτό θα σήμαινε πολύ μεγάλο κόστος για την επένδυση σε υποδομές. Ακόμη, οι επιπλέον σταθμοί βάσης θα συνεπάγονταν και μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του λειτουργικού κόστους (OPEX) του δικτύου καθώς η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου είναι ανάλογη του αριθμού των εγκατεστημένων σταθμών βάσης. Ένα ακόμα πρόβλημα που παρουσιάζεται με την τεχνική αυτή, είναι το γεγονός ότι η μεγάλη εύρους μετάδοση των Macrocells, συρρικνώνει σημαντικά την κάλυψη των Small Cells (Picocells, Femtocells) οδηγώντας σε μη-βέλτιστη χρησιμοποίηση των πόρων τους, ενώ ένα μεγάλο ενδεχόμενο είναι και η αύξηση των μεταξύ τους παρεμβολών. Ακόμα και αν τα Small Cells έχουν τοποθετηθεί μέσα στο δίκτυο με το βέλτιστο τρόπο, είναι πιθανό να μην χρησιμοποιούνται αντίστοιχα, με το βέλτιστο τρόπο λόγω διακυμάνσεων στην κίνηση των δεδομένων. Επομένως εγκαθιστώντας νέους σταθμούς βάσης και πυκνώνοντας ακόμα περισσότερο τα υπάρχοντα cells αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση, και το συνολικό κόστος επενδύσεων πράγμα το οποίο αντιτίθεται στους στόχους του 5G. Σε αυτά τα προβλήματα του διαμοιρασμού πόρων που περιγράφουμε πιο πάνω απαιτείται να εισαχθεί ένας μηχανισμός συγχρονισμού και σηματοδότησης ελέγχου μεταξύ των σταθμών, πράγμα το οποίο θα μας οδηγήσει αργότερα να εισάγουμε “νοημοσύνη” στο δίκτυο μας έτσι ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιούμε να δίκτυα με τον βέλτιστο τρόπο ανά πάσα στιγμή [32].

3.1.6 Συστήματα DAS

Το κατανεμημένο σύστημα κεραίας, Distributed Antenna System ή DAS, είναι ένα δίκτυο, που δομείται στο χώρο και χωρίζει κόμβους κεραίας, που είναι συνδεδεμένοι με μια κοινή πηγή μέσω ενός μέσου μεταφοράς. Συνήθως, το DAS παρέχει ασύρματη υπηρεσία σε μια περιοχή γεωγραφικά καθορισμένη ή μία μεγάλη κτιριακή εγκατάσταση, όπως για παράδειγμα σε μία εταιρική έδρα, στο κέντρο μίας πόλης, ένα νοσοκομείο, γήπεδο, σε εμπορικό κέντρο, σε συνεδριακό κέντρο κ.α. Πιο αναλυτικά, κάθε σύστημα DAS, αποτελείται από ένα πλήθος κεραιών που υπάρχουν στο δίκτυο και κατανέμουν το εύρος ζώνης, έτσι ώστε να διαμοιράζεται σύμφωνα με τις ανάγκες του δικτύου και να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα οι διάφοροι χρήστες, που υπάρχουν σταθεροί ή διακινούμενοι στη συγκεκριμένη περιοχή, που έχει καθοριστεί να εξυπηρετείται από αυτό, κάθε χρονική στιγμή.

Μπορεί να αναπτυχθεί σε εσωτερικούς χώρους (indoors-iDAS) ή σε εξωτερικούς χώρους (outdoors-oDAS). Και στις δύο περιπτώσεις η βασική ιδέα και

λειτουργία είναι η ίδια. Τα εσωτερικά DAS, με την ενίσχυση του ασύρματου σήματος ουσιαστικά βοηθούν τα υφιστάμενα δίκτυα όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλο όγκο δεδομένων μέσα στην ημέρα ενώ τα εξωτερικά DAS δίκτυα συνήθως υλοποιούνται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες σε μία περιοχή, που ήδη έχει κάλυψη από μακροκυψέλες, αποσκοπώντας στο να αυξηθεί η χωρητικότητα.

Η ιδέα είναι να διαχωριστεί η μεταδιδόμενη ισχύς, μεταξύ των διαφόρων κεραιών συνήθως μικρότερου μεγέθους από τις συνηθισμένες και με τη σωστή κατανομή τους στο χώρο να παρέχουν κάλυψη πάνω από την ίδια περιοχή ως μία ενιαία κεραία, αλλά με μειωμένη συνολική ισχύ, καλύτερη αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Δηλαδή, μία ενιαία κεραία, που ακτινοβολεί σε υψηλή ισχύ αντικαθίσταται από μία ομάδα κεραιών χαμηλής ισχύος για να καλύψει την ίδια περιοχή. Το DAS χρησιμοποιείται συχνά σε σενάρια, όπου εναλλάσσονται τεχνολογίες και είναι ανέφικτο λόγω της μορφολογίας τους να οριοθετηθούν σε συγκεκριμένα όρια.

Τα DAS συστήματα είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των δικτύων 5G, διότι περιλαμβάνουν εξαιρετικά πλεονεκτήματα, πράγμα το οποίο τα καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικά για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, καθώς και για τους χρήστες. Περιλαμβάνει πλεονεκτήματα [28], όπως:

- Ορίζει υψηλότερη κάλυψη.
- Επιτρέπει στον πάροχο πρόσβαση στην κυψέλη σε όλες τις εφαρμογές.
- Εξαλείφει τα νεκρά σημεία κάλυψης στα κτίρια.
- Είναι Carrier Agnostic, δηλαδή δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει κάποιον συγκεκριμένο πάροχο ή τεχνολογία, που λειτουργεί συνδυαστικά.
- Παρέχει ίδια κάλυψη χρησιμοποιώντας χαμηλότερη συνολική ισχύ.
- Αυξάνει το εσωτερικό σήμα σε όλους τους τομείς εντός της εμβέλειας του

DAS

Ωστόσο, η χρήση ενός καταναμεμένου συστήματος κεραιών έχει και μειονεκτήματα, με συνέπεια η χρήση τους να καθίσταται αδύνατη ορισμένες φορές. Κάποια από τα προβλήματα, που επιφέρει είναι:

- Το υψηλότερο κόστος των πρόσθετων υποδομών που απαιτούνται για την εγκατάσταση και υλοποίηση του.
- Ο σχεδιασμός των DAS είναι διαφορετικός σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα και χρειάζεται ιδιαίτερη διαχείριση. Αυτό, θα δυσκολέψει τη συντήρηση καθώς και μελλοντικές μετατροπές που ενδεχομένως να χρειαστούν.

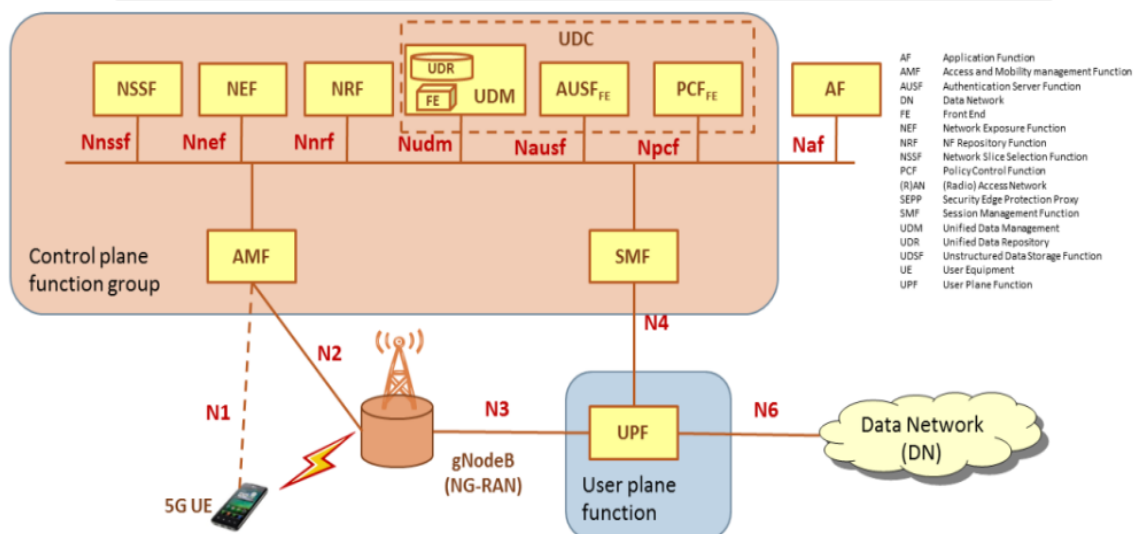
Από τα παραπάνω, συνεπάγεται πώς η υλοποίηση των DAS συστημάτων είναι καταλύτης για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη του δικτύου 5G και των εφαρμογών του αφότου αξιολογηθούν τα μειονεκτήματά του, έτσι ώστε να διαχειριστεί κατάλληλα η δικτυακή υποδομή του [28].

3.2 Δίκτυο Κορμού

Οι περιορισμοί που υπάρχουν στην αξιοποίηση των πόρων των ήδη υπάρχοντων φυσικών υποδομών, δεν μπορούν να συνεχίσουν να υφίστανται και για την ανάπτυξη του 5G. Επιπλέον, η ανάγκη για μείωση του κόστους όλων αυτών των συσκευών και των πόρων τους επιτάσσει την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και καινοτομιών στο σχεδιασμό και τη διαχείριση του δικτυακού μοντέλου. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, αναπτύσσονται και εξελίσσονται σε ένα πολύ δυναμικό και ευέλικτο περιβάλλον που θα αποτελούνται από εικονικούς πόρους (virtual resources), οι οποίοι θα μπορούν να δημιουργούνται στιγμιαία και να παρέχονται κατ' απαίτηση του πελάτη προκειμένου να αναπτύξει τις υπηρεσίες του ή κατ' απαίτηση του παρόχου προκειμένου να μπορέσει να διεκπεραιώσει επιτυχώς τις εσωτερικές του λειτουργίες. Το 5G θα έχει υπηρεσιοστρεφής αρχιτεκτονική (service-based architecture), δηλ. οι προδιαγραφές εστιάζουν στις υπηρεσίες και τη λειτουργικότητα που παρέχεται από το CN και όχι στους κόμβους. Αυτές οι εικονικές λειτουργίες (virtual functions) είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους προκειμένου να μπορούν να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν με άλλες εικονικές συνδέσεις (virtual links) οι οποίες επίσης εξυπηρετούν υπηρεσίες δικτύου. Λαμβάνοντας υπόψιν τα ετερογενή δίκτυα, τα οποία θα είναι αναπόσπαστο κομμάτι των 5G δικτύων και το γεγονός ότι θα πρέπει να συνυπάρχουν διαφορετικά δίκτυα μεταξύ τους, να μοιράζονται πόρους και να συνεργάζονται, κατανοούμε ότι θα πρέπει να υπάρχει μια ενιαία διαχείριση έτσι ώστε να λειτουργούν κανονικά [25].

Θα μπορούσαμε να πούμε πως η ευελιξία θα είναι ένα από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5G. Καθοριστικό ρόλο αναμένεται να παίξει το Cloud με σκοπό να επιτευχθεί η απαιτούμενη ευελιξία στα δίκτυα 5G. Αυτή η ευελιξία θα έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή μίας νέας τεχνικής που όπως προαναφέρθηκε είναι γνωστή ως λογισμικοποίηση του δικτύου (network softwarization) όπου οι συσκευές (hardware), το λογισμικό (software) και οι λειτουργίες του δικτύου διαχωρίζονται. Η λογισμικοποίηση του δικτύου – μέσω των τεχνικών Network Function Virtualization (NFV), Software Defined Networking (SDN), Network Slicing και το Cloud-RAN (C-RAN) – έχει ως στόχο την αύξηση τόσο του βαθμού καινοτομίας των υπηρεσιών που θα προσφέρουν τα δίκτυα 5G, όσο και του ρυθμού εξέλιξης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Στη συνέχεια θα αναλυθούν η αρχιτεκτονική και οι τεχνολογίες που θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στο δίκτυο κορμού που θα αναπτυχθεί για το 5G [34].

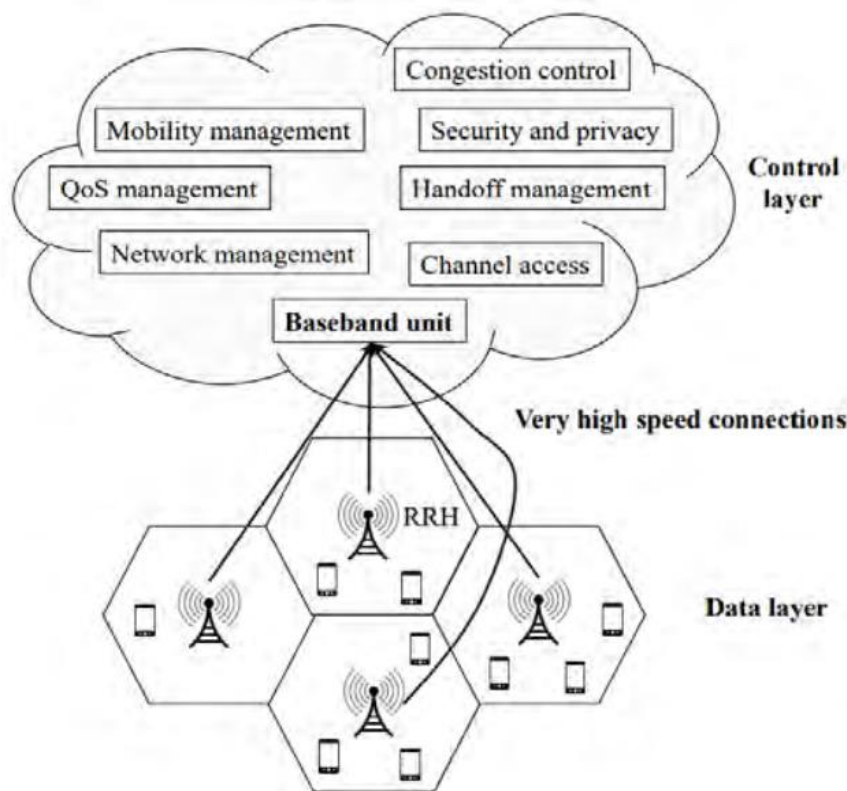
5GS Service Based Architecture (SBA)



Εικόνα 34: Γενική Αρχιτεκτονική Δικτύου Κορμού – Πηγή: Mollydpowellus.com

3.2.1 Cloud RAN (C-RAN)

Καθώς ο κλάδος των κινητών τηλεπικοινωνιών αναβαθμίζεται και είμαστε ένα βήμα πριν από το 5G, το μέγεθος της κυκλοφορίας των δεδομένων εκρήγνυται. Το ήδη υπάρχων Radio Access Network δεν είναι αρκετό για να καλύψει όλες αυτές τις ανάγκες. Για να μπορεί να ανταπεξέλθει και να είναι αποδοτικό το κινητό δίκτυο 5^{ης} γενιάς η ανάγκη για ένα πιο ανεπτυγμένο δίκτυο κορμού και ασύρματης πρόσβασης ήταν επιβεβλημένη. Στα πλαίσια αυτής της εξέλιξης δημιουργήθηκε το C-RAN (Cloud-based RAN). Ο κύριος στόχος και η βασική ιδέα του C-RAN, είναι η εκτέλεση των περισσότερων λειτουργιών ενός σταθμού βάσης στο Cloud, χωρίζοντας έτσι τη λειτουργία του σε ένα Control Layer και ένα Data Layer. Οι λειτουργίες που αφορούν το Control Layer εκτελούνται στο Cloud, ενώ οι λειτουργίες που αφορούν το Data Layer εκτελούνται στους σταθμούς βάσης. Ειδικότερα, ο κύριος σκοπός είναι ο διαχωρισμός των μονάδων επεξεργασίας των σημάτων (BBUs) από τους σταθμούς βάσης των σημερινών κυψελών και η μεταφορά τους στο Cloud προκειμένου να επιτευχθεί κεντρική επεξεργασία και διαχείριση των σημάτων. Είναι μία αρχιτεκτονική που είναι ζωτικής σημασίας για την υλοποίηση δικτύων 5G. Είναι μια τεχνολογία που η αρχιτεκτονική της βασίζεται στο clouding και χρησιμοποιεί τεχνικές εικονικοποίησης που συνδυάζονται με κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, αντικαθιστώντας τις μονάδες επεξεργασίας κατακεντρωμένου σήματος σε κινητή βάση σταθμών και μειώνοντας το κόστος ανάπτυξης πυκνών δικτύων κινητής τηλεφωνίας που βασίζονται σε small cells [34,35].



Εικόνα 35: Αρχιτεκτονική C-RAN – Πηγή: N. Panwar et al., 2015

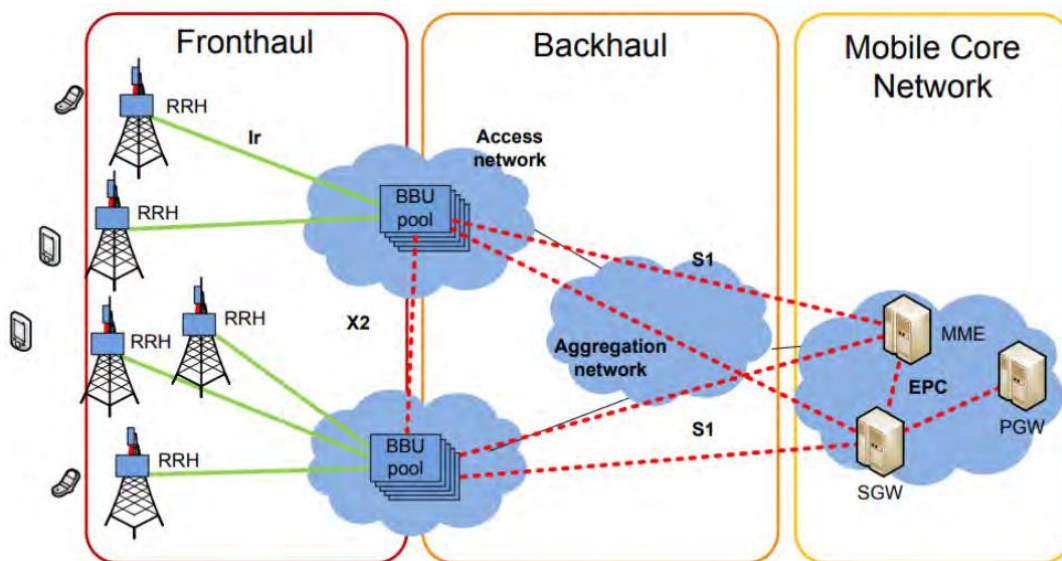
Το C-RAN μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος χρήσης και μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου διότι είναι αρκετά πιο φθηνό τόσο όσον αφορά το κόστος για εγκαταστάσεις όσο και το κόστος που αφορά τις λειτουργίες του. Είναι ιδιαίτερα ευεργετικό σε σενάρια δικτύου χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης. Θεωρείται αρκετά αποδοτικό καθώς είναι σε θέση να συνδυάσει τις ασύρματες τεχνολογίες με τις τεχνολογίες που αφορούν τον τομέα IT (Information Technology) με το να εντάξει την τεχνολογία του cloud computing στο κλασικό RAN. Η κεντρική αρχιτεκτονική cloud RAN παρέχει επίσης το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί αναδιάρθρωση του δικτύου μεταφορών δεδομένων. Άλλα πλεονεκτήματα του C-RAN είναι η δυνατότητα συγκέντρωσης πόρων, επαναχρησιμοποίησης υποδομών, απλούστευσης των λειτουργιών και διαχείρισης δικτύων, υποστήριξης πολλαπλών τεχνολογιών και μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Το δίκτυο γίνεται επίσης πιο ετερογενές, αυτο-οργανωτικό και ευέλικτο. Η αρχιτεκτονική C-RAN επιτρέπει στους χειριστές να εκτελούν ταυτόχρονα λειτουργίες RAN μαζί με άλλες λειτουργίες δικτύου, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να προσφέρουν πιο γρήγορα νέες υπηρεσίες μέσω του κινητού ευρυζωνικού δικτύου [36].

Μια αρχιτεκτονική C-RAN έχει τρία βασικά συστατικά: μια κεντρική μονάδα μονάδας βάσης (BBU), δίκτυα απομακρυσμένης ραδιοφωνικής μονάδας (RRU) και δίκτυο μεταφορών ή fronthaul [31]:

- **BBU pool:** Το BBU pool, που βρίσκεται σε μια κεντρική τοποθεσία, λειτουργεί ως cloud ή ως data center και είναι ο εγκέφαλος του δικτύου.

Αποτελεί τον κεντριοποιημένο χώρο των κοινόχρηστων υπολογιστικών πόρων όπου γίνεται ο έλεγχος και ο συντονισμός της λειτουργίας των κυψελών. Οι πολλαπλοί κόμβοι του BBU εκχωρούν δυναμικά τους πόρους σε RRU με βάση τις τρέχουσες ανάγκες δικτύου.

- **Remote Radio Heads (RRHs):** Τα RRH ή αλλιώς RRUs (Remote Radio Units) είναι τα μηχανήματα μέσω των οποίων ο τελικός χρήστης συνδέεται με το RAN και μέσω των οποίων η κίνηση στέλνεται προς επεξεργασία σε ένα σημείο συγκέντρωσης (Fronthaul Aggregation) το οποίο με τη σειρά του στέλνει όλα τα δεδομένα στις Baseband Units (BBU). Ουσιαστικά, πρόκειται για απλές κεραίες οι οποίες είναι σχεδιασμένες για να μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν παντού. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα RRHs μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση οποιουδήποτε τύπου κυψελοειδούς δικτύου (Picocell, Femtocell, Macrocell).
- **Fronthaul/transport network:** Με τη χρήση των οπτικών ινών, το fronthaul αποτελεί το στρώμα σύνδεσης μεταξύ BBU και RRHs, παρέχοντας συνδέσεις υψηλού εύρους ζώνης έτσι ώστε να είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις πολλαπλών RRHs.



Εικόνα 36: Βασικά Συστατικά C-RAN – Πηγή: Proftratnarajah.org

3.2.2 Network Function Virtualization

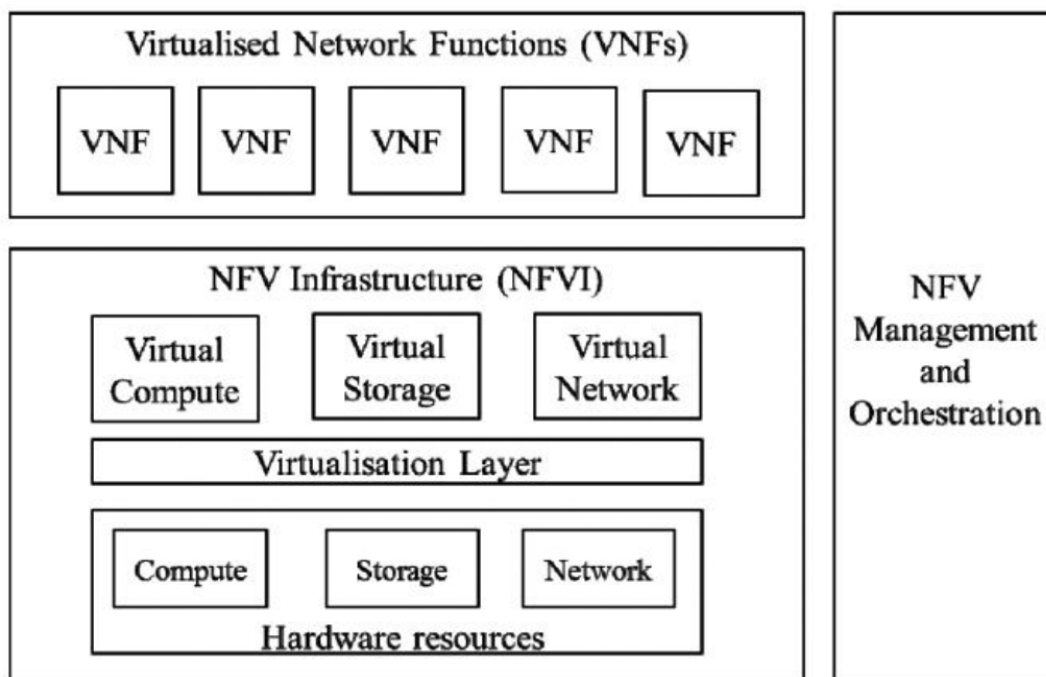
Όπως προαναφέραμε, η τεχνολογία που θα παίξει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των νέων δικτύων 5G πρόκειται να είναι η λεγόμενη εικονικοποίηση των λειτουργιών του δικτύου. Το Network Function Virtualization όπως λέγεται αποτελεί

μια προσπάθεια να εικονικοποιηθούν οι επιμέρους λειτουργίες των δικτύων οι οποίες μέχρι σήμερα διεξάγονται από εξειδικευμένες-αποκλειστικές συσκευές υλικού. Η βασική ιδέα του NFV είναι να διαχωρίσει τον φυσικό εξοπλισμό του δικτύου από τις λειτουργίες που εκτελούν. Πρωταρχικός στόχος της νέας τεχνολογίας είναι ο μετασχηματισμός των δικτύων σε ένα σύνολο από εξυπηρετητές (servers) μεγάλης κλίμακας οι οποίοι θα είναι ικανοί να εκτελέσουν τις λειτουργίες των συμβατικών συσκευών εν αντιθέσει με το σημερινό πρότυπο δικτύου το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών στοιχείων με ξεχωριστή λειτουργία το καθένα.

Χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες της εικονικοποίησης για να εικονικοποιήσει όλες τις κατηγορίες λειτουργιών κόμβου δικτύου σε δομικά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν για να δημιουργήσουν υπηρεσίες επικοινωνίας. Ειδικότερα, θα δίνεται η δυνατότητα αντικατάστασης των σημερινών στοιχείων ενός δικτύου, όπως είναι οι δρομολογητές (routers), μεταγωγείς (switches), τείχη προστασίας (firewalls), πύλες εικονικών ιδιωτικών δικτύων κλπ, με servers οι οποίοι θα πραγματοποιούν τις λειτουργίες των ανωτέρω αλλά και άλλων συσκευών, είτε κεντροποιημένα είτε κατακευματισμένα με τη χρήση του cloud. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του NFV είναι η διαθεσιμότητα του τόσο στα ενσύρματα όσο και στα ασύρματων δίκτυα δίχως να χρειάζεται να γίνει κάποια εγκατάσταση νέου εξοπλισμού. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να έχουμε μία πληθώρα εικονικών λειτουργιών που τις ονομάζουμε Virtual Network Functions, οι οποίες μπορούν να τρέξουν ανά πάσα στιγμή ως software μέσα σε κάποιον server. Έτσι δεν υπάρχει η ανάγκη για αγορά και εγκατάσταση επιπλέον υλικού. Έχει ως στόχο την υλοποίηση των λειτουργιών του δικτύου στο λογισμικό και την διευκόλυνση του μεγάλου όγκου κυκλοφορίας των τυπικών διακομιστών ενός δικτύου. Το NFV έχει ως βάση, αλλά διαφέρει σημαντικά από τεχνικές που χρησιμοποιούνταν μέχρι σήμερα για server-virtualization, δηλαδή ο διαχωρισμός ενός φυσικού server για πολλαπλούς μικρότερους ιδεατούς (virtual) servers με τη βοήθεια ενός virtualization software [37].

Η αρχιτεκτονική εικονικοποίησης δικτυακών λειτουργιών όταν εφαρμοστεί στο δίκτυο κορμού του 5G (Next Generation Core NGC) καθορίζει πώς οι εικονικές λειτουργίες μπορούν να χειρίζονται και να διαμοιράζονται τους φυσικούς πόρους και πιο συγκεκριμένα τους υπολογιστικούς πόρους αλλά και τους πόρους αποθήκευσης και δικτύωσης. Το ζήτημα για την ανάπτυξη του NFV ανέκυψε κυρίως από τους μεγαλύτερους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και οργανισμούς. Καθοριστικό ρόλο για αυτό έπαιξε η επιθυμία για περιορισμό των μεγάλων δαπανών σε δικτυακό υλικό και στην αντίστοιχη συντήρησή του, μειώνοντας τις ταμειακές εκροές προς τους προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Στην προσπάθεια για επίτευξη αυτού του στόχου η υιοθέτηση του NFV προβλέπεται αναγκαία έτσι ώστε να οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι να μην είναι εγκλωβισμένοι στις αγορές μεγάλου όγκου δικτυακών υποδομών [38]. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της τεχνολογίας NFV είναι το γεγονός πως υποστηρίζει την ετερογένεια των δικτύων που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη του 5G και επιπλέον είναι συμβατή με παλιότερες συσκευές και τεχνολογίες πράγμα που σημαίνει πως η υιοθέτησή της μπορεί να γίνει σταδιακά. Αξίζει να σημειωθεί πως θα απλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό η χρήση των μηχανημάτων και θα αξιολογούνται αποδοτικότερα οι πόροι των δικτύων όπως πχ οι συσκευές, η ενεργειακή

κατανάλωση κ.α. Είναι πλέον σαφές πως το NFV θα αλλάξει τη δομή και τη λειτουργία των σημερινών δικτύων, ενώ αναμένεται από κοινού με το Software Defined Networking (SDN) να αποτελέσουν ένα από τα επόμενα εργαλεία του κλάδου των ICT παίζοντας πολύ σημαντικό ρόλο στα δίκτυα 5G. Το NFV θα παίζει καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό των δικτύων 5ης γενιάς τόσο όσο αφορά το Δίκτυο Κορμού όσο και το Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης. Τέλος, η αξιοποίηση του NFV ενδεχομένως να ταραξεί τις ισορροπίες στον ευρύτερο κλάδο των Τηλεπικοινωνιών διεθνώς διότι θα δημιουργηθούν ευνοϊκές συνθήκες για τη δυναμική επέκταση μικρών εταιρειών καθώς η εκμετάλλευση νέων τεχνολογιών σε επίπεδο λογισμικού θα δημιουργήσει ευελιξία σε σχέση με τις εταιρίες κολοσσούς του κλάδου [39].



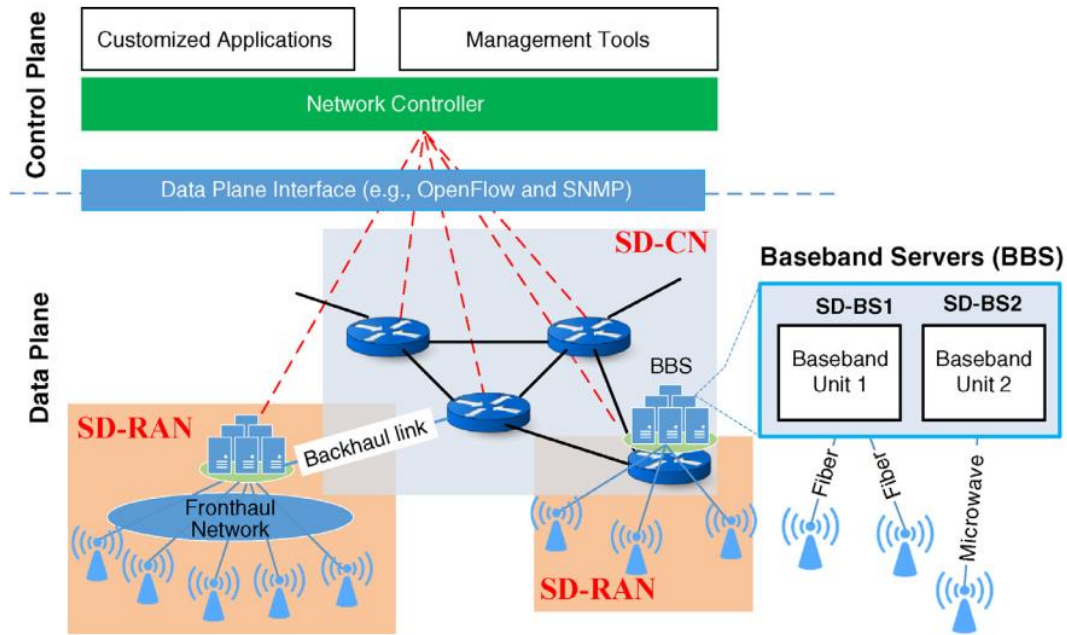
Εικόνα 37: Αρχιτεκτονική NFV – Πηγή: Fir3net.com

3.2.3 Software Defined Networks (SDN)

Οι στόχοι και οι απαιτήσεις που έχουν τεθεί για τα 5G δίκτυα προϋποθέτουν την εισαγωγή νέων τεχνολογιών αναφορικά με τη διαχείριση και το σχεδιασμό του δικτύου. Το SDN (Προγραμματιζόμενα Δίκτυα Λογισμικού) αποσκοπεί να αντιμετωπίσει τη στατική αρχιτεκτονική των παραδοσιακών δικτύων που είναι αποκεντρωμένη, ενώ τα μελλοντικά δίκτυα απαιτούν μεγαλύτερη ευελιξία και ευκολότερη αντιμετώπιση προβλημάτων. Το SDN επιτρέπει τη δυναμική αναδιάταξη στοιχείων δικτύου σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας τη δυνατότητα στα δίκτυα 5G, να ελέγχονται από το λογισμικό και όχι από το υλικό, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα του δικτύου, την συνολική απόδοση και την ποιότητα της υπηρεσίας. Πρόκειται για μια τεχνολογία που προσεγγίζει αρκετά το cloud computing, διευκολύνει τη διαχείριση του δικτύου και επιτρέπει τον προγραμματισμό των ρυθμίσεων του δικτύου έτσι ώστε να έχουμε βελτιωμένη ταχύτητα και καλύτερη παρακολούθηση. Είναι η γέφυρα για το network

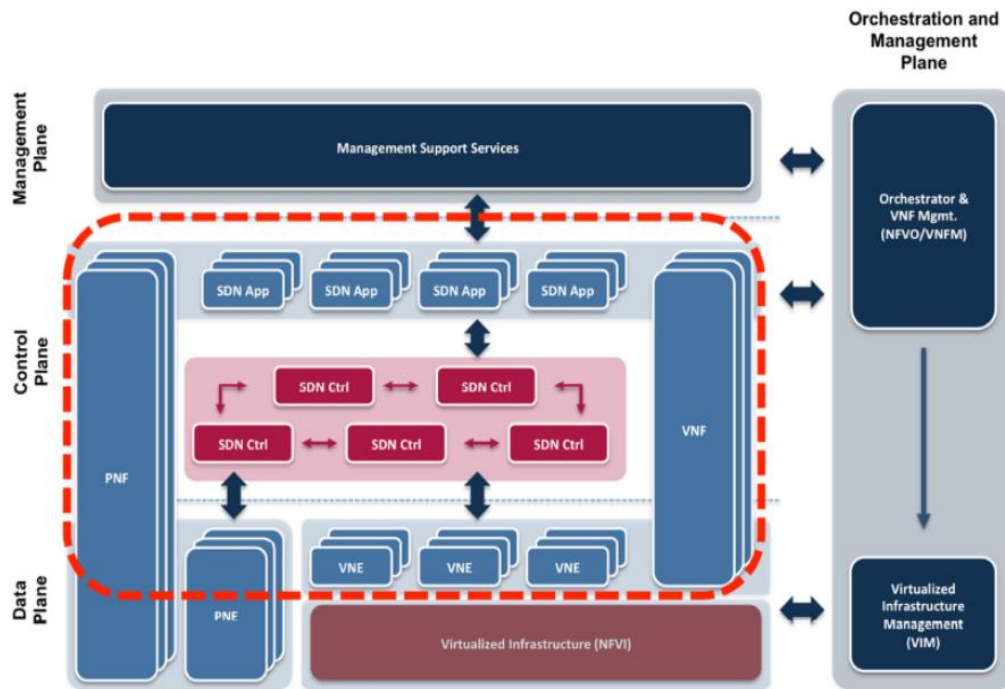
virtualization που επιδιώκει να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους δικτυακούς πόρους και να προσαρμόσει τα δίκτυα στις όλο και αυξανόμενες ανάγκες των επιχειρήσεων. Η λειτουργία του επιτυγχάνεται με τον διαχωρισμό του control plane (επίπεδο ελέγχου) από το data plane (επίπεδο δεδομένων) δημιουργώντας έτσι μια software-programmable υποδομή. Τονίζουμε ότι το control plane είναι υπεύθυνο λειτουργίες όπως το routing του δικτύου ενώ το data plane είναι υπεύθυνο για την προώθηση των πακέτων του δικτύου ανάλογως με τις εντολές που λαμβάνουν από το control plane [40].

Είναι η γέφυρα για το NFV (network virtualization) που επιδιώκει να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους δικτυακούς πόρους και να προσαρμόσει τα δίκτυα στις όλο και αυξανόμενες ανάγκες των επιχειρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή του SDN προσφέρει προγραμματισιμότητα, ευκολία αλλαγών, και δυνατότητες εικονικών δικτύων. Οι SD-μεταγωγείς (Software Defined Switches) μπορούν να επαναπρογραμματίζονται στη λειτουργία με το να τους ανατίθενται δυναμικά δικτυακοί πόροι. Οι συνέπειες αυτού έχουν να κάνουν με την μείωση της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα και κατ' επέκταση τη μείωση των σφαλμάτων. Επιπροσθέτως, διευκολύνεται η εγκατάσταση, η συντήρηση αλλά και η αναβάθμιση του δικτύου. Ένα ακόμα όφελος είναι και η δυνατότητα, δημιουργίας νέων εφαρμογών χωρίς την ανάγκη για υψηλές επενδύσεις από την πλευρά του παρόχου. Συνεπώς θα επιτευχθεί, τόσο η μείωση του κεφαλαιακού κόστους όσο και η μείωση του κόστους για συντήρηση του δικτύου. Συμπεραίνουμε πως η SDN τεχνολογία επιχειρεί να συγκεντρώσει τη λειτουργία του δικτύου σε ένα στοιχείο αποσυνδέοντας τη διαδικασία προώθησης πακέτων δικτύου (επίπεδο δεδομένων-data plane) από τη διαδικασία δρομολόγησης (επίπεδο ελέγχου- control plane). Το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές οι οποίοι θεωρούνται ως ο εγκέφαλος του δικτύου SDN όπου ενσωματώνεται ολόκληρη η νοημοσύνη. Ωστόσο, η συγκέντρωση πληροφοριών έχει τα δικά της μειονεκτήματα όταν πρόκειται για την ασφάλεια, την επεκτασιμότητα και την ελαστικότητα [41].



Εικόνα 38: Αρχιτεκτονική SDN – Πηγή: Cse.wustle.edu

Τα οφέλη της τεχνολογίας SDN θα είναι ακόμη πιο εμφανή σε συνδυασμό με τις άλλες τεχνολογίες, δηλαδή το C-RAN και το NFV. Ο προγραμματισμός του δικτύου που παρέχεται από το SDN επιτρέπει την προσαρμογή και βελτιστοποίηση διαφόρων τομέων/φετών δικτύου όπως θα δούμε παρακάτω για διαφορετικές υλοποιήσεις υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας την ίδια φυσική και λογική υποδομή του δικτύου. Επιπλέον, διαχωρίζοντας τις λειτουργίες του δικτύου από τις φυσικές συσκευές, το NFV επιτρέπει μια λειτουργία δικτύου να εφαρμοστεί σε λογισμικό είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα σε data centers. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η δυνατότητα κλιμάκωσης του δικτύου, πράγμα που επιτρέπει τη βέλτιστη οργάνωση και τον διαρκή έλεγχο και συντονισμό ολόκληρου του δικτύου. Το σημαντικότερο όφελος που επιφέρει το NFV, ίσως είναι η ευελιξία να εκτελούνται και να βελτιώνονται οι λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου έγκαιρα και ανεξάρτητα από την υποκείμενη φυσική υποδομή του δικτύου. Οι τεχνολογίες αυτές υλοποιούνται σε ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα μέσω διαφόρων πτυχών, προετοιμάζοντας και εφοδιάζοντας τα κυψελοειδή δίκτυα με την απαραίτητη ευελιξία για να εξελιχθούν και να προσαρμοστούν σύμφωνα με τις αυξημένες απαιτήσεις των δικτύων 5G [42].



Εικόνα 39: Συνδυασμός SDN & NFV – Πηγή: Go.gale.com

3.2.4 Network Slicing

Ως network slicing (ή αλλιώς τεμαχισμός δικτύου) ορίζεται ο συνδυασμός κάποιων λειτουργιών του δικτύου, εφαρμογών του δικτύου καθώς και της cloud υποδομής (physical, virtual κτλ.) οι οποίες συντελούν ώστε να δημιουργηθεί ένα εξατομικευμένο δίκτυο με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (latency, bandwidth, security κτλ.) για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση κάποιας απαιτούμενης λειτουργίας ή εφαρμογής. Το network slicing πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει στους παρόχους δικτύου να χτίσουν πολλά εικονικά δίκτυα πάνω σε μια κοινή υποδομή έτσι ώστε να μπορούν να παρέχονται υπηρεσίες με ταχύτητα, ευελιξία καθώς και ελαστικότητα ανάλογα με τις προδιαγραφές τους. Ουσιαστικά, ο τεμαχισμός δικτύου επιτρέπει τη διαίρεση ενός φυσικού δικτύου σε πολλά εικονικά δίκτυα (λογικά τμήματα) που μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικούς RAN ή αρκετούς τύπους υπηρεσιών για ορισμένα τμήματα πελατών, μειώνοντας σημαντικά το κόστος κατασκευής του δικτύου, χρησιμοποιώντας τα κανάλια επικοινωνίας πιο αποτελεσματικά [34].

Ο τεμαχισμός δικτύου είναι η καλύτερη απάντηση των παροχών κινητής τηλεφωνίας σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας και διαχείρισης ενός δικτύου, το οποίο πληροί και υπερβαίνει τις αναδυόμενες απαιτήσεις από ένα ευρύ φάσμα πελατών και επιχειρήσεων. Έχει προταθεί ως η βασική λύση που θα μπορέσει να επιφέρει την αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης δικτύων, πόρων και παροχής καλύτερων υπηρεσιών προκειμένου να μπορέσουν να παρέχονται αξιόπιστες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν περιορισμένους πόρους δικτύου μειώνοντας παράλληλα τις κεφαλαιουχικές δαπάνες και το λειτουργικό κόστος των δικτύων 5G. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η

μετατροπή του σε ένα σύνολο λογικών δικτύων πάνω από μια κοινόχρηστη υποδομή. Ουσιαστικά, ένα τεμάχιο δικτύου είναι ο συνδυασμός κάποιων λειτουργιών του δικτύου, εφαρμογών του δικτύου καθώς και της cloud υποδομής τα οποία συντελούν στο να δημιουργηθεί ένα προφίλ δικτύου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (bandwidth, latency, processing, security κτλ.) για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση κάποιας απαιτούμενης λειτουργίας ή εφαρμογής. Πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει στους παρόχους δικτύου να χτίσουν πολλά εικονικά δίκτυα πάνω σε μια κοινή υποδομή έτσι ώστε να μπορούν να παρέχονται υπηρεσίες με ταχύτητα καθώς και ελαστικότητα όσον αφορά τις προδιαγραφές τους. Επομένως γίνεται αντιληπτό πως αντί να έχουμε μια πληθώρα διαφορετικών δικτυακών υποδομών για την εξυπηρέτηση των αναγκών του κάθε πελάτη, θα έχουμε κοινή φυσική υποδομή, όπως το υλικό, η επεξεργασία, η αποθήκευση, το backhaul δίκτυο, χρησιμοποιώντας ένα εικονικό δίκτυο.

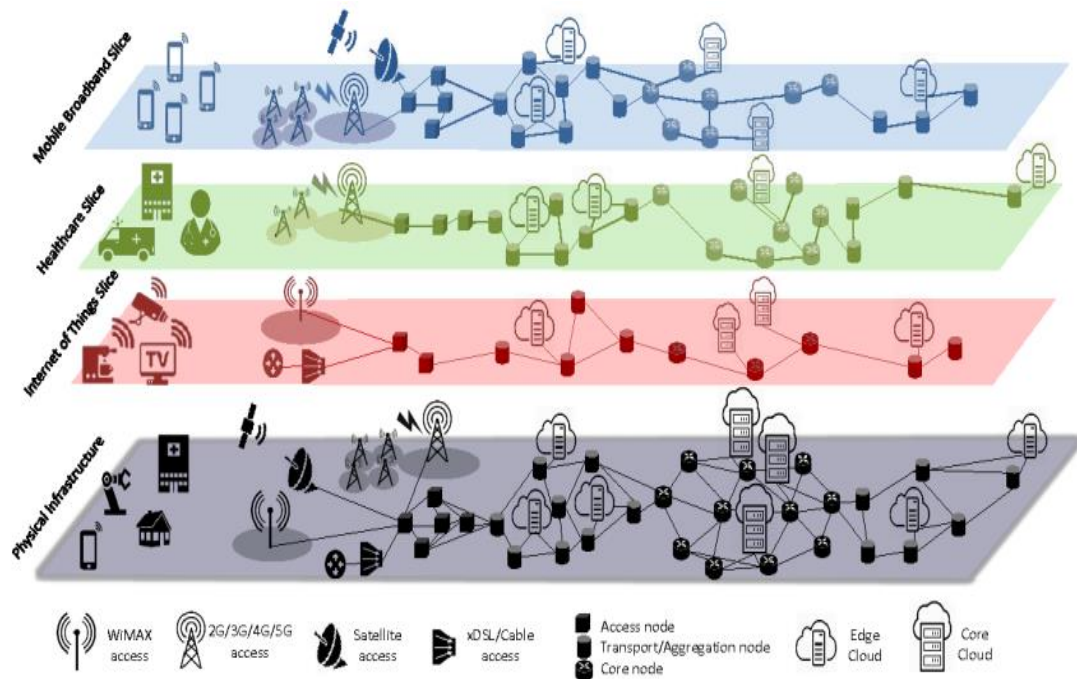
Γνωρίζοντας ότι οι απαιτήσεις όσον αφορά το δίκτυο είναι διαφορετικές από χρήστη σε χρήστη, το network slicing μπορεί να δώσει μια αποδοτική λύση όντας μια υπηρεσία προσαρμοσμένη στα μέτρα του κάθε χρήστη, ικανοποιώντας όλες του τις ανάγκες στο κομμάτι της κινητής τηλεφωνίας έχοντας πιο αποδοτική προσέγγιση από αυτή που είχαμε μέχρι τώρα. Έτσι ορισμένες εφαρμογές που απαιτούν υψηλό ρυθμό δεδομένων ο οποίος μέχρι τώρα δεν υπήρχε ή δεν ήταν διαθέσιμος συνεχώς εξαιτίας της φύσης του 4G δικτύου, τώρα θα μπορούν να λειτουργούν σωστά και αποδοτικά λόγω του network slicing. Τέλος, ένας σύντομος ορισμός που έχει δοθεί από το 3GPP σύμφωνα είναι πως το network slicing είναι μία τεχνολογία που επιτρέπει στον operator να δημιουργεί δίκτυα, τα οποία να μπορεί να μετατρέψει και διαμορφώσει όπως αυτός επιθυμεί ώστε να μπορούν αυτά στη συνέχεια να είναι βέλτιστα όσον αφορά την επίλυση προβλημάτων και ζητημάτων για διάφορα σενάρια π.χ. την λειτουργικότητα, την απόδοση που θα έχουν σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης των 5G δικτύων όπως πχ η τηλεϊατρική, τα αυτόνομα οχήματα, online παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality Gaming) κλπ..

Ο τεμαχισμός του δικτύου χρησιμοποιεί την εικονικοποίηση του δικτύου όπου επιτρέπει ευέλικτη και δυναμική διαχείριση του δικτύου με το να αφήνει πολλαπλές ετερογενείς και εικονικές υπηρεσίες δικτύων να χρησιμοποιούν από κοινού ένα δικτυακό υπόστρωμα. Ουσιαστικά δηλαδή χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες NFV και SDN που σχολιάστηκαν παραπάνω για να σχεδιάσει, διαμοιράσει, οργανώσει και βελτιστοποιήσει την επικοινωνία και τους πόρους μιας φυσικής υποδομής σε πολλά ιδεατά δίκτυα προκειμένου να μπορεί να παρέχει ποικιλία υπηρεσιών. Η ανάπτυξη του network slicing αποτελείται από δύο φάσεις [43]:

1. Creation (δημιουργία) και
2. Runtime (χρόνος εκτέλεσης)

Στην πρώτη φάση, δηλαδή στη δημιουργία του slice, ο τελικός χρήστης ζητάει ένα slice από έναν κατάλογο που έχει διαθέσιμα slices και ο πάροχος-ενοικιαστής εκχωρεί αυτό το κομμάτι στον χρήστη. Στην δεύτερη φάση, διαφορετικά λειτουργικά μπλοκ παρέχουν ακριβώς αυτές τις υπηρεσίες τις οποίες απαιτεί ο χρήστης μέσω των slices. Να τονιστεί πως κάθε πόρος του δικτύου, δηλαδή το NFV και οι λειτουργίες που

βρίσκονται μέσα σε ένα συγκεκριμένο slice, θα πρέπει να έχουν τους δικούς τους μηχανισμούς ασφαλείας και πρέπει να φέρουν εγγύηση για τη σωστή λειτουργία τους εντός των αναμενόμενων παραμέτρων και απαιτήσεων, προκειμένου να αποτραπεί η πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών και οντοτήτων. Αυτό θα οδηγήσει στον περιορισμό των επιθέσεων σε κάποιο slice ή σε ένα κομμάτι δικτύου χωρίς να έχει επιπτώσεις και στα υπόλοιπα.



Εικόνα 40: Τεχνολογία Network Slicing – Πηγή: IEEE Communications Magazine

Τα slices του δικτύου λειτουργούν σε μία μερικώς κοινόχρηστη υποδομή η οποία αποτελείται από hardware εξειδικευμένο για αυτήν π.χ. στοιχεία δικτύου στο RAN, καθώς και διαμοιραζόμενο hardware π.χ. πόρους NFVI. Οι λειτουργίες αυτές του δικτύου που εκτελούνται σε διαμοιραζόμενους πόρους συνήθως δημιουργούνται σύμφωνα με έναν εξατομικευμένο τρόπο για κάθε slice, ωστόσο αυτή η προσέγγιση δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις λειτουργίες του δικτύου που βασίζονται σε εξειδικευμένο hardware. Επομένως ο σχεδιασμός και ο εντοπισμός των κοινών λειτουργιών είναι μια από τις βασικές κατευθύνσεις της έρευνας που πραγματοποιείται για το network slicing [43].

Υπάρχουν 2 διαφορετικά σενάρια χρήσης του network slicing στα δίκτυα επικοινωνιών.

✓ *Network slicing για τους σκοπούς του QoS(Quality of Service).*

✓ *Network slicing για τους σκοπούς της κοινής χρήσης υποδομών.*

Slicing για QoS: Η βασική ιδέα είναι η δημιουργία διάφορων slices για να προσφέρουν διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες και να εξασφαλίσουν

συγκεκριμένους τύπους απαιτήσεων QoS μέσα στο συγκεκριμένο slice. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου slicing, μπορεί να είναι ένα slice, το οποίο έχει δημιουργηθεί με σκοπό να προσφέρει υπηρεσίες σε μια συγκεκριμένη ομάδα συσκευών που έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις QoS, όπως χρήση ευρυζωνικής σύνδεσης για live video streaming σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης για ιατροφαρμακευτική περίθαλψη.

Slicing για κοινή χρήση υποδομής: Η βασική ιδέα του είναι η εικονοποίηση συγκεκριμένης υποδομής του RAN για την κοινή χρήση του από διάφορους διαχειριστές δικτύων. Αναλυτικότερα, υπάρχει ένας ιδιοκτήτης του slice και ένας ενοικιαστής. Ο ιδιοκτήτης δίνει ένα slice σε έναν ενοικιαστή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ενοικιαστή. Ο ενοικιαστής έχει το γενικό έλεγχο τόσο στις λειτουργίες όσο και στην υποδομή του slice. Με αυτό τον τρόπο, το network slicing οδηγεί στη βελτιστοποίηση του δικτύου καθώς και στη μείωση κόστους εξόδων και παράλληλα στην δυνατότητα επεκτασιμότητας του δικτύου.

Σκοπός του network slicing στα δίκτυα 5G είναι να επιτρέψει στους φορείς εκμετάλλευσης να μοιράζονται τις υποδομές μεταξύ τους με ευέλικτο και δυναμικό τρόπο και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους πόρους ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών τους, ουσιαστικά να αποφεύγεται η δημιουργία ενός καινούργιου δικτύου, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του CAPEX και στην εξοικονόμηση χρόνου.

3.3 Αρχιτεκτονική Backhaul

Τα δίκτυα Backhaul συνδέουν το ασύρματο δίκτυο (RAN) με το κεντρικό δίκτυο (CN). Η εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα, οι πολύ γρήγορες ταχύτητες και οι απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης απόκρισης, απαιτούν ένα δίκτυο backhaul το οποίο να είναι ανα πάσα ώρα και στιγμή ικανό να ανταποκριθεί με επιτυχία σε αυτήν την αποστολή. Οι οπτικές ίνες θεωρούνται συχνά ο πιο κατάλληλος τύπος backhaul δικτύου από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας λόγω της μακροβιότητας, της μεγάλης χωρητικότητας, της υψηλής αξιοπιστίας και της ικανότητας υποστήριξης πολύ υψηλής κίνησης και ταχύτητας στο δίκτυο.

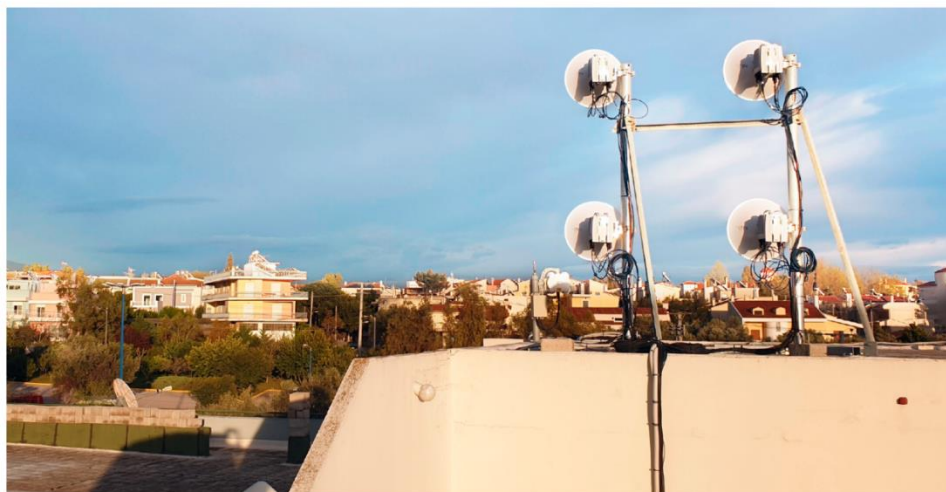
Ωστόσο, η κάλυψη δικτύου οπτικών ινών δεν είναι παρούσα σε όλες τις πόλεις όπου αναμένεται αρχικά να ξεκινήσει το 5G και ακόμη λιγότερο σε προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Η οικοδόμηση νέων δικτύων οπτικών ινών στις περιοχές αυτές μπορεί συχνά να είναι απαγορευτική όσον αφορά το κόστος για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα χαρτοφυλάκιο ασύρματων τεχνολογιών backhaul εκτός από τις ίνες, το οποίο μπορεί να συμπεριλαμβάνει τις ασύρματες μικροκυματικές ζεύξεις καθώς και την τεχνολογία χλιοστομετρικών κυμάτων (mmWave). Αυτές οι point-to-multipoint (PMP) ζεύξεις είναι ικανές για ροή δεδομένων της τάξης του 1Gbit/s και καθυστέρηση μικρότερης του 1ms σε απόσταση 2-4 χιλιομέτρων. Όσον αφορά την περίπτωση του backhaul με mmwaves (E-Band -71-76 Ghz & 81-86Ghz) πρέπει να τονίσουμε πως έχουν ακόμα μικρότερη καθυστέρηση από τις απλές μικροκυματικές ζεύξεις και πως έχουν

δυνατότητα για ροή δεδομένων που φτάνουν τα 10 Mbps. Επιπλέον, συνιστά μια πιο συμβατική λύση σε σχέση με την περίπτωση της οπτικής ίνας λόγω μικρότερου κόστους, μεγαλύτερης ευελιξίας και ευκολίας [34].

Ενώ η μεγαλύτερη έμφαση δίδεται στην επίγεια τεχνολογία, θα μπορούσαμε να υπογραμμίσουμε και τη σημασία του ρόλου που παίζουν οι δορυφορικές επικοινωνίες και πιο συγκεκριμένα συστήματα όπως οι πλατφόρμες μεγάλου υψομέτρου (HAPS) όπου ουσιαστικά είναι πλατφόρμες που αιωρούνται ή πετούν σε μεγάλα ύψη, σαν συμβατικά αεροσκάφη, αλλά λειτουργούν περισσότερο σαν δορυφόροι. Τα συστήματα HAPS και άλλα δορυφορικά συστήματα μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων ($> 100 \text{ Mbit / s} - 1 \text{ Gbit / s}$) αποσκοπώντας στο να συμπληρώσουν τα επίγεια ασύρματα δίκτυα backhaul εκτός μεγάλων αστικών /προαστιακών περιοχών. Το HAPS και οι δορυφόροι μπορεί να ενσωματωθούν και να λειτουργήσουν σε συνεργασία με άλλα δίκτυα παρα να λειτουργούν ως αυτόνομες μονάδες, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα εξυπηρέτησης των δικτύων 5G και αντιμετωπίζοντας μερικές από τις μείζονες προκλήσεις αναφορικά με την αύξηση της κυκλοφοριακής κίνησης δεδομένων στα πολυμέσα, την πλήρη κάλυψη του δικτύου, την επικοινωνία μεταξύ των μηχανημάτων και άλλα κρίσιμα τηλεπικοινωνιακά ζητήματα [34].

Συνοπτικά, μια ρεαλιστική στρατηγική για το 5G backhaul δίκτυο είναι πιθανό να αποτελείται από ένα μεγάλο χαρτοφυλάκιο τεχνολογιών. Κάθε προσέγγιση, πρέπει να εξεταστεί με βάση τα δικά της πλεονεκτήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες απόδοσης, των ήδη διαθέσιμων υποδομών και της πιθανής απόδοσης των επενδύσεων που θα πραγματοποιηθούν.

A 100Gbps hop at OTE Academy in Athens, Greece, stretching over 1.5km towards OTE headquarters

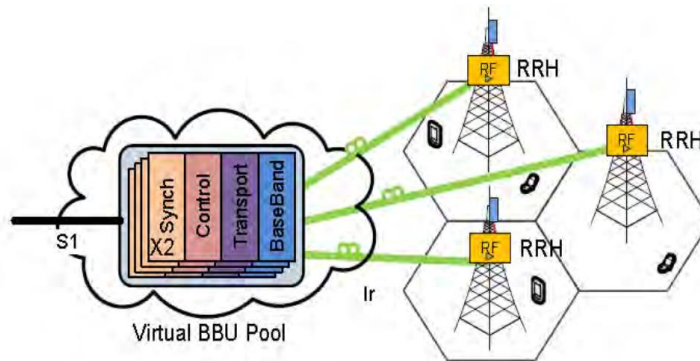


Εικόνα 41: E-Band μικροκυματικές ζεύξεις στην Αθήνα για backhaul χρήση – Πηγή: Telekom.com

3.4 Αρχιτεκτονική Fronthaul

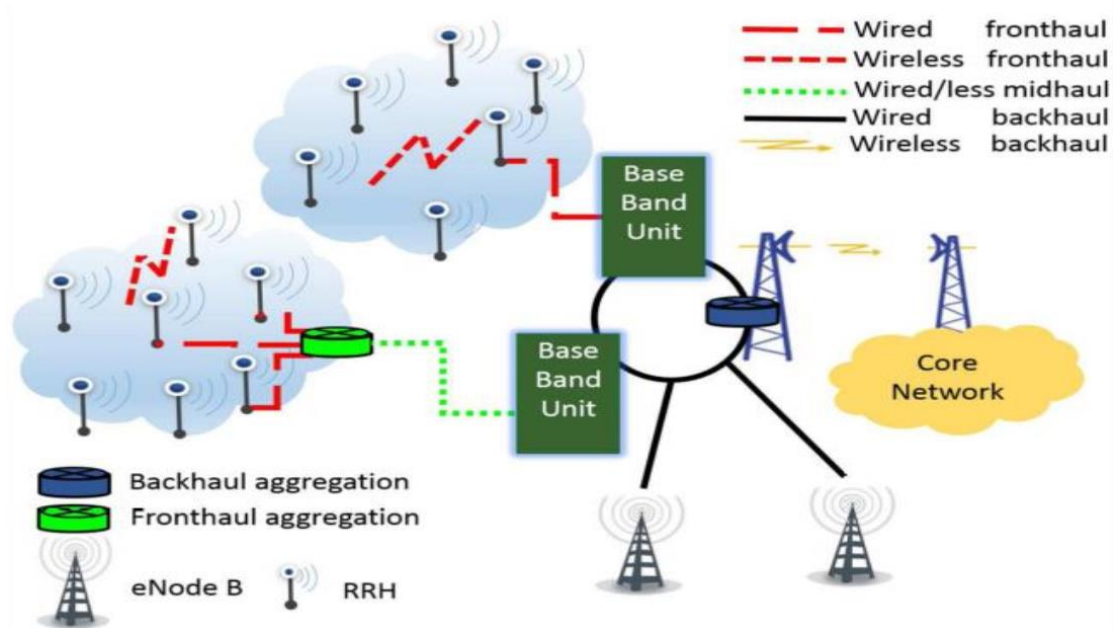
Σύμφωνα με την ITU, ως fronthaul ορίζεται η διαδρομή δικτύου μεταξύ των κεντρικών ραδιοελεγκτών (Baseband Units – BBUs) και των απομακρυσμένων ραδιο-

μονάδων (RRU-Remote radio Units) ενός σταθμού βάσης, δηλαδή είναι το κομμάτι της σύνδεσης μεταξύ των RRUs και των BBUs . Όπως είδαμε και πιο πάνω, ένα από τα σενάρια αρχιτεκτονικής που θα επικρατήσουν στο 5G έχει να κάνει με το C-RAN και για αυτό αναλόγως θα αναλυθεί και το κομμάτι του δικτύου που ονομάζεται Fronthaul. Σύμφωνα με αυτήν την αρχιτεκτονική για τα 5G δίκτυα, όλη η κίνηση θα εξυπηρετείται από τους RRHs (ή RRUs αλλιώς – Remote radio Units) οι οποίοι RRHs θα στέλνουν την κίνηση προς επεξεργασία και δρομολόγηση σε ένα σημείο συγκέντρωσης το οποίο ονομάζεται Fronthaul Aggregation και το οποίο με τη σειρά του, θα στέλνει όλα τα δεδομένα στις Baseband Units–BBUs.



Εικόνα 42: Απεικόνιση Fronthaul Δικτύου – Πηγή: Itnspotlight.com

Η κατανομή περισσότερων λειτουργιών επεξεργασίας στην RRU θα έχει ως αποτέλεσμα την χαλάρωση των απαιτήσεων καθυστέρησης και εύρους ζώνης από το κεντρικό δίκτυο. Είναι κρίσιμο το γεγονός ότι η νέα αρχιτεκτονική λειτουργικού διαχωρισμού λαμβάνει υπόψη την απόδοση τεχνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών όπως είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου, η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και η σωστή λειτουργικότητα. Δεδομένου του κόστους εγκατάστασης όλων αυτών των κεραιών να είναι σαφώς μεγαλύτερο από το να εγκαταστήσεις πολλές μικρές κεραιές (RRHs) χωρίς τόσο μεγάλη υπολογιστική ευφυΐα, είναι πιο αποδοτικό πλέον να διαχωρίσουμε το δίκτυο σε μια τέτοιου είδους λογική. Παρακάτω, ακολουθούν εικόνες οι οποίες σκιαγραφούν τη δομή του Fronthaul και του Backhaul δικτύου στο 5G [34,42].



Εικόνα 43: Δομή Fronthaul & Backhaul Δικτύου – Πηγή: IEEE Access

3.5 Standalone (SA)/Non Standalone(NSA) 5G NR

Στα 5G δίκτυα θα είναι δυνατή η ενσωμάτωση στοιχείων διαφορετικών γενιών στις δύο εναλλακτικές διατάξεις του δικτύου χάρη στην τεχνολογική ωριμότητα και τη μείωση του ρίσκου επενδύσεων σε σχέση με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς. Το 5G σε αντίθεση με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης στοιχείων από τις προηγούμενες γενιές. Ο οργανισμός 3GPP προδιαγράφει ένα νέο δίκτυο κορμού 5G (5GCoreNetwork) αλλά και μια νέα τεχνολογία ραδιοπρόσβασης που ονομάζεται NewRadio (NR). Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 2 τύποι υλοποίησης του 5G, το Non Standalone σύμφωνα με το οποίο το δίκτυο 5G δεν είναι αυτόνομο αλλά χρησιμοποιεί υφιστάμενες υποδομές του 4G LTE για να ενεργοποιηθεί και το Standalone που σημαίνει ότι το δίκτυο πέμπτης γενιάς υλοποιείται αυτόνομα με το δικό του δίκτυο κορμού. Η SA αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί μόνον μια τεχνολογία ραδιοπρόσβασης, ενώ η NSA εκμεταλλεύεται περισσότερες.

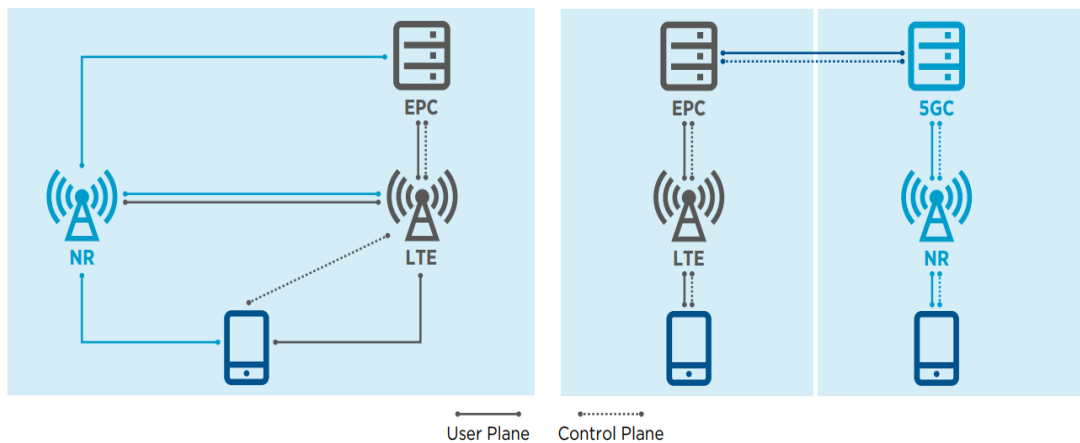
Στα αρχικά στάδια, το 5G NR θα κυκλοφορήσει κάνοντας χρήση της υπάρχουσας υποδομής 4G LTE σε διάταξη λειτουργίας NSA (non-stand-alone-mode), δηλαδή το λογισμικό 5G NR θα κάνει χρήση του εξοπλισμού LTE προτού ωριμάσει η διάταξη SA (stand-alone-mode) όπου το λογισμικό 5G NR θα εγκαθίσταται πάνω στον ασύρματο εξοπλισμό (radio hardware) 5G NR και στο 5G core network.

Οι περισσότερες υλοποιήσεις 5G δικτύων μέχρι στιγμής ήταν υλοποιήσεις NSA. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όλα αυτά τα δίκτυα 5G έχουν προστεθεί σε υπάρχουσα υποδομή 4G. Η διαμόρφωση NSA είναι η πιο κατάλληλη για παροχή βελτιωμένων κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένου ότι η NR μπορεί να λειτουργήσει ως επικάλυψη χωρητικότητας στο δίκτυο 4G, συμπληρώνοντας τις υπάρχουσες υποδομές δικτύου. Το 4G και τα δίκτυα πρόσβασης θα χρειαστούν αναβαθμίσεις για την υποστήριξη 5G NSA οι οποίες θα αφορούν το λογισμικό καθώς

και νέο hardware υλικό για την υποστήριξη νέων ζωνών συχνοτήτων 5G. Αναφορικά με τη χρήση της αρχιτεκτονικής SA 5G, πρέπει να τονίσουμε πως επιτρέπει στους χειριστές να εκμεταλλεύονται πλήρως τα χαρακτηριστικά του NR καθώς και τις δυνατότητες του νέου πυρήνα αρχιτεκτονικής του δικτύου. Αυτό θα περιλαμβάνει τον τεμαχισμό του δικτύου (πολλαπλά εικονικά δίκτυα σε ένα φυσικό δίκτυο), καθώς και εξαιρετικά αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης μετάδοση. Αυτό το σύνολο δυνατοτήτων κάνει μια ανάπτυξη SA περισσότερο κατάλληλη για την αντιμετώπιση των νέων απαιτήσεων των επιχειρήσεων και τη δημιουργία νέων καινοτόμων εφαρμογών. Η πλήρης ανάπτυξη αυτόνομου συστήματος 5G, θα απαιτήσει νέες επενδύσεις και ανάληψη κρίσιμων αποφάσεων για την αγορά έτσι ώστε να είναι σε ετοιμότητα. Τόσο η ανάπτυξη της NSA όσο και της SA είναι πιθανό να συνυπάρχουν μακροπρόθεσμα μέχρις ότου δημιουργηθεί ένα πλήρες αυτόνομο δίκτυο 5G [20].

NSA CONFIGURATION (OPTION 3). NR CONNECTED TO, AND CONTROLLED BY EXISTING 4G CORE NETWORK

SA CONFIGURATION (OPTION 2). NR CONNECTS TO THE 5G CORE ONLY. THE STANDALONE 5G SYSTEM INTERWORKS AT CORE NETWORK LEVEL WITH LEGACY 4G SYSTEM

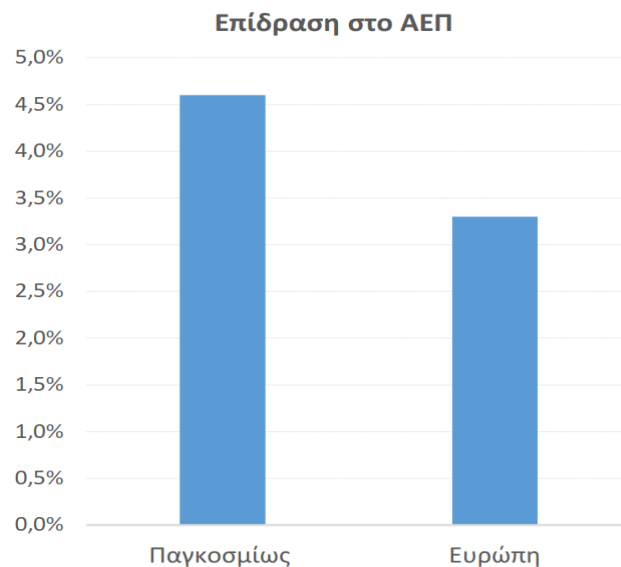


Εικόνα 44: Διάταξη Non Standalone vs Standalone – Πηγή: GSMA

4 Τα Οφέλη σε Κοινωνικοοικονομικό Επίπεδο και ο Δείκτης Ετοιμότητας του 5G για την Ευρώπη

4.1 Στοιχεία του κλάδου κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως

Οι κινητές επικοινωνίες αποτελούν καταλυτικό συντελεστή της οικονομικής ανάπτυξης και της κοινωνικής ευμάρειας διεθνώς. Μελέτες δείχνουν ότι στο τέλος του 2018 τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα κάλυπταν το 90% του παγκόσμιου πληθυσμού ενώ περίπου 5 δισεκ. άνθρωποι σε όλο τον κόσμο είναι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας. Παράλληλα η πληθυσμιακή κάλυψη με το δίκτυο 3G αυξήθηκε από 81% σε 90% (επιπλέον 900 εκατ. άτομα), ενώ η κάλυψη του δικτύου τέταρτης γενιάς αυξήθηκε από 53% σε περίπου 80% (επιπλέον 2 δισεκ. πληθυσμός) μεταξύ 2015 και 2018. Η συνολική συνεισφορά των κινητών επικοινωνιών εκτιμάται σε \$3,9 τρισεκ. παγκοσμίως (ή 4,6% του ΑΕΠ) το 2018 και προέρχεται από τις υπηρεσίες του κλάδου, άλλα και από ευρύτερες επιδράσεις που σχετίζονται με τη βελτίωση της παραγωγικότητας σε άλλους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας.



Εικόνα 45: Επίδραση του κλάδου κινητών επικοινωνιών στο ΑΕΠ διεθνώς και στην Ευρώπη – Πηγή: GSMA

Αναφορικά με τη διείσδυση των κινητών επικοινωνιών στην Ευρώπη πρέπει να αναφέρουμε ότι οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας ξεπερνούν τα 460 εκατ. άτομα, δηλ. το 85% του πληθυσμού. Η συνεισφορά του κλάδου εκτιμάται σε €550 δισεκ. (3,3%) του ΑΕΠ, ενώ εκτιμάται ότι θα αυξηθεί στα 720 δισεκ. ευρώ (4,1% του ΑΕΠ) έως το 2022. Καθοριστική είναι η συμβολή των κινητών επικοινωνιών στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας με την απασχόληση να ανέρχεται σε 1,1 εκατ. άτομα ενώ

αποτελεί μια ισχυρή τονωτική ένεση και για τα δημόσια έσοδα τα οποία προέρχονται από την φορολογία του κλάδου [17].

Κρίσιμος προσδιοριστικός παράγοντας για την επίδραση των δικτύων πέμπτης γενιάς στην οικονομία είναι η νέα αρχιτεκτονική και συνακόλουθα οι νέες υπηρεσίες που θα φέρει το δίκτυο 5G σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων. Στην ευρύτερη συζήτηση για τα οφέλη από την ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς, κλάδοι όπως οι μεταφορές, η υγεία και τομείς της βιομηχανίας αναμένεται να αποκομίσουν σημαντικά οφέλη. Αντίστοιχα, τα δίκτυα 5G μπορεί να υποστηρίξουν εξειδικευμένες εφαρμογές για διάφορους κλάδους εξυπηρετώντας ανάγκες οι οποίες δεν υποστηρίζονται από το υφιστάμενο δίκτυο ή από άλλες τεχνολογίες. Οφέλη αναμένονται επίσης από το γεγονός ότι τα δίκτυα 5G θα μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένη συνδεσιμότητα για την κάλυψη ιδιαίτερων απαιτήσεων διαφόρων ομάδων χρηστών ή ακόμα και συγκεκριμένων βιομηχανιών [44].

4.2 Στοιχεία του κλάδου κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα

Το υφεσιακό περιβάλλον της οικονομίας της χώρας μας έχει επιφέρει καθοριστικές επιρροές και επιδράσεις στον συγκεκριμένο τομέα, με βασικότερη συνέπεια την αισθητή ελάττωση των εισροών από την κινητή τηλεφωνία. Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε πως η σημαντική ελάττωση των εισροών του εν λόγω τομέα είναι αρκετά πιο βαθιά σε σχέση με τη συνολική ύφεση. Εκτός από την παγκόσμια χρηματοοικονομική ύφεση, οι εισροές έχουν δεχτεί αρνητικές επιρροές και επιδράσεις και από διάφορες άλλες ρυθμιστικές μεταβολές στα τέλη τερματισμού καθώς επίσης και στην υπέρ-φορολόγηση των υπηρεσιών. Έρευνες αναφέρουν πως σχεδόν το 50% της μείωσης αυτής της μορφής κατά την περίοδο του 2013-14 προέρχεται από τις ελαττώσεις των τελών τερματισμού [17].

Οι εισροές του συγκεκριμένου τομέα από υπηρεσίες έχουν ελαττωθεί κατά 54% για τα πρώτα χρόνια της κρίσης, καθώς την περίοδο του 2014 ήταν σχεδόν στα 2 δισεκατομμύρια, ενώ οι συνολικές εισροές των παρόχων από την κινητή τηλεφωνία άγγιζαν τα 2,3 δισεκατομμύρια ευρώ. Οι εισροές από δεδομένα εκείνη την περίοδο είχαν παρουσιάσει σημαντική ανοδική τάση, η οποία ξεπερνούσε το 8% κατά την περίοδο του 2013 και αποτελούσε τη μοναδική ανοδική τάση πηγής εισροών. Μια καθοριστική παράμετρος, η οποία επιφέρει σημαντικές επιρροές και επιδράσεις στα κέρδη του συγκεκριμένου τομέα είναι οι συνθήκες ανταγωνισμού, οι οποίες υφίστανται όλα αυτά τα χρόνια, αλλά και οι εγχώριες είτε ακόμα και οι ρυθμιστικές αρχές της ΕΕ, που με τη διαρκή και ισχυρή παρέμβασή τους, έχουν οδηγήσει στην ύπαρξη συμπιεσμένου περιθωρίου κέρδους υπηρεσιών αυτής της μορφής [44].

Ακόμα, εξίσου σημαντικές είναι οι αποσβέσεις αλλά και οι τόκοι από διάφορες επενδυτικές κινήσεις, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αισθητή ελάττωση των λειτουργικών κερδών των παρόχων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα όλων των παραπάνω αποτελεί το γεγονός πως τα κέρδη προ τόκων, φόρων αλλά και αποσβέσεων του εν λόγω τομέα έχουν συρρικνωθεί σχεδόν 57% κατά τη διάρκεια του 2008 μέχρι και το 2014 (σχεδόν 740 εκατομμύρια). Το χαμηλό επίπεδο αυτού του

δείκτη επιφέρει αρνητικές συνέπειες στην ικανότητα των εταιριών και των οργανισμών να χρηματοδοτήσουν τις απαιτούμενες επενδυτικές κινήσεις τους, αφού το αρνητικό οικονομικό περιβάλλον στη χώρα μας περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την προσβασιμότητα στον δανεισμό, κάτι το οποίο σταδιακά είναι δυνατόν να οδηγήσει τις επιχειρήσεις να κάνουν χρήση ιδίων κεφαλαίων από τις χρηματοροές τους.

Ταυτόχρονα, ένα εξίσου καθοριστικό δεδομένο αυτού του είδους για τον εν λόγω τομέα είναι το σύνολο των συνδρομητών, οι εισροές για κάθε χρήστη, τα λεπτά ομιλίας για κάθε χρήστη αλλά και η χρήση δεδομένων. Η πρώτη εξ αυτών των παραμέτρων, παρουσίασε ανάκαμψη για πρώτη φορά κατά την περίοδο του 2013 ενώ κατά την επόμενη χρονιά ξεπέρασε τα 16 εκατομμύρια πελάτες. Η τεράστια μείωση κατά 5,3 εκατομμύρια συνδρομητές εντοπίστηκε την περίοδο 2010-11 και προερχόταν κυρίως από την ταυτοποίηση. Τα επόμενα χρόνια, όμως, το σύνολο των συνδρομητών παρουσίασε σημαντική ανοδική τάση, δίχως φυσικά να αγγίζει τα επίπεδα που υπήρχαν κατά την περίοδο του 2009. Επίσης, την περίοδο του 2014, οι εισροές για κάθε χρήστη στη χώρα μας ελαττώθηκαν κατά 8,5%, δηλαδή σχεδόν κοντά στα 10 ευρώ για κάθε μήνα, επίπεδο το οποίο ήταν ιδιαίτερα χαμηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη μέλη της ΕΕ [45].

Την περίοδο του 2018, οι εισροές από υπηρεσίες αυτής της μορφής άγγιξαν τα 2 δισεκατομμύρια ευρώ, παρουσιάζοντας σημαντική αύξηση κατά 1,5% συγκριτικά με την περίοδο του 2017. Παρά το γεγονός αυτό, όμως, συγκριτικά με την περίοδο του 2009 υπάρχει μείωση της τάξης του 50%. Η θετική εξέλιξη των εισροών από τις συγκεκριμένες υπηρεσίες συνέχισαν την άνοδο και την επόμενη χρονιά, αφού το Α' εξάμηνο του 2019 υπήρξε αύξηση μεγαλύτερη από 2% συγκριτικά με την περίοδο του 2018. Ο συγκεκριμένος τομέας αποτελεί έναν από τους πιο μεγάλους επενδυτές της οικονομίας της χώρας μας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός πως την τελευταία δεκαετία σχεδόν και συγκεκριμένα από την περίοδο του 2010 μέχρι και την περίοδο του 2018, οι επενδυτικές κινήσεις ήταν μεγαλύτερες από 2,7 δισεκατομμύρια ενώ επιπλέον 1,1 δις κατευθύνθηκαν στην απόκτηση αδειών χορήγησης φάσματος. Ο υψηλός ρυθμός αυτών των ενεργειών παρουσιάζεται και στις ευρυζωνικές υποδομές, μιας και το σύνολο του πληθυσμού καλύπτεται από το δίκτυο 3G, ενώ ποσοστό μεγαλύτερο από το 90% του πληθυσμού από το 4G [46].

4.3 Απασχόληση και Προστιθέμενη Αξία

Η χώρα μας έχει το πιο χαμηλό ποσοστό εξειδικευμένων ΤΠΕ στην Ευρώπη στο σύνολο του εργατικού δυναμικού (έχει 1,2% και βρίσκεται στην 28^η θέση την ώρα που ο μέσος όρος αγγίζει το 3,5%). Κυριότερη αιτία για αυτή την κατάσταση είναι μέχρι και σήμερα το λεγόμενο brain drain εξαιτίας της παγκόσμιας χρηματοοικονομικής ύφεσης της τελευταίας δεκαετίας. Η καταπολέμηση του συγκεκριμένου φαινομένου παραμένει μέχρι και σήμερα μείζονος σημασίας για τη στήριξη του ψηφιακού μετασχηματισμού της σύγχρονης οικονομίας. Στη σημερινή εποχή, οι ψηφιακές δυνατότητες χρειάζονται για το μεγαλύτερο σύνολο των θέσεων εργασίας όπου η ψηφιακή τεχνολογία συμπληρώνει τις υφιστάμενες αρμοδιότητες και

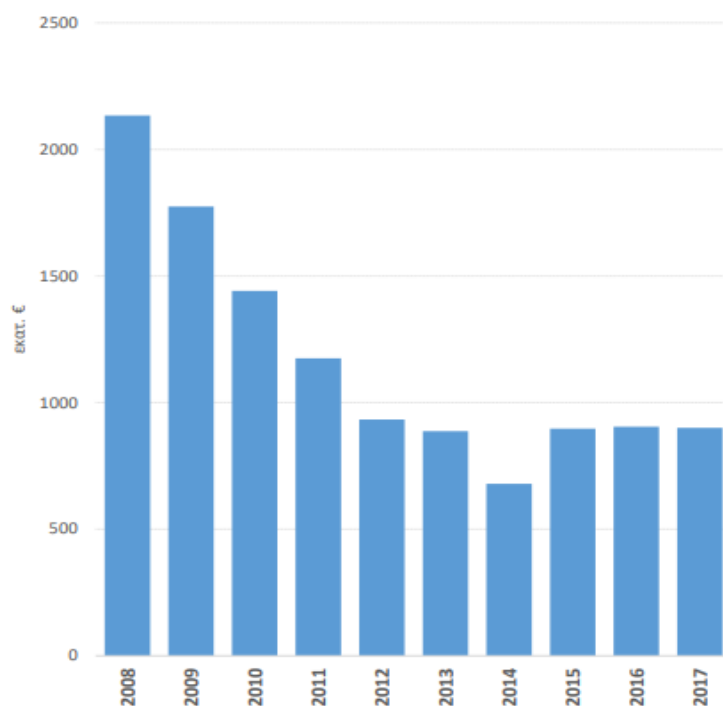
η έλλειψή τους είναι εφικτό να αποτελέσει ένα καθοριστικό πρόβλημα στην χρηματοοικονομική μεγέθυνση του κράτους [45].



Εικόνα 46: Συμβολή στην απασχόληση – Πηγή: ΕΕΚΤ

Με βασικότερο στόχο να κατορθώσει να καταπολεμήσει τις σημαντικές αυτές ελλείψεις σε ψηφιακές ικανότητες, η χώρα μας είναι σημαντικό να κερδίσει από την ανάπτυξη καινοτόμων δράσεων με απώτερο σκοπό την βέλτιστη εφικτή αντιμετώπιση των χρόνιων αναντιστοιχιών που εντοπίζονται μεταξύ των ικανοτήτων τις οποίες έχει απαίτηση η συγκεκριμένη βιομηχανία και των ικανοτήτων που παρέχει η επίσημη κατάρτιση, αλλά και από την παροχή βασικών πόρων με στόχο την ανάπτυξη ψηφιακών ικανοτήτων. Καθοριστικό ρόλο προς την εν λόγω κατεύθυνση είναι δυνατόν να διαδραματίσει η βελτιωμένη συνεργασία ανάμεσα στο κράτος, τους εκπαιδευτικούς οργανισμούς και τις βιομηχανίες [46].

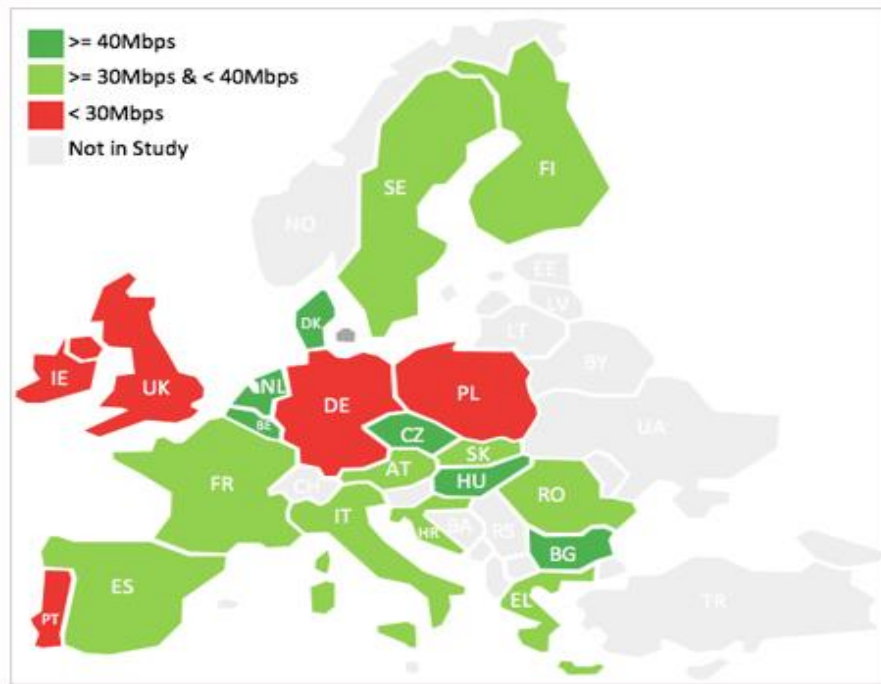
Από την άλλη πλευρά, σε ό,τι έχει να κάνει με την ακαθάριστη προστιθέμενη αξία είναι σημαντικό να τονιστεί πως η αξία αυτή του συγκεκριμένου τομέα στη χώρα μας έχει διαμορφωθεί στα 900 εκατομμύρια ευρώ για την περίοδο του 2017 και αφορά σχεδόν το 5% του συνόλου των υπηρεσιών, στην περίπτωση στην οποία το ανάλογο μερίδιο για το μέσο όρο της ΕΕ είναι ιδιαίτερα πιο χαμηλό, καθώς δεν ξεπερνά το 1,5%. Επίσης, είναι χρήσιμο να τονιστεί πως ο συγκεκριμένος τομέας αποτελεί έναν από τους πιο μεγάλους του εγχώριου κλάδου των υπηρεσιών, που βρίσκεται πιο χαμηλά μονάχα από τους τομείς τουρισμού, μεταφορών καθώς επίσης και τις ενσύρματες επικοινωνίες. Έρευνες τα τελευταία χρόνια αναφέρουν πως υφίστανται 77 χιλιάδες ευρώ ακαθάριστη προστιθέμενη αξία για κάθε υπάλληλο στις κινητές επικοινωνίες ενώ το ποσό αυτό αγγίζει τις 57,8 χιλιάδες ευρώ γενικά στις τηλεπικοινωνίες. Επίσης είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως η άμεση συνεισφορά του συγκεκριμένου τομέα είναι σχεδόν διπλάσια της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας της παραγωγής χημικών, φαρμάκων και πλαστικών ενώ η συμβολή στην παραγωγικότητα είναι συγκρίσιμη με την ακαθάριστη προστιθέμενη αξία του τραπεζικού είτε του αγροτικού τομέα [17,47].



Εικόνα 47: Προστιθέμενη αξία του κλάδου κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα (2008-2017) – Πηγή: IOBE

4.4 Διείδυση κινητής ευρυζωνικότητας

Η συγκεκριμένη διείδυση στη χώρα μας ακολουθεί εδώ και μερικά χρόνια μια σημαντική και σταθερή αύξηση. Το σύνολο των ενεργών χρηστών που χρησιμοποιούσαν υπηρεσίες δεδομένων στο διαδίκτυο κατά την περίοδο του 2018 ξεπέρασαν τα 8,6 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας σημαντική ανοδική τάση κατά σχεδόν 21% συγκριτικά με την περίοδο του 2017, όπου το ποσό αυτό μόλις που ξεπέρασε τα 7 εκατομμύρια. Παρά την σταθεροποιημένη ανοδική τάση των τελευταίων χρόνων, όμως, η χώρα μας υπολείπεται ακόμα συγκριτικά με όλα τα άλλα κράτη της ΕΕ. Με 80 κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις για κάθε 100 πολίτες μέχρι και την περίοδο του 2019 βρίσκεται πιο ψηλά μονάχα από χώρες, όπως είναι για παράδειγμα η Σλοβενία, το Βέλγιο, η Πορτογαλία καθώς επίσης και η Ουγγαρία. Τα κράτη με τις πιο υψηλές διειδύσεις αυτού του είδους είναι η Φιλανδία (έχει 157 συνδέσεις για κάθε 100 πολίτες), η Εσθονία (με 149 συνδέσεις) αλλά και η Δανία (με 157 συνδέσεις). Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημανθεί πως ο μέσος όρος για την ΕΕ είναι στις 96 συνδέσεις για κάθε 100 πολίτες [17,47].



Εικόνα 48: Ταχύτητες λήψης κινητής ευρυζωνικότητας στην Ευρώπη – αποτυπωμένες σε χάρτη για την περίοδο του 2018 – Πηγή: 5G Networking, Learning 5G technology Gallardo

Οι ενεργές συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας κατά την περίοδο του 2018, ξεπέρασαν τα 13 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας μια μικρή συρρίκνωση της τάξης του 3,4% συγκριτικά με την περίοδο του 2017. Οι συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας με συμβόλαιο ξεπέρασαν τα 4 εκατομμύρια, ενώ από την άλλη πλευρά οι συνδέσεις καρτοκινητής μειώθηκαν στα 7,9 εκατομμύρια σε σχέση με τα 8,5 εκατομμύρια που ήταν κατά την περίοδο του 2017, με την αναλογία (δηλαδή 1 στις 3 συνδέσεις να είναι συμβολαίου) διαχρονικά να μην έχει αλλάξει σημαντικά [17].

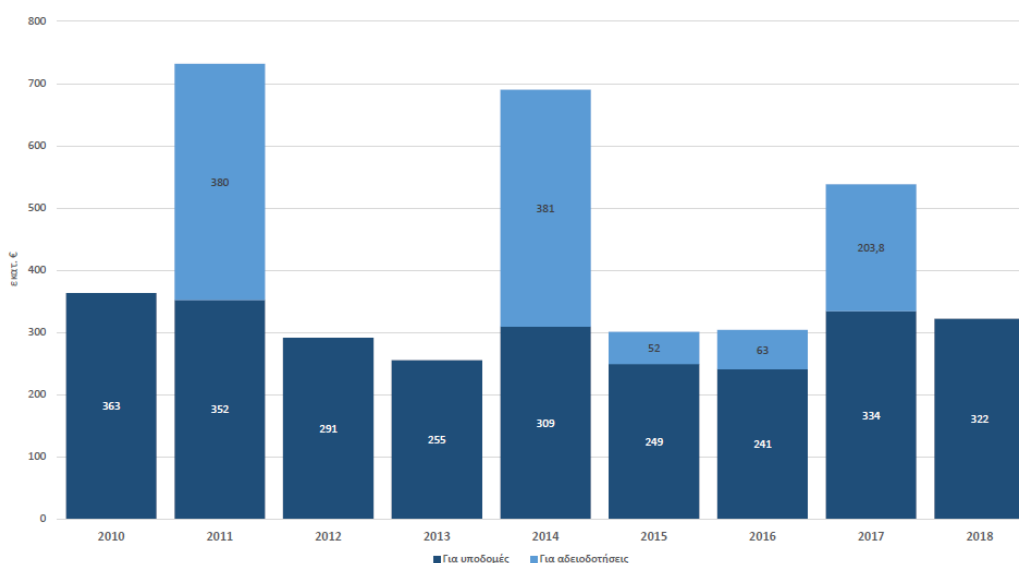
4.5 Επενδύσεις και στρατηγική εκσυγχρονισμού του κλάδου

Στη πορεία προς το 5G, είναι δεδομένη η εμφάνιση νέων και καινοτόμων υπηρεσιών χρήσης. Για τη βέλτιστη κατανόηση σχετικά με τον τρόπο όπου αυτές οι υπηρεσίες χρήσεις θα αλλάξουν τις απαιτήσεις υποδομών, αναφέρθηκαν ενδεικτικά βασικές κατηγορίες εφαρμογών, όπως ο μετασχηματισμός παραγωγικών διαδικασιών, η βελτιωμένη ευρυζωνική τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things) κλπ.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, αυτές οι περιπτώσεις χρήσης απαιτούν τεράστια αύξηση των επιδόσεων του δικτύου σε σχέση με τα τρέχοντα επίπεδα σε όλες τις παραμέτρους των δικτύων, όπως είναι η καθυστέρηση, η απόδοση και η αξιοπιστία. Για να φθάσουν σε αυτό το επίπεδο, απαιτούνται στρατηγικές επενδύσεις σε όλους τους τομείς του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου του ραδιοφάσματος, της υποδομής δικτύου ασύρματης πρόσβασης, του δικτύου κορμού και μετάδοσης. Πολλά στοιχεία της τρέχουσας τεχνολογίας 5G βασίζονται σε δίκτυα της τεχνολογίας τέταρτης γενιάς,

γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υιοθετηθεί μια εξελικτική προσέγγιση στις επενδύσεις στις υποδομές. Μια κοινή πρακτική πολλών παρόχων, είναι η αναβάθμιση της χωρητικότητας του υφιστάμενου 4G δικτύου μέσω αναπροσαρμογής ενός τμήματος του φάσματος 2G και 3G αποκτώντας πρόσθετο φάσμα, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Ωστόσο, σε λίγο καιρό οι αναβαθμίσεις των δικτύων δεν θα επαρκούν για την υποστήριξη της αυξανόμενης χρήσης και για αυτόν το λόγο αποτελεί μονόδρομο η δημιουργία νέων υποδομών. Αυτό το χρονικό σημείο εξαρτάται ανάλογα με τον τόπο με τις προσομοιώσεις να δείχνουν ότι οι περισσότεροι φορείς θα πρέπει να ξεκινήσουν σημαντικές νέες επενδύσεις/κατασκευές μεταξύ 2020 και 2025.

Πρέπει να τονιστεί ότι οι επενδυτικές κινήσεις στον κλάδο κινητών επικοινωνιών είναι ιδιαίτερα κρίσιμες, καθώς μέσω αυτών τα δίκτυα της νέας εποχής θα υποστηρίζουν πιο υψηλές ταχύτητες, πιο πολλά δεδομένα, πιο χαμηλές τιμές και θα προσφέρουν αισθητά πιο βελτιωμένες υπηρεσίες. Οι πιο σημαντικές επενδυτικές κινήσεις είναι εκείνες των υποδομών όπου καθοριστικό ρόλο έχουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, οι επενδυτικές κινήσεις σε εξοπλισμό χρηστών όπως είναι για παράδειγμα τα οικιακά μέσα, οι φορητές συσκευές, τα εξελιγμένα κινητά τηλέφωνα κλπ όπου καθοριστικό ρόλο παίζουν οι κατασκευαστές συσκευών και εξοπλισμού καθώς επίσης και διάφορες επενδυτικές κινήσεις που έχουν άμεση σχέση με τη βιομηχανία και τον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων[17,47].



Εικόνα 49: Επενδύσεις στον τομέα των κινητών επικοινωνιών για την περίοδο 2010-2018 – Πηγή: IOBE

4.6 Κοινωνικές Επιπτώσεις και Οφέλη από τη χρήση του 5G

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να έχουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και τον μετασχηματισμό όλων των κλάδων της οικονομίας και γενικότερα της ανθρώπινης δραστηριότητας οδηγώντας έτσι στη λεγόμενη 4^η Βιομηχανική Επανάσταση και βοηθώντας στην επίσπευση του ψηφιακού μετασχηματισμού των κλάδων τόσο της παγκόσμιας όσο και της ελληνικής οικονομίας. Η αδιάλειπτη και απρόσκοπτη

ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε όλα τα μέρη και από όλους τους ανθρώπους μέσω των εξελιγμένων δικτύων κινητών επικοινωνιών 5G, η χρήση του υπολογιστικού νέφους (cloud) και η διασύνδεση των κάθε είδους αντικειμένων που μας περιβάλλουν στο διαδίκτυο (Internet of Things), σε συνδυασμό με την ανάδυση νέων τεχνολογιών, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), το Big Data Analytics και το Blockchain, αλλάζουν ριζικά το σύνολο των πραγμάτων γύρω μας. Προσφέρει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και καινούργιους τρόπους εργασίας, εκπαίδευσης, διασκέδασης και γενικότερα ανθρώπινης διαβίωσης. Ακόμη, λόγω της παγκοσμιοποίησης αναμένεται οι χώρες που θα κινηθούν γρηγορότερα προς την Ψηφιακή Οικονομία να αποκτήσουν μεγαλύτερη ανάπτυξη του δείκτη βιοτικού επιπέδου. Επομένως, είναι πασιφανές ότι το 5G δρα ως καταλυτικός παράγοντας επιτάχυνσης και οικονομικά αποδοτικής υλοποίησης των ανωτέρω αλλαγών και του απαραίτητου Ψηφιακού Μετασχηματισμού [18].

Σε αυτή τη νέα εποχή, όσοι δημιουργούσαν εφαρμογές για τα «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα (smartphones), τώρα θα δημιουργούν εφαρμογές για έξυπνες πόλεις, γήπεδα, αυτοκίνητα κλπ. Πολλές χώρες, μεγάλες και μικρές, στηρίζουν το αναπτυξιακό τους σχέδιο σε αυτή την προοπτική, που της δίνουν το όνομα Industry 4 που όμως η ουσία του δεν είναι η τεχνολογία, αλλά η διασύνδεση και η συνεργασία μεταξύ των ανθρώπων και η αξιοποίηση της συλλογικής γνώσης. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αναγκάζει τις εταιρείες να αλλάξουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα και να προσαρμοστούν στη νέα πραγματικότητα της αγοράς καθώς αυτή η αλλαγή έρχεται από τους ίδιους τους πελάτες και όχι από τις εταιρείες. Την σήμερα ημέρα, οι πελάτες αναμένουν σχετικές υπηρεσίες οι οποίες να ακολουθούν τη ρουτίνα τους οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε βρίσκονται. Για αυτόν το λόγο πρέπει να προσφέρουν στον “συνδεδεμένο” πελάτη υψηλή ποιότητα υπηρεσιών έτσι ώστε να αποκομίσει μια ανάρπαστη εμπειρία. Η εμπειρία του τελευταίου είναι εξαιρετικής σπουδαιότητας ως προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό καθώς είναι ο κύριος οδηγός που υποδεικνύει την ικανοποίηση που ιδανικά θέλει να βιώσει ο πελάτης. Η μετάβαση στην ψηφιακή τεχνολογία σήμερα σημαίνει να κατανοήσουν σε βάθος οι επιχειρήσεις την αντίληψη του να είναι πελατοκεντρικές με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζουν σωστά τους πελάτες. Οι επιχειρήσεις μπορούν να επικοινωνούν –και το σημαντικότερο– να αλληλεπιδρούν με διευρυμένα κοινά. Ουσιαστικά, η χρήση ψηφιακών καναλιών δίνει στις εταιρίες την ευκαιρία να αφήσουν πίσω τους οποιοδήποτε εμπόδιο επαφής μεταξύ αυτής και του κοινού, προσεγγίζοντάς τους πλέον απευθείας. Αυτό, τους δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάζουν και να πραγματοποιούν ενέργειες με κοινωνικό πρόσημο, αξιοποιώντας περισσότερα κανάλια επικοινωνίας και απευθυνόμενοι πλέον σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων [47].

Το 5G-Infrastructure-PPP, ο οργανισμός που είναι υπεύθυνος για τις υποδομές των δικτύων 5G θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις υποδομές επικοινωνίας 5G της επόμενης δεκαετίας. Ο στόχος για τις επιπτώσεις στην Ευρωπαϊκή Οικονομία είναι να διατηρηθεί και να ενισχυθεί μια ισχυρή βιομηχανική βάση στον τομέα των τεχνολογιών δικτύων, η οποία θεωρείται παγκόσμια στρατηγική βιομηχανία. Η διατήρηση τουλάχιστον του 35% του παγκόσμιου μεριδίου αγοράς στην

Ευρώπη όσον αφορά τον μελλοντικό εξοπλισμό δικτύου είναι στρατηγικός στόχος που μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδρομή της ανάπτυξης του 5G [26].

Ουσιαστικά, σε κοινωνικό επίπεδο, ο επιθυμητός αντίκτυπος είναι να υποστηριχθεί η γενικευμένη πρόσβαση σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρονται με χαμηλότερο κόστος, με αυξημένη ανθεκτικότητα και διάρκεια, με μεγαλύτερη αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων (π.χ. ραδιοφάσμα) και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου. Τα έξυπνα δίκτυα του μέλλοντος θα υποστηρίξουν την πλατφόρμα υπηρεσιών για την οδήγηση του ψηφιακού μετασχηματισμού της κοινωνίας, ενεργώντας ως το «νευρικό σύστημα» του Internet Next Generation (NGI). Τα μελλοντικά συστήματα και δίκτυα επικοινωνίας (Smart Networks) θα αποτελέσουν το θεμέλιο του «Ανθρωποκεντρικού Internet ». Θα παρέχουν την ευέλικτη, ενεργειακά αποδοτική και υψηλής απόδοσης κρίσιμη υποδομή όπου θα αναπτυχθούν τα δίκτυα νέας γενιάς και άλλες ψηφιακές υπηρεσίες. Σκοπός είναι τα έξυπνα δίκτυα και οι υπηρεσίες να καλύψουν το χάσμα της ψηφιακής ανταγωνιστικότητας των ευρωπαϊκών βιομηχανιών σε σχέση με τομείς που ενισχύουν την ανθρώπινη εργασία και την αποφυγή παρωχημένων θέσεων απασχόλησης. Η διαρκής συνδεσιμότητα έχει εξελιχθεί για όλους από μια πολυτέλεια σε ένα κρίσιμο ανθρώπινο δικαίωμα. Τις τελευταίες δεκαετίες, διαδοχικά κύματα τεχνολογικών αλλαγών-μετασχηματισμών-εξελίξεων, σε συνδυασμό με συνεχείς και ενίοτε καινοτόμες εφαρμογές και προσφορές στην αγορά, έχουν μεταμορφώσει δραστικά τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις αντίστοιχες οικονομίες, με πολλαπλά και σημαντικά οφέλη τόσο για την ευρύτερη ανάπτυξη όσο και για την ποιότητα της ζωής των τελικών χρηστών. Αυτό περιλαμβάνει τους οικιακούς και εταιρικούς πελάτες - καταναλωτές, διάφορους φορείς και οργανισμούς. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, η σωστή χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών οδηγούν σε θετικές επιπτώσεις στην κοινωνία, στην οικονομία και συνακόλουθα στην προσωπική ζωή των πολιτών μέσα σε ένα συνεχές και δυναμικό πλαίσιο εξέλιξης [48].

4.7 Οικονομικός Αντίκτυπος και Οφέλη από τη χρήση του 5G

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που έχουν εξετάσει τον οικονομικό αντίκτυπο των επενδύσεων στο 5G. Σύμφωνα με μελέτη της IHS εκτιμάται ότι το 5G θα εξασφαλίσει 12,3 τρισεκατομμύρια δολάρια στην παγκόσμια οικονομία μέχρι το 2035, με τη μεγαλύτερη αύξηση της δραστηριότητας να προέρχεται λόγω της αναμενόμενης αύξησης στις δαπάνες για εξοπλισμό 5G ενώ επίσης θα δημιουργηθούν επιπλέον 22 εκατομμύρια θέσεις εργασίας [49]. Όσον αφορά την Ελληνική οικονομία τα οφέλη από τις επενδύσεις στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς προσδοκάται να δώσουν σωρευτική αύξηση σε όρους Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας, μεταξύ €7,3 και €12,4 δισ. και θα συντελέσουν στη δημιουργία 50.000-69.000 νέων θέσεων εργασίας σύμφωνα με την ΕΥ. Αυτό, σε γενικές γραμμές ακολουθείται από την ανάπτυξη πωλήσεων στον κλάδο τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής, το οποίο προέρχεται κυρίως από δαπάνες σε υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Οι επενδύσεις στην παγκόσμια αλυσίδα αξίας που θα δημιουργήσει το 5G εκτείνονται σε όλους τους κλάδους όπως για παράδειγμα ο

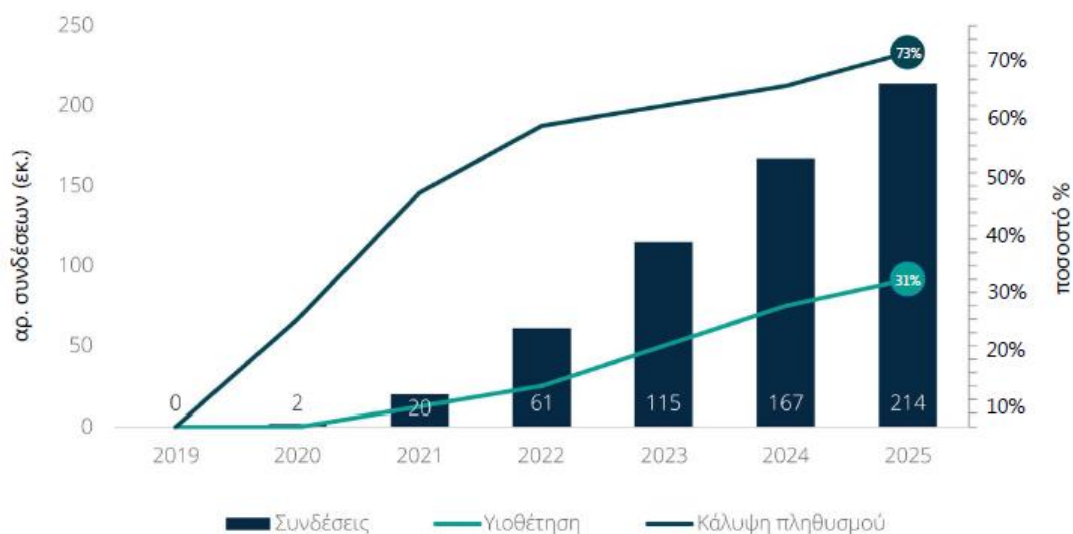
τουρισμός και λόγω αυτού αναμένεται να παραχθούν επιπλέον 3,5 τρις δολάρια και να δοθεί υποστήριξη σε 22 εκατομμύρια θέσεις εργασίας έως το 2035 [50].

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι το συνολικό κόστος της ανάπτυξης 5G μεταξύ των 28 κρατών-μελών ανέρχεται 56 δις ευρώ, δηλαδή όφελος 113,1 δις ευρώ το χρόνο που προκύπτει από τη εισαγωγή των δυνατοτήτων 5G και τη δημιουργία 2,3 εκατομμυρίων θέσεων εργασίας. Εκτιμάται επίσης ότι τα οφέλη προκύπτουν από την παραγωγικότητα κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία και γενικότερα στον εργασιακό χώρο. Οι αστικές περιοχές θα ωφεληθούν πολύ περισσότερο σε σχέση με τις αγροτικές οι οποίες θα ωφεληθούν κατά 8%. Στην Ευρώπη, σύμφωνα με τη Eurostat ο τομέας ΤΠΕ συμβάλλει σημαντικά στην οικονομία με περίπου 5% του ΑΕΠ, το οποίο αντιστοιχεί σε μέγεθος αγοράς 600 δις. ευρώ,. Συγκεκριμένα, ο τομέας των συστημάτων επικοινωνιών και των δικτύων ενισχύει την αγορά αυτή με:

- περίπου 27,2% (1,74 εκατομμύρια εργαζόμενοι) στην απασχόληση ΤΠΕ
- 37% (234 δις. Ευρώ) του μεγέθους της αγοράς ΤΠΕ.
- 47% (€ 15 δις.) των δαπανών Έρευνας & Ανάπτυξης στην Ευρώπη

Άλλες εκθέσεις αναφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη και βελτιώσεις στην παραγωγικότητα που προκύπτει από επενδύσεις σε δίκτυα 5G. Το πραγματικό οικονομικό όφελος για κάθε χώρα ποικίλλει ανάλογα με τη δομή της αγοράς και τη διαθεσιμότητα υποδομών που έχουν στόχο την ψηφιακή οικονομία. Σύμφωνα με μελέτη από την GSMA [20], το κινητό οικοσύστημα έδωσε άμεση απασχόληση σε 1,09 εκατομμύρια άτομα το 2017 στην Ευρώπη και επιπλέον 1,39 εκατομμύρια έμμεσες θέσεις εργασίας. Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι βάσει προβλέψεων, ο αριθμός των συνδέσεων μέχρι το τέλος του 2025 θα αγγίζει τις 214 εκ. συσκευές, πράγμα που σημαίνει πως το ποσοστό κάλυψης από δίκτυα 5G θα ανέρχεται στο 73%. Το οικοσύστημα απασχόλησης λαμβάνει υπόψη αρκετούς παράγοντες που έφεραν το συνολικό αντίκτυπο (άμεσο και έμμεσο) από την ευρωπαϊκή βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας δηλαδή 2,48 εκατομμύρια θέσεις εργασίας τα τελευταία χρόνια. Η συνεισφορά αυτή αναφέρεται σε:

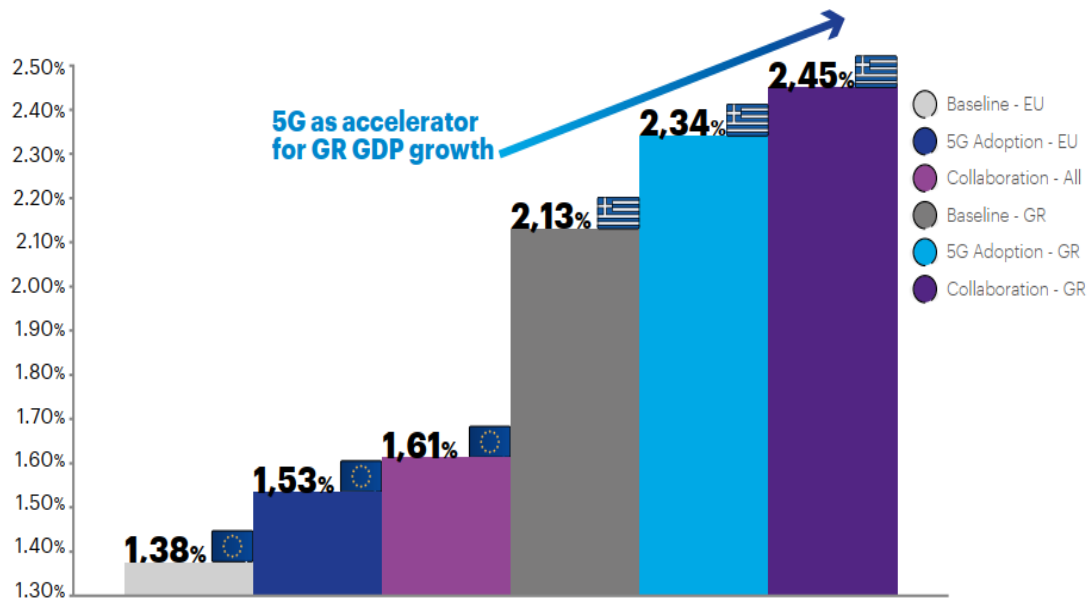
- άμεσες επιπτώσεις από τον κλάδο των τηλεπικοινωνιών
- έμμεσες επιπτώσεις από τη χρήση συστημάτων επικοινωνιών και
- επιπτώσεις στη συνολική παραγωγικότητα της οικονομίας



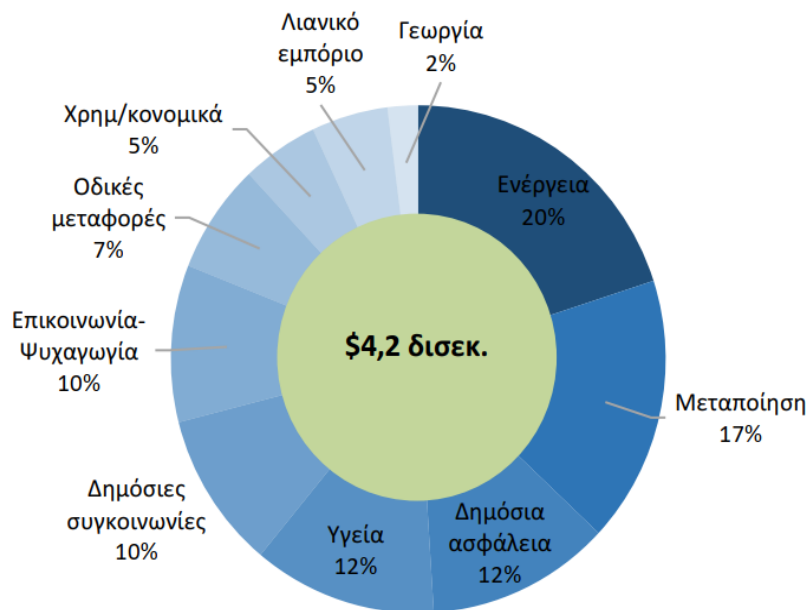
Εικόνα 50: Προβλέψεις στην Ευρώπη για το 5G – Πηγή: ΕΕΚΤ

Η ψηφιοποίηση έχει αυξηθεί σε όλο τον κόσμο και σύμφωνα με μια έκθεση της Ericsson [27], τα ψηφιακά έσοδα για τις οντότητες ΤΠΕ, θα ανέλθουν στο ύψος των 3,5 τρισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2026 από όλες τις βασικές βιομηχανίες (δημόσια ασφάλεια, κατασκευές, χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες, υγειονομική περίθαλψη, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, ενέργεια, αυτοκινητοβιομηχανία, μέσα μαζικής ενημέρωσης και ψυχαγωγία, δημόσιες μεταφορές, γεωργία και λιανική πώληση).

Στην Ελλάδα, η πλήρη ενεργοποίηση του δικτύου 5G αναμένεται στο τέλος του 2021 και σύμφωνα με μελέτη της Accenture θα μπορούσε να αυξήσει το ΑΕΠ της χώρας κατά 4,2 δις.€ σε απόλυτους αριθμούς με το ποσοστό να ανέρχεται στο 2,45 % το 2025. Εκτός αυτού, πρέπει να τονίσουμε και τα δυνητικά οφέλη που θα έχουν πολλοί εγχώριοι κλάδοι της οικονομίας σύμφωνα με μελέτη του IOBE από την ανάπτυξη των δικτύων 5G. Παρακάτω απεικονίζονται τα διαγράμματα από τις δυο αυτές μελέτες [50].



Εικόνα 51: Ποσοστιαία αύξηση του ΑΕΠ στην Ελλάδα σε σχέση με την Ευρώπη 2025 – Πηγή: Accenture



Εικόνα 52: Οφέλη εγχώριων κλάδων της οικονομίας σε ποσοστά – Πηγή: IOBE

4.8 Δείκτης 5G Readiness Index Για Ευρώπη και Ελλάδα

Την περίοδο του 2019 δημιουργήθηκε ένα καινούριο διαδικτυακό μέσο, το οποίο έχει την ευχέρεια να υπολογίσει την ετοιμότητα 39 Ευρωπαϊκών κρατών να εξελίξουν και να υιοθετήσουν δίκτυα 5G. Ο Δείκτης Ετοιμότητας αυτών των δικτύων περιέχεται από 6 βασικές κατηγορίες σημαντικών παραμέτρων που ως επί το πλείστον περιέχουν συνολικά 35 υπό-κριτήρια. Το εν λόγω μέσο έχει τη δυνατότητα συλλογής πληροφοριών από αρκετές και διαφορετικές πηγές, με απώτερο στόχο να βοηθήσει την

προσπάθεια του συγκεκριμένου τομέα για άμεση εξέλιξη αυτών των δικτύων. Τα δίκτυα αυτής της μορφής έχουν άρρηκτη σχέση με τους κυριότερους σκοπούς της Ψηφιακής Ατζέντας για την ΕΕ και προσφέρουν ένα μέσο με απώτερο στόχο την αισθητή ελάττωση του ψηφιακού χάσματος και την αισθητή βελτίωση της ποιότητας ζωής και εργασίας. Ο δείκτης που μελετάμε σε αυτό το κεφάλαιο είναι εφικτό να αποδειχθεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο μέσο στα χέρια των αρμόδιων χάραξης πολιτικής και ανάπτυξης των κατάλληλων δράσεων. Στην πρώτη κατηγορία αυτών των προϋποθέσεων του εν λόγω δείκτη περιέχονται οι υποδομές και η τεχνολογία, στην δεύτερη τα ρυθμιστικά ζητήματα και οι πολιτικές, στην τρίτη οι καινοτόμες δράσεις, στην τέταρτη το ανθρώπινο δυναμικό, στην πέμπτη το προφίλ του κράτους και τέλος η ζήτηση η οποία έχει άμεση σχέση με την υιοθέτηση σταθερών και κινητών δικτύων επικοινωνιών.

Γενικότερα, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως η χρηματοοικονομική ευρωστία ενός κράτους καθώς επίσης και η κατάσταση της εκάστοτε αγοράς λογίζονται ως καθοριστικοί παράμετροι για το συγκεκριμένο δείκτη, μιας και τα εν λόγω δίκτυα έχουν ανάγκη από τεράστιες κεφαλαιακές επενδυτικές κινήσεις. Παρά το γεγονός πως κατά το ξεκίνημα του 2019, η χώρα μας παρουσίαζε αρκετά υψηλό δείκτη ετοιμότητας πλέον βρίσκεται στις τελευταίες θέσεις της συγκεκριμένης κατάταξης. Συγκεκριμένα, η χώρα μας πλέον κατέχει την τελευταία θέση της ΕΕ και μια από τις τελευταίες θέσεις σε ολόκληρη την Ευρώπη (30^η). Καθοριστικό ρόλο σε αυτό έχει παίξει και η παγκόσμια χρηματοοικονομική ύφεση και οι συνέπειες που έχει επιφέρει στη χώρα μας, ενώ πλέον αρνητικά επιδρά και η πανδημία. Οι δυο αυτοί παράγοντες έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην αισθητή ελάττωση της ζήτησης ενώ ταυτόχρονα υφίστανται σημαντικά ρυθμιστικά ζητήματα [51,52].

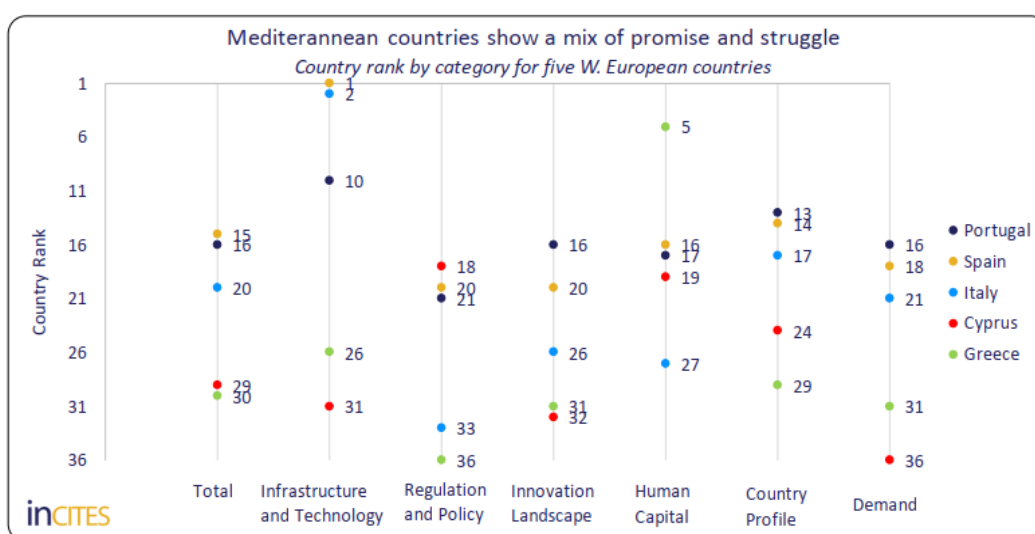
Total Rank	Country Name	Total Score	Infrastructure and Technology		Regulation and Policy		Innovation Landscape		Human Capital		Country Profile		Demand	
			Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank
1	Finland	70.95	67.44	4	75.62	1	64.24	3	76.04	1	85.06	1	62.23	5
2	Switzerland	69.00	65.16	6	74.62	2	64.17	4	69.74	2	81.12	8	61.77	6
3	Germany	66.68	69.99	3	68.95	6	63.83	5	64.79	10	82.35	4	51.82	19
4	Denmark	65.93	51.18	21	69.49	5	65.52	2	65.00	8	79.93	12	71.23	1
5	Sweden	65.91	56.58	13	66.64	9	68.00	1	65.15	7	83.02	3	63.39	4
6	United Kingdom	65.26	66.09	5	66.74	8	55.53	11	60.54	13	81.90	6	61.42	7
7	Netherlands	65.24	52.48	19	73.13	4	59.75	6	68.71	3	84.77	2	60.28	8
8	Norway	64.08	62.53	7	67.03	7	56.21	9	66.70	4	80.92	9	55.50	13
9	Luxembourg	62.97	54.15	17	73.74	3	54.23	12	55.18	22	81.80	7	58.92	10
10	Austria	62.61	59.09	9	62.49	13	56.57	8	65.58	6	80.05	11	58.28	12
11	Iceland	61.00	44.44	27	65.38	10	55.98	10	64.34	11	77.07	15	67.57	2
12	Estonia	60.46	57.32	11	63.24	12	46.33	17	58.73	15	82.02	5	58.64	11
13	France	59.38	56.97	12	60.18	14	52.99	13	59.98	14	80.20	10	51.74	20
14	Ireland	59.06	54.89	14	60.12	15	51.28	14	64.92	9	75.57	18	54.56	15
15	Spain	58.63	73.58	1	49.23	20	40.31	20	58.11	16	79.63	14	52.49	18
16	Portugal	55.76	57.32	10	48.53	21	46.35	16	57.24	17	79.67	13	53.17	16
17	Belgium	55.71	42.83	28	56.77	16	56.71	7	64.00	12	73.37	20	52.66	17
18	Latvia	55.07	59.34	8	46.46	22	37.29	25	53.81	23	73.37	21	63.54	3
19	Lithuania	54.92	49.43	24	52.29	19	43.64	19	55.65	20	76.25	16	59.37	9
20	Italy	53.01	71.60	2	35.83	33	36.75	26	52.32	27	76.05	17	49.05	21
21	Slovenia	51.32	50.29	23	46.19	23	45.21	18	55.35	21	73.04	22	46.63	25
22	Russia	49.90	50.79	22	44.15	24	36.58	27	53.28	24	74.22	19	48.28	22
23	Czech Republic	49.83	51.81	20	41.37	31	47.11	15	52.71	25	67.21	33	46.42	26
24	Azerbaijan	49.52	32.92	32	63.73	11	40.02	21	52.48	26	71.95	27	43.02	32
25	Poland	49.21	54.47	15	34.86	35	36.11	28	50.34	28	72.39	23	54.91	14
26	Hungary	48.90	54.44	16	41.44	30	38.30	23	44.54	32	71.13	28	47.05	24
27	Romania	47.18	53.54	18	41.80	29	32.11	30	43.99	33	70.18	30	44.25	28
28	Slovakia	46.27	47.83	25	35.13	34	38.60	22	43.90	34	72.26	25	47.97	23
29	Cyprus	46.24	36.64	31	53.54	18	30.76	32	56.28	19	72.26	24	38.14	36
30	Greece	45.76	44.91	26	34.59	36	31.44	31	65.96	5	70.78	29	44.04	31
31	Bulgaria	45.27	37.94	29	42.82	27	37.50	24	47.37	30	71.99	26	44.21	29
32	Georgia	42.36	27.60	37	55.87	17	28.48	35	39.67	36	63.46	36	42.34	33
33	Serbia	42.17	31.41	33	43.86	25	34.92	29	48.45	29	68.88	31	37.38	37
34	Albania	41.23	29.67	36	43.72	26	28.14	36	47.36	31	64.29	35	44.12	30
35	Croatia	39.97	37.81	30	28.55	38	28.72	34	42.15	35	68.22	32	45.66	27
36	Moldova	39.07	30.76	35	39.65	32	25.68	38	38.80	37	64.95	34	42.17	34
37	Ukraine	37.98	22.87	38	41.89	28	30.04	33	57.09	18	61.83	38	31.26	39
38	North Macedonia	35.93	30.80	34	34.54	37	26.24	37	27.35	39	62.44	37	38.57	35
39	Bosnia and Herzegovina	28.38	19.62	39	19.91	39	23.58	39	33.34	38	54.07	39	33.45	38

Εικόνα 53: Πίνακας που υποδεικνύει τον δείκτη ετοιμότητας 5G για Ευρωπαϊκές Χώρες – Πηγή: InCites

Εξίσου καθοριστικά προβλήματα εντοπίζονται στο περιβάλλον και την ανάπτυξη, στις καινοτόμες δράσεις καθώς επίσης και στις υποδομές του εν λόγω τομέα (παρόλο που υφίστανται καθοριστικές επενδυτικές κινήσεις τα τελευταία χρόνια). Οι συγκεκριμένοι παράγοντες έχουν οδηγήσει σε αυτή τη θέση τη χώρα μας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των προβλημάτων είναι η ιδιαίτερα περιορισμένη γεωγραφική παρουσία των δικτύων οπτικών ινών, που δημιουργεί τεράστια προβλήματα για τη χώρα μας.

Πιο αναλυτικά, η χώρα μας κατέχει την 29^η θέση στην κατηγορία υποδομές και τεχνολογία, ως επί το πλείστον λόγω της χαμηλότερης κάλυψης των δικτύων οπτικών ινών. Ταυτόχρονα, κατέχει στην 36^η θέση σε ρυθμιστικά ζητήματα και πολιτικές. Αυτό

κατά κύριο λόγο προέρχεται από το μη αποτελεσματικό νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο το οποίο υφίσταται στη χώρα μας, κάτι το οποίο έχει δημιουργήσει τεράστια προβλήματα για την άμεση ψήφιση και εφαρμογή των απαιτούμενων ρυθμιστικών αποφάσεων, με απώτερο στόχο να διευκολυνθεί η ανάπτυξη αυτών των δικτύων. Ως επί το πλείστον η χαμηλότερη θέση της χώρας μας σε όλες αυτές τις προϋποθέσεις έχει άμεση σχέση με τον τομέα της χρηματοδότησης, κάτι το οποίο τις περισσότερες φορές έχει να κάνει και με τη δύσκολη χρηματοοικονομική κατάσταση στην οποία βρίσκεται η χώρα μας και την κρατάει στην 29^η θέση στον τομέα της καινοτομίας. Η καλύτερη θέση την οποία έχει η χώρα μας είναι η 5^η, που εντοπίζεται στην κατηγορία ανθρώπινο δυναμικό, που όμως προκύπτει από τον μεγάλο αριθμό αποφοίτων ανώτατης εκπαίδευσης, επιστημόνων και μηχανικών οι οποίοι πολλοί από αυτούς εν τέλει καταλήγουν να δίνουν τις υπηρεσίες τους στο εξωτερικό.[52].



Εικόνα 54: Διάγραμμα του δείκτη ετοιμότητας 5G για τις μεσογειακές χώρες – Πηγή: InCites

Σε ό,τι έχει να κάνει με την Ευρώπη, είναι σημαντικό να τονιστεί πως στις πρώτες θέσεις της συγκεκριμένης κατάταξης είναι η Φιλανδία, η Γερμανία, η Ελβετία, η Δανία με την πρώτη πεντάδα να ολοκληρώνεται με τη Σουηδία, κράτη τα οποία κλασικά είναι στις πρώτες θέσεις στην ανάπτυξη και την εφαρμογή καινούριων τεχνολογιών, ενώ στις τελευταίες θέσεις εντοπίζονται η Μολδαβία, η Ουκρανία αλλά και η Βοσνία. Τα αποτελέσματα όλων αυτών των αναλύσεων έχουν δείξει πως υφίσταται ένα τεράστιο χάσμα ανάμεσα στα κράτη της Δυτικής και της Ανατολικής Ευρώπης, με τα κράτη της πρώτης να είναι, κατά μέσο όρο, πιο έτοιμα να δεχτούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία και αυτά τα δίκτυα. Ακόμα, διακρίνεται να υφίσταται υψηλότερη συσχέτιση ανάμεσα στη θέση ενός κράτους στον εν λόγω δείκτη και στη γεωγραφική του θέση, που αναπτύσσει 3 κατηγορίες κρατών με παρόμοια γνωρίσματα [53].

4.9 Ψηφιακή Ατζέντα 2020-2025

Ο τομέας των ηλεκτρονικών επικοινωνιών είναι ένας από τους πιο καθοριστικούς άξονες εξέλιξης των τελευταίων χρόνων σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση του ανταγωνισμού, την αισθητή ελάττωση των τιμών καθώς επίσης και την εξέλιξη επιχειρηματικών και καταναλωτικών υπηρεσιών [19]. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί η Ατζέντα 2025, που έχει σαν καθοριστικότερο σκοπό τη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο, έτσι ώστε να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μιας ενιαίας ψηφιακής αγοράς. Γενικότερα, αυτό το οποίο είναι σημαντικό να γνωρίζουμε είναι πως η εν λόγω Ατζέντα (είτε όπως καλείται διαφορετικά το συγκεκριμένο ψηφιακό θεματολόγιο), αποτελεί ένα όραμα σύμφωνα με το οποίο εξελίσσονται καθορισμένες στρατηγικές και λειτουργίες με απώτερο σκοπό την εναρμονισμένη ψηφιακή εξέλιξη των κρατών μελών της ΕΕ με ορίζοντα την περίοδο του 2025. Οι κεντρικότεροι άξονες στους οποίους είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί τεράστια εστίαση είναι η ανάπτυξη μιας ψηφιακής ενιαίας αγοράς, η αισθητή βελτίωση του πλαισίου των κριτηρίων που έχουν άρρηκτη σχέση με τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε αγαθά και υπηρεσίες αυτού του τομέα, η αισθητή ανοδική τάση της εμπιστοσύνης και της ασφάλειας στο διαδίκτυο καθώς επίσης και η βέλτιστη εφικτή διασφάλιση της παροχής ταχύτερης πρόσβασης σε αυτό το μέσο. Εξίσου σημαντικοί στόχοι, όμως, λογίζονται πως είναι η ενθάρρυνση των επενδυτικών κινήσεων στην έρευνα και στην ανάπτυξη, η ενίσχυση του ψηφιακού αλφαριθμητισμού, των ικανοτήτων και της κοινωνικής ένταξης και τέλος η εφαρμογή των ΤΠΕ με απώτερο σκοπό την καταπολέμηση κοινωνικών ζητημάτων, όπως είναι για παράδειγμα η κλιματική αλλαγή, η αισθητή ανοδική τάση του κόστους, η γήρανση του πληθυσμού κλπ. [52].

Από την περίοδο του 2010 μέχρι και σήμερα η ΕΕ συνεχίζει την πορεία της προς τους παραπάνω στόχους και προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό, όπως διακρίνεται και από τον δείκτη DESI. Δυστυχώς η χώρα μας είναι αρκετά πιο πίσω από τον μέσο όρο της ΕΕ και κατέχει την 26^η θέση, ξεπερνώντας μονάχα την Βουλγαρία και την Ρουμανία. Η Ελλάδα βρίσκεται στις τελευταίες θέσεις αυτής της κατάταξης μαζί με κράτη, όπως είναι για παράδειγμα η Ουγγαρία, η Πολωνία, η Κροατία, η Βουλγαρία, η Ρουμανία, η Κύπρος καθώς επίσης και η Ιταλία. Στις σταθερές ευρυζωνικές συνδέσεις, η χώρα μας εμφανίζει μεγάλη διαθεσιμότητα (κάλυψη 99% των σπιτιών και για αυτό το λόγο βρίσκεται στην 10^η θέση), αλλά η διείσδυσή τους δεν προχωράει με γρήγορους ρυθμούς (66% και βρίσκεται στην 21^η θέση). Από την άλλη πλευρά, στις κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις, παρά την κάλυψη 4G σε ποσοστό σχεδόν 80% των σπιτιών (σε σχέση με τον μέσο όρο της ΕΕ που αγγίζει το 84%), η διείσδυση παραμένει στους 50 συνδρομητές για κάθε 100 ανθρώπους και κατέχει την 27^η θέση, δηλαδή πολύ χαμηλότερα από την κάλυψη δικτύων πρόσβασης επόμενης γενιάς [52,53].

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημανθεί πως τα πράγματα είναι αρκετά χειρότερα στις τοποθεσίες που δεν είναι αστικές, όπου η κάλυψη αυτών των δικτύων είναι στο 1% σε σχέση με το 40% της ΕΕ. Σε ό,τι έχει να κάνει με το φάσμα, τα πράγματα είναι ακόμη χειρότερα. Εξαιτίας της σημαντικής διοικητικής έλλειψης

στην ΕΕΤΤ για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του 1 έτους, υφίστανται τεράστιες καθυστερήσεις στη διαμόρφωση των σχετικών πολιτικών και κανόνων, με βασικότερη συνέπεια τα τελευταία χρόνια να υφίσταται σημαντική μείωση κατά 3% από το αντίστοιχο σκοπό του DESI, που για την περίοδο του 2017 ήταν στο 68% σε σχέση με το 71% που ήταν για την περίοδο του 2016. Εξίσου καθοριστικό για τη χώρα μας είναι πως από τη στιγμή που η ευρυζωνική πολιτική της βασίζεται κατά κύριο λόγο στον ιδιωτικό κλάδο, ο οποίος διοχετεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των επενδυτικών κινήσεων σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων, περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό η δημόσια παρέμβαση, η οποία είναι χρήσιμη ως επί το πλείστον σε τοποθεσίες στις οποίες δεν είναι πετυχημένη η αγορά. Η χώρα μας τα τελευταία χρόνια σχεδίαζε να κάνει χρήση 304 εκατομμυρίων ευρώ από τα ΕΔΕΤ, με βασικότερο στόχο τη δημιουργία ευρυζωνικών υποδομών υψηλότερων ταχυτήτων [53].

Με βασικότερο στόχο να επιτευχθούν οι σκοποί αυτών των πολιτικών, η χώρα μας είναι ζωτικής σημασίας να επικεντρωθεί σε 2 άξονες, που είναι η ανάπτυξη φιλικού επενδυτικού περιβάλλοντος για αυτές τις τεχνολογίες και το γεγονός πως η πολιτεία είναι σημαντικό να παίζει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία κατάλληλων υποδομών, με απώτερο στόχο την επέκταση της ευρυζωνικότητας στο σύνολο της επικράτειας. Τα κέρδη από όλα αυτά θα είναι καθοριστικά και θα έχουν άμεση σχέση με τον επιχειρηματικό κλάδο αλλά και γενικότερα με την ίδια την κοινωνία. Πιο συγκεκριμένα είναι εφικτό να παίζει καθοριστικό ρόλο στην αισθητή βελτίωση των υπηρεσιών υγείας, στον τομέα της εκπαίδευσης, στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, στην ανάπτυξη καινούριων θέσεων εργασίας κλπ.

5 Προκλήσεις και Προοπτικές - Συμπεράσματα

5.1 Προκλήσεις και Προοπτικές

Για τον τομέα που μελετάμε σε αυτήν την εργασία υπολογίζεται πως η συμβολή του θα προέλθει κατά κύριο λόγο από την αισθητή βελτίωση της παραγωγικής δράσης των χρηστών σε επιχειρηματικές δράσεις στο σύνολο της οικονομίας, διαμέσου της αξιολόγησης των ικανοτήτων που παρέχουν τα σύγχρονα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα καθώς επίσης και την αισθητή ανοδική τάση της χρήσης δεδομένων.

Στη σημερινή εποχή, η διείσδυση των συγκεκριμένων επικοινωνιών και ειδικότερα της κινητής ευρυζωνικότητας, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ραγδαία εξέλιξη ενός καινούριου τομέα, που είναι των κινητών εφαρμογών. Ο συγκεκριμένος τομέας είναι καταλυτικός όσον αφορά την εξέλιξη του ανταγωνισμού και την ανάπτυξη καινοτόμων δράσεων μέσα από τις δυνατότητες τις οποίες παρέχει, με απώτερο στόχο την ανάπτυξη καινούριων επιχειρηματικών μοντέλων, επαγγελμάτων αλλά και καινούριων αγορών. Τα τελευταία χρόνια, οι προοπτικές εξέλιξης του συγκεκριμένου τομέα δέχονται καθοριστικές επιρροές και επιδράσεις από την αισθητή ανοδική τάση χρήσης υπηρεσιών δεδομένων από κινητές επικοινωνίες που πενταπλασιάστηκε κατά την περίοδο του 2015 μέχρι και το 2018, αλλά και από την εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών από τους παρόχους με καινοτόμες υπηρεσίες για όλες τις ομάδες καταναλωτών τους [52].

Καθοριστικό θέμα αποτελεί και η ραγδαία εξέλιξη του δικτύου 5G και στη χώρα μας που αναμένεται να διαμορφώσει σε σημαντικό επίπεδο ένα καινούριο περιβάλλον, στο οποίο πολύπλοκα συστήματα επικοινωνιών θα κάνουν αποδοτικότερη τη χρήση των διαθέσιμων πόρων, ενεργοποιώντας παράλληλα καινούριες και βελτιωμένες υπηρεσίες αλλά και εφαρμογές (όπως είναι για παράδειγμα το IoT κλπ.) Με βασικότερο στόχο να καταφέρει να υλοποιηθεί σωστά, όμως, ο συγκεκριμένος ψηφιακός μετασχηματισμός στη χώρα μας, που αποτελεί εξάλλου και σημαντική πολιτική της ΕΕ, χρειάζεται ένας δυνατός εγχώριος τομέας ο οποίος συνδυαστικά με όλους τους άλλους παρόχους τεχνολογίας θα παίζει καθοριστικό ρόλο στη συγκεκριμένη εξέλιξη. Φυσικά, η προσαρμογή του εν λόγω τομέα στα σύγχρονα δεδομένα έχει ανάγκη από συστηματική ενέργεια από τη μεριά των παρόχων καθώς επίσης και από το ίδιο το κράτος. Με βασικότερο στόχο την ανάπτυξη των δικτύων 5G χρειάζονται μεγαλύτερες επενδυτικές κινήσεις, που θα υλοποιηθούν κατά κύριο λόγο από τις εταιρίες κινητών επικοινωνιών.

Για τον συγκεκριμένο λόγο η ύπαρξη κανονιστικού πλαισίου σε ό,τι έχει να κάνει με τις δράσεις αδειοδότησης και την απόδοση καινούριων φασματικών περιοχών αποτελεί καθοριστικό κριτήριο. Εξίσου καθοριστική παράμετρος διακρίνεται πως είναι και ο ψηφιακός μετασχηματισμός του κράτους. Κλασικές υπηρεσίες της Δημόσιας Διοίκησης είναι σημαντικό να αντικατασταθούν με καινούριες πρωτότυπες υπηρεσίες και εφαρμογές, οι οποίες θα έχουν την ευχέρεια να διευκολύνουν σε σημαντικό βαθμό

την εύρυθμη επιχειρηματική δράση και παράλληλα να κατορθώσουν να βελτιώσουν σημαντικά την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Εξίσου σημαντική, όμως, θα είναι και η βελτίωση των δράσεων ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, που θα αναπτύξουν καθοριστικά κριτήρια για καινούριες επενδυτικές κινήσεις και θέσεις εργασίας υψηλότερης ειδίκευσης. Παράλληλα, όμως, υφίσταται και ένα σημαντικό πρόβλημα, που είναι το γεγονός πως η δράση των υπηρεσιών αυτού του τομέα δέχεται αρνητικές επιρροές και επιδράσεις από την υψηλότερη φορολογία. Η χώρα μας τα τελευταία χρόνια έχει την πιο υψηλή συνολική φορολόγηση υπηρεσιών αυτής της μορφής στην Ευρώπη με τις αθροιστικές επιβαρύνσεις να ανέρχονται μέχρι και 50% της τελικής επιβάρυνσης. Η πρακτική φορολόγησης των συγκεκριμένων υπηρεσιών δεν συναντάται σε άλλα κράτη της ΕΕ, έχοντας σαν μοναδική εξαίρεση την Ουγγαρία και την Μάλτα, όπου υφίστανται ειδικοί φόροι. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό το ζήτημα θα έπαιζε η αισθητή ελάττωση είτε ακόμα και η κατάργηση του ειδικού τέλους σε αυτές τις επικοινωνίες, κάτι το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει σταδιακά στην αισθητή μείωση του κόστους σύνδεσης [47].

Βάσει αποτελεσμάτων αρκετών ερευνών, σε ό,τι έχει να κάνει με την εκτίμηση της ελαστικότητας της ζήτησης των εν λόγω υπηρεσιών και σε ό,τι έχει να κάνει με τις τιμές και τις εισροές, θα πρέπει να σημειωθεί πως προκύπτει πως η χρήση δεδομένων από αυτές τις επικοινωνίες έχει αρνητική σχέση με την τιμή για αυτές τις υπηρεσίες. Στατιστικά καθοριστική και αρνητική, παρόλο που είναι ιδιαίτερα πιο χαμηλή σε σχέση με τις υπηρεσίες δεδομένων, είναι η συσχέτιση μεταξύ τιμής και χρήσης υπηρεσιών ομιλίας. Ειδικότερα, η πτώση της τιμής για κάθε λεπτό ομιλίας κατά 10%, έχει άρρηκτη σχέση με την ανοδική τάση των λεπτών ομιλίας κατά σχεδόν 1,1%.

Έρευνες αναφέρουν πως την περίοδο του 2023 τα κινητά τηλέφωνα με τεχνολογία 4G θα είναι πιο λίγα σε σχέση με τα κινητά τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν με δίκτυα 5G ενώ την περίοδο του 2035 η ανάπτυξη του δικτύου 5G θα συμβάλλει στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με ένα ποσό που προσεγγίζει τα 12,3 τρισεκατομμύρια δολάρια[49,52]. Είναι σαφές, πως για την επόμενη πενταετία έχει διαμορφωθεί μια καθορισμένη πολιτική, όπου οι πάροχοι του συγκεκριμένου τομέα σε διεθνές επίπεδο, θα κατευθύνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των επενδυτικών τους κινήσεων στα δίκτυα 5G. Για την περίοδο του 2020 μέχρι και το 2025, οι εν λόγω πάροχοι, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν δρομολογήσει επενδυτικές κινήσεις, οι οποίες αγγίζουν τα 970 δισεκατομμύρια ευρώ [20]. Ένα ποσοστό της τάξης του 80% των συγκεκριμένων κινήσεων, δηλαδή σχεδόν 770 δισεκατομμύρια ευρώ, θα οδηγηθεί σε δράσεις οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την τεχνολογία 5G. Οι εταιρίες του συγκεκριμένου τομέα θα προσφέρουν το παραπάνω ποσοστό μέχρι την περίοδο του 2025. Σε ό,τι έχει να κάνει με την οριζόντια επίδραση αυτής της τεχνολογίας στην οικονομία, είναι σημαντικό να τονιστεί πως αφορά την ενίσχυση της εισαγωγής καινούριων εφαρμογών αλλά και υπηρεσιών σε πιο υψηλές ταχύτητες με πιο χαμηλή καθυστέρηση. Αισθητή θα είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των εταιριών και των καινοτόμων δράσεων διαμέσου της ανοδικής τάσης της ταχύτητας λήψης ευρυζωνικών υπηρεσιών, η ενεργοποίηση μεγαλύτερης χρήσης των υπηρεσιών του διαδικτύου καθώς επίσης και η προβολή καινούριων ειδών ανταγωνισμού στις σύγχρονες αγορές ασύρματης και σταθερής ευρυζωνικότητας [17].

Σχετικά με τις αδειοδοτήσεις και τις εγκαταστάσεις των κεραιοσυστημάτων, απαιτείται ευελιξία, διευκόλυνση και επιτάχυνση της όλης διαδικασίας. Το ίδιο όμως ισχύει και για την υποδομή των οπτικών ινών και την πρόσβαση σε αυτή, ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της ανάγκης για ανάπτυξη πυκνού δικτύου από small cells, όπου οι Σταθμοί Βάσης θα πρέπει σε μεγάλο βαθμό να συνδέονται με το δίκτυο κορμού μέσω οπτικών ινών. Παράλληλα, με την οπισθοζευκτική διασύνδεση με το δίκτυο των οπτικών ινών, υπάρχει άμεση ανάγκη για επέκταση της διασύνδεσης των διαφόρων κόμβων του δικτύου (backhaul/fronthaul) μέσω ασύρματων ζεύξεων υπερ-υψηλών ταχυτήτων, όπως οι ζεύξεις στις χιλιοστομετρικές συχνότητες στα 70/80 GHz (E-band), αλλά και υψηλότερα στα 90 GHz. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συνεργασία των παρόχων και όλων των αρχών και τοπικών οργανισμών, προκειμένου να γίνει εφικτή η έγκαιρη και αποδοτική πυκνοποίηση του δικτύου, με εγκατάσταση μικρών Σταθμών Βάσης σε κολώνες, τοίχους πολυκατοικιών, άλλους δημόσιους χώρους κ.λπ. Στο θέμα αυτό υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για αυξημένες γραφειοκρατικές διαδικασίες στην αδειοδότηση της εγκατάστασης και απαιτείται καλή προετοιμασία, κωδικοποίηση και απλούστευση της νομοθεσίας, καθώς και χάραξη οδηγιών και διαδικασιών για την πύκνωση των Σ/Β [47].

Μία σημαντική πρόκληση η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί για την ομαλή υλοποίηση των δικτύων 5G αφορά την ασφάλεια που θα παρέχουν. Επειδή τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) θα αποτελέσουν το μελλοντικό στυλοβάτη της κοινωνίας και της οικονομίας μας θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα ασφάλειας. Τον Μάρτιο του 2019 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διατύπωσε σύσταση σχετικά με δέσμη επιχειρησιακών βημάτων και μέτρων για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου κυβερνοασφάλειας για τα δίκτυα 5G σε ολόκληρη την ΕΕ. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να συνδέσουν δεκάδες εκατομμύρια συσκευές και συστήματα σε τομείς κρίσιμης σημασίας, όπως η ενέργεια, οι μεταφορές, οι τράπεζες, η υγεία και τα συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, που μεταφέρουν ευαίσθητα δεδομένα και πληροφορίες. Διαδικασίες όπως οι εκλογές, βασίζονται ολοένα και περισσότερο σε ψηφιακές υποδομές και δίκτυα, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη να αντιμετωπιστούν τυχόν ευάλωτα σημεία [18].

5.2 Συμπεράσματα

Είναι πλέον σαφές πως οι κινητές επικοινωνίες διεισδύουν ολοένα και περισσότερο στη ζωή μας και αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς μας. Στα χρόνια που έπονται, θα γίνουν ριζικές αλλαγές στον κλάδο κινητών επικοινωνιών οι οποίες πρόκειται να δημιουργήσουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες εφαρμογές και καινοτομίες. Αυτό θα γίνει γιατί το 5G θα μας δίνει τη δυνατότητα εξαιρετικά υψηλών ταχυτήτων, μηδαμινής καθυστέρησης καθώς και οτιδήποτε άλλο κρίνει απαραίτητο ο πελάτης για την επικοινωνία του. Σε αυτό θα συμβάλλουν νέες οι τεχνολογίες που αναλύθηκαν όπως η αρχιτεκτονική Cloud-RAN (C-RAN) καθώς και η SDN και NFV τεχνολογίες οι οποίες θα έχουν ως αποτέλεσμα την λογισμικοποίηση του δικτύου με πολλά πλεονεκτήματα για αυτό.

Επιπροσθέτως σημαντική είναι η αναφορά που έγινε στο τι είναι το Network Slicing καθώς και στο ότι οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα πλέον να επιλέγουν τον τύπο υπηρεσιών και τα χαρακτηριστικά που επιθυμούν από τους παρόχους. Τέλος, αποτυπώσαμε τις προκλήσεις και τα προβλήματα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε κατά την ανάπτυξη του 5G. Η ευρυζωνικότητα, στην πλήρη της διάσταση, έχει σαν βασικότερο κριτήριο το γεγονός πως θα πρέπει να υφίστανται δίκτυα κορμού οπτικών αρτηριών σε εθνικό καθώς επίσης και σε περιφερειακό επίπεδο. Με απώτερο στόχο την εξάπλωση της στον τελικό χρήστη, χρειάζεται ανάπτυξη πυκνών δικτυακών υποδομών στο τοπικό επίπεδο πρόσβασης. Καθοριστικό είναι να διατεθούν σε προσιτές τιμές λύσεις, όπως είναι για παράδειγμα οι ευρυζωνικές υπηρεσίες κλπ, προκειμένου να ενθαρρυνθεί η ζήτηση και σταδιακά να αναπτυχθούν τα κατάλληλα κριτήρια για μια ανταγωνιστική αγορά αυτού του είδους.

Με κυριότερο σκοπό να οδηγηθούμε σε ένα σωστό σημείο δράσης της εν λόγω αγοράς, το κράτος είναι ζωτικής σημασίας να δράσει στις ευρυζωνικές τηλεπικοινωνίες σαν διαμορφωτής καθορισμένων στρατηγικών, σαν μεγάλος χρήστης των δικτυακών υπηρεσιών καθώς επίσης και σαν διαχειριστής άμεσων είτε ακόμα και έμμεσων παρεμβάσεων στον εν λόγω κλάδο. Γενικότερα, όλα αυτά τα χρόνια οι ΤΠΕ έχουν εισχωρήσει για τα καλά στην καθημερινότητα των ανθρώπων και υφίστανται παράλληλα με όλα τα αγαθά και τις υπηρεσίες και είναι λίγες οι παραγωγικές δράσεις οι οποίες υλοποιούνται στη σύγχρονη εποχή δίχως τον καθοριστικό ρόλο τους.

Την τελευταία δεκαετία η ΕΕ είναι αντιμέτωπη με την παγκόσμια χρηματοοικονομική ύφεση και με διάφορες κοινωνικές και χρηματοοικονομικές συνέπειες που έχει επιφέρει. Η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών στην κοινωνική και οικονομική ζωή των ανθρώπων αποτελεί έναν από τους βασικότερους πυλώνες, με απώτερο στόχο την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Οι υποδομές δικτύων 5G θα αποτελέσουν ένα από τα πιο χρήσιμα μέσα και εργαλεία με βασικότερο στόχο την υποστήριξη του συγκεκριμένου μετασχηματισμού.

Η καθιέρωση της τεχνολογίας 5G αναμένεται να μεταβάλλει ριζικά τη μέθοδο δράσης των σημερινών δικτύων, καθώς εμφανίζει καθοριστικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Έτσι θα υπάρξει σημαντική βελτίωση σε όλες τις φορητές συσκευές καθώς όλες θα βρίσκονται σε σύνδεση με τους servers από τους οποίους αντλεί δεδομένα, κάτι το οποίο θα έχε θετικές επιπτώσεις σε αρκετές και διαφορετικές διαδικτυακές υπηρεσίες. Σε όλα αυτά καθοριστικό ρόλο πλέον παίζει η ψηφιακή ατζέντα που ισχύει από την περίοδο του 2010 ενώ πλέον υφίσταται πρόγραμμα στη χώρα μας με προοπτικές μέχρι και την περίοδο του 2025.

6 Βιβλιογραφία

- [1] Tanenbaum, A.S., (2011). Computer Networks. Fifth Edition, Prentice Hall.
- [2] Ειρήνη-Αδαμαντία Τσώνη, (2008), Η ιστορία των τηλεπικοινωνιών, <http://cgi.di.uoa.gr/~std03134/telcomhist/telcomhist.htm> (last access 22/02/2021)
- [3] Θεολόγου Μιχαήλ, (2014), Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2^η έκδοση
- [4] Maloberti, Franco, Davies, Anthony C., (2016), A Short History of Circuits and Systems, IEEE Circuits and Systems Society. pp. 59-70.
- [5] Akaiwa Y., (2015), Introduction to Digital Mobile Communication, 2nd Edition, Wiley.
- [6] Penttinen J.T.J., (2019), 5G Simplified: ABCs of Advanced Mobile Communications, independently published.
- [7] Stuber G.L., (2017), Principles of Mobile Communication, 4th Edition, Springer.
- [8] Πολομαρκάκης X., Παράνομος X., (2018), Δίκτυα 5G-PPP και οι Εφαρμογές τους, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
- [9] Holma H., Toskala A., Nakamura T., (2020), 5G Technology: 3GPP New Radio, Wiley.
- [10] Cisco Visual Networking Index, (2017): “Forecast and Methodology of Data”, 2016–2021
- [11] GSMA, G. Intelligence, (2014) “Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile,”
- [12] D. Trossen and D. Soldani, (2014), “What is 5G (Really) About”
- [13] Ezanuddin A. A. M., Soh P. J., Malek M. F., and Abdul Aziz M. Z. A., (2009), “Investigation of Broadbanding Techniques on a novel folded meander line antenna (FMLA)” Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings.
- [14] R. E. Hattachi, J. Erfanian, (2015), “5G White Paper”, NGMN,
- [15] European Commission, (2016), “5G for Europe: An Action Plan”
- [16] ΕΕΚΤ, (2017), “Οι κινητές επικοινωνίες και η κινητή ευρυζωνικότητα ως μοχλοί οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης”
- [17] IOBE, (2019) “Η σημασία των κινητών επικοινωνιών και της ευρυζωνικότητας στο νέο αναπτυξιακό πρότυπο της ελληνικής οικονομίας”
- [18] Γκίκα Ζ., Χατζηπέρη Ζ, (2020), “Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους”, Διπλωματική εργασία, ΕΚΠΑ
- [19] Balazs Bertenyi, (2019), “5G in Release 17 – strong radio evolution”, <https://www.3gpp.org/news-events/2019-5g-in-release-17-%E2%80%93-strong-radio-evolution> (last access 23/02/2021)
- [20] S. Mittal, M. Granryd , (2019), “The 5G Guide A Reference For The Operators” GSMA

- [21] Τασσοπούλου Φ., (2017), “Χαρακτηρισμός ασύρματου διαύλου δικτύων κινητών επικοινωνιών 5ης Γενιάς (5G), Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [22] Σαλίμπα Αλίκη, (2018), Προοπτικές ανάπτυξης των ηλεκτρονικών επικοινωνιών στην Ελλάδα, Εκδόσεις Σιδέρη
- [23] Rodriguez J., (2015), “Fundamentals of 5G mobile networks”, Wiley, Pondicherry
- [24] K.R. Chowdhary, (2020), Fundamentals of Artificial Intelligence, Springer
- [25] EMF, (2018), 5G & EMF explained
- [26] 5GPPP Architecture Working Group, (2017), View on 5G Architecture, 2nd edition
- [27] Ericsson Mobility Report, June 2020
- [28] Καλύβας Ν., (2018), Δίκτυα 5ης Γενιάς - Τεχνολογίες Δικτύωσης καθοριζόμενες από το Λογισμικό & Εικονικοποίησης δικτυακών λειτουργιών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [29] Τζαγκαράκης Π., (2016) , Τεχνολογίες κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς
- [30] ΕΕΚΤ, (2017), Κείμενο Παρουσίασης της Γνωμοδότησης περί της Αρχιτεκτονικής των Δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης Κινητής Τηλεφωνίας στον ΓΤΤ
- [31] Κυριακίδης Δ., (2017), Δίκτυα Υποδομής και Τεχνολογίες Δικτύωσης για Συστήματα 5ης Γενιάς
- [32] A. Damnjanovic, (2014), “Network densification: The dominant theme for wireless evolution into 5G”
- [33] J. Turkka, M. Costa., and P. Kela, (2015), “Borderless Mobility in 5G Outdoor Ultra-Dense Networks,”
- [34] ITU, (2018), Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges
- [35] Pompili, Dario, Hajisami, Abolfazl, Viswanathan, Hariharasudhan, (2015). "Dynamic Provisioning and Allocation in Cloud Radio Access Networks (C-RANs)". Ad Hoc Networks. 30: 128–143
- [36] A. Dawson, M. William, K. Mahesh, and F. J. Garcia, (2014), “On the benefits of RAN virtualisation in CRAN based mobile networks”
- [37] I. Giannoulakis, E. Kafetzakis, G. Xylouris, G. Gardikis, and A. Kourtis., (2014), “On the Applications of Efficient NFV Management Towards 5G Networking.”
- [38] R. Mijumbi, J. Serrat, J. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba, “Network Function Virtualization: State-of-the- art and Research Challenges”
- [39] A. Azcorra and U. Carlos, (2014), “Network and Service Virtualization.”
- [40] V. Jungnickel, C. Bock, J. Ferrer, D. Levi, T. Mendes, and M. Parker, (2015) “Software-defined Architecture for 5G Front- and Backhaul over Heterogeneous Access Networks,
- [41] N. Panwar, S. Sharma, and A. K. Singh, (2016) “A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication *,”
- [42] A. Dawson, M. William, K. Mahesh, and F. J. Garcia, (2018) “On the benefits of RAN virtualisation in CRAN based mobile networks,”

- [43] Γεωργακόπουλος Α., (2018), 5G Network Slicing: Περιγραφή και Προκλήσεις, ΕΚΠΑ
- [44] Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, (2017), Επισκόπηση Αγορών Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών & Ταχυδρομικών Υπηρεσιών
- [45] Μπουγάς Ν., (2016), Κινητά δίκτυα 4G, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [46] Γιώτη Ε.Α., (2018), Χρηματοοικονομική ανάλυση κινητών παρόχων στην Ελλάδα, Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- [47] ΕΕΤΤ, (2018), Προοπτικές Ανάπτυξης των ηλεκτρονικών επικοινωνιών στην Ελλάδα. Στρατηγική – Προκλήσεις -Όραμα
- [48] Σκοπελίτης Ε., (2020), Παρουσίαση της μελέτης για την εισαγωγή και τη λειτουργία δικτύων 5G στην Ελλάδα, https://www.ey.com/el_gr/news/2020/11/ey-parousiasi-tis-meletis-gia-tin-eisagogi-kai-ti-leitourgia-diktuon-5g-stin-ellada (last access 22/02/2021)
- [49] IHS Economics & IHS Technology, (2017), The 5G Economy: How 5G Technology Will Contribute to the Global Economy
- [50] Accenture, (2020), Greece Race to 5G Full Report
- [51] InCites, (2020), Europe 5G Readiness Index Report
- [52] Deloitte, (2019), Ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα οικονομίας και επιχειρήσεων, Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού
- [53] Φραγκούλη Ν., (2019), 29η μεταξύ 38 ευρωπαϊκών χωρών η Ελλάδα στον Δείκτη Ετοιμότητας 5G, <http://www.sepe.gr/gr/research-studies/article/12950195/29i-metaxu-38-europaikon-horon-i-ellada-ston-deikti-etoimotitas-5g/> (last access 22/02/2021)
- [54] European Commission, (2020), Digital Economy and Society Index (DESI) 2020 - Thematic chapters