



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επισκόπηση της εξέλιξης των δικτύων 5^{ης} γενιάς στην
Ευρώπη**

Σταύρος Ν. Τσουγκριάνης

Επιβλέπων: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επισκόπηση της εξέλιξης των δικτύων 5^{ης} γενιάς στην Ευρώπη

Σταύρος Ν. Τσουγκριάνης

A.M.: M1513

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής**

Ιούλιος 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρά την πρόοδο στον σχεδιασμό των δικτύων τέταρτης γενιάς (4G) ως προς την κάλυψη των χρηστών, τίθεται επιτακτική η ανάγκη σχεδιασμού και υλοποίησης των δικτύων πέμπτης γενιάς, προκειμένου να ικανοποιηθεί η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για πόρους. Οι απαιτήσεις ως προς τη χρήση δεδομένων για εφαρμογές από κινητά τερματικά αυξάνεται καθημερινά σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς, αξιοπιστία, επιδόσεις και κάλυψη οφείλεται στον τεράστιο όγκο δεδομένων, στον οποίο θέλουν πλέον να έχουν πρόσβαση οι κινητοί χρήστες. Οι ασύρματες συσκευές (smartphones, tablets), οι οθόνες υψηλής ανάλυσης, η πρόσβαση σε εφαρμογές video υψηλής ανάλυσης, οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time) αλλά και η ευρύτερη ανάγκη για γρήγορους ρυθμούς οπουδήποτε και οποτεδήποτε, είναι οι κυριότεροι παράγοντες για την μετάβαση στα 5G δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά αναμένεται να τεθούν σε χρήση στις αρχές της επόμενης δεκαετίας, δηλαδή το 2020, ενώ ως στόχος είναι η επίτευξη ρυθμών της τάξης των Gigabit ανά δευτερόλεπτο.

Ο σκοπός ανάπτυξης των 5G δικτύων είναι η επίλυση των ζητημάτων της περιορισμένης ταχύτητας και εύρους ζώνης, η αποτελεσματικότερη κάλυψη των χρηστών, αλλά και η μείωση της υπολογιστικής ισχύος που απαιτείται από το δίκτυο. Τα 5G δίκτυα είναι ο πυλώνας στον οποίο θα βασιστεί το Internet of Things (IoT), και οι ποικίλες εφαρμογές του, προκειμένου να παρέχεται καλό επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) στον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν σε βάθος οι βασικές αρχές και τεχνολογίες, πάνω στις οποίες θα βασιστούν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Αρχικά, παρουσιάστηκαν ορισμένες εισαγωγικές πληροφορίες που αφορούν τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, καθώς και την πρόοδο των προηγούμενων δικτυακών τεχνολογιών. Στη συνέχεια, δόθηκε έμφαση στα κίνητρα που οδήγησαν στην ανάγκη ανάπτυξης των νέων αυτών συστημάτων, όπως είναι οι απαιτήσεις για μικρότερες καθυστερήσεις, μεγαλύτερους ρυθμούς και η δυνατότητα υποστήριξης περισσότερων συσκευών. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν ορισμένες τεχνολογίες, πάνω στις οποίες αναμένεται να βασιστούν οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, προκειμένου να αναπτύξουν το 5G. Κάποιες από αυτές είναι το Massive MIMO, το Millimeter Wave, τα Software Defined Networks και το Network Function Virtualization.

Στη συνέχεια, έγινε αναφορά στη συνεργασία φορέων για τις υποδομές του 5G (5G-PPP), καθώς και στους στόχους και τις προκλήσεις που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν. Ακόμα, μελετήθηκε η συνολική αρχιτεκτονική του 5G, καθώς και τα λειτουργικά του επίπεδα. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάστηκαν ορισμένα από τα projects της 1^{ης} και 2^{ης} φάσης καθώς και όλα τα έργα της 3^{ης} παρούσας φάσης του 5G-PPP. Τέλος, παρατέθηκαν τα συνολικά συμπεράσματα από τα projects 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} φάσης από όπου προκύπτουν και οι σχεδιαστικές αρχές και τα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G. Στα χαρακτηριστικά αυτά συγκαταλέγεται και ο μεγάλος αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών, το ελαττωμένο end-to-end latency και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης. Τέλος, παρουσιάστηκε η εικόνα της εξέλιξης και επανάστασης του 5G στα πλαίσια προβλέψεων του 5G για το διάστημα 2020-2025.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Δίκτυα Επικοινωνιών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: δίκτυα πέμπτης γενιάς, κινητές επικοινωνίες, τεχνολογίες πέμπτης γενιάς, εξέλιξη δικτύων, κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις

ABSTRACT

Despite the progress in designing fourth-generation (4G) networks in terms of user coverage, there is an urgent need to design and implement fifth-generation networks to meet the ever-growing need for resources. Data usage requirements for mobile applications are increasing daily on a global basis. The need for higher rates, reliability, performance and coverage is due to the huge amount of data that mobile users now want to access. Smartphones, tablets, high-resolution screens, access to high-definition video applications, real-time applications, and the increasing need for fast rates anywhere and anytime, are the key factors for moving to 5G networks. These networks are expected to be deployed at the beginning of the next decade, in 2020, with the goal of achieving Gigabit rates per second.

The purpose of their development is to solve the problems of limited speed and bandwidth, more efficient coverage to users, and the reduction of the computing power required by the network. 5G networks are the pillar on which the Internet of Things (IoT), and its various applications, will be based in order to provide a good level of Quality of Service (QoS) to the ever increasing number of users.

In this diploma thesis we studied in depth the basic principles and technologies on which the fifth generation networks will be based. Initially, information was introduced regarding wireless cellular networks, as well as the advancement of previous network technologies. After that, emphasis was given to the incentives that led to the need to develop these new systems, such as requirements for shorter delays, higher rates and the ability to support more devices. In addition, a number of technologies were presented, on which telecommunications companies are expected to build in order to develop the 5G technology. Some of these are Massive MIMO, Millimeter Wave, Software Defined Networks and Network Function Virtualization.

Then, we focused on the 5G (5G-PPP) infrastructure co-operators and the goals and challenges they may face. Additionally, the overall architecture of the 5G, as well as its functional levels were studied. In this context, some of the projects of the 1st and 2nd phase as well as all projects of the 3rd phase of the 5G-PPP were presented. Finally, the overall conclusions from the 1st, 2nd and 3rd phase projects, from which the design principles and features of 5G networks also arise, were demonstrated. These features include a large number of interconnected devices, reduced end-to-end latency and reduced energy consumption in the wireless access network. Finally, a picture of the evolution and revolution of 5G was presented in the context of the 5G predictions for the time period of 2020-2025.

SUBJECT AREA: Communication Networks

KEYWORDS: fifth generation networks, mobile communications, 5G technologies, network evolution, socio – economic dimensions

Στην οικογένειά μου που με στηρίζουν σε κάθε προσπάθειά μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες, καθηγητή Λάζαρο Μεράκο καθώς και τη διδάκτορα Ειρήνη Λιώτου, για την υποστήριξη και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσαν να συνεργαστώ μαζί τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Η σημασία των ασύρματων επικοινωνιών	13
1.2 Οι γενιές των δικτύων μέχρι σήμερα	15
1.2.1 Σύνοψη κοινών χαρακτηριστικών των δικτύων από 1G-5G	16
1.3.1 Ανάπτυξη των συσκευών τηλεφώνου	20
1.3.2 Ανάπτυξη του δικτύου κορμού με βάση τα πρότυπα	20
1.3.3 Κατακόρυφη εξέλιξη	21
2. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ 5G	22
2.1 Απαιτήσεις του 5G	23
2.1.1 Περίπτωση χρήσης του 5G: Ευρυζωνική Πρόσβαση σε πυκνοκατοικημένες περιοχές	24
2.1.2 Περίπτωση χρήσης του 5G: Ευρυζωνική Πρόσβαση Παντού	26
2.1.3 Περίπτωση χρήσης του 5G: Υψηλότερη Κινητικότητα Χρήστη	26
2.1.4 Περίπτωση χρήσης του 5G: Μαζικό Διαδίκτυο Πραγμάτων	27
2.1.5 Περίπτωση χρήσης του 5G: Επικοινωνίες Πραγματικού Χρόνου	28
2.1.6 Περίπτωση χρήσης του 5G: Επικοινωνία Ζωτικής Σημασίας	29
2.1.7 Περίπτωση χρήσης του 5G: Πολύ Αξιόπιστες Επικοινωνίες	29
2.1.8 Περίπτωση χρήσης του 5G: Υπηρεσίες Αναμετάδοσης	31
2.1.9 Αρχές σχεδιασμού 5G	32
2.2 Αρχιτεκτονική 5G και εικονικοποίηση	35
2.3 Ψηφιακός χάρτης του 5G	37
2.4 Οι απαιτήσεις από την πλευρά της αγοράς	37
2.4.1 Απαιτήσεις αγοράς για συνδέσεις και κίνηση δεδομένων	37
2.4.2 Η αγορά του IoT	40
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ 5G	43
3.1 Τα Project 1ης φάσης του 5G-PPP	43
3.2 Τα Project 2ης φάσης του 5G-PPP	44
3.3 Έργα της 3ης φάσης του 5G - PPP	46
3.3.1 Μέρος 1: Έργα Υποδομής	47
3.3.2 Μέρος 2: Έργα Automotive	51
3.3.3 Μέρος 3: Προηγμένες δοκιμές εξακρίβωσης 5G σε κάθετες αγορές	54
3.3.4 Μέρος 4: Συμπληρωματικό Έργο: 5G - Drive	62
3.4 Πρόοδος εθνικών στρατηγικών και σχεδίων	64
3.4.1 Διαβουλεύσεις: 18 μέλη της ΕΕ εκπόνησαν δημόσιες διαβουλεύσεις στο 5G	65
3.4.2 Εθνικές Στρατηγικές	65
3.4.3 Αναλυτικά στατιστικά για το 5G Scoreboard	66
3.5 Πόλεις με 5G	68
3.5.1 Βαρκελώνη	68
3.5.2 Βερολίνο	69
3.5.3 Πάτρα	70
3.5.4 Ουλού	71
3.5.5 Μπρίστολ	72

3.6 Διάθεση φάσματος από τις δημόσιες αρχές.....	74
3.6.1 Επισκόπηση της διαδικασίας ανάθεσης φάσματος	74
3.6.2 Επιτρέποντας τη χρήση φάσματος για το 5G	76
4. ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ (EVOLUTION AND REVOLUTION)	77
4.1 Εξέλιξη και Επανάσταση (Evolution and Revolution).....	77
4.2 Η εικόνα της "εξέλιξης"	77
4.2.1 Προσδοκώμενα αποτελέσματα	77
4.2.2 Τακτικές και ρυθμιστικές ενέργειες για την εικόνα της "Εξέλιξης"	79
4.3 Η εικόνα της "επανάστασης"	82
4.3.1 Προσδοκώμενα αποτελέσματα	83
4.3.2 Τακτικές και ρυθμιστικές ενέργειες για την εικόνα της "Επανάστασης"	85
4.4 Εκκίνηση του 5G και συσχέτιση με τις εικόνες "Εξέλιξης" και "Επανάστασης"	87
4.4.1 Στατιστικά	90
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
5.1 Πλάνα για το μέλλον	92
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	94
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	95
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Περιπτώσεις χρήσης 5G και σχετικά παραδείγματα, [6].	24
Εικόνα 2: Αρχές σχεδιασμού 5G, [6].	32
Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική 5G.	35
Εικόνα 4: Πλαίσιο εικονικοποίησης από τον οργανισμό ETSI.	36
Εικόνα 5: Ψηφιακός χάρτης 5G, 2014-2024.	37
Εικόνα 6: Συνδρομές κινητής τηλεφωνίας με βάση την τοποθεσία και την τεχνολογία.	38
Εικόνα 7: Κυκλοφορία κινητών δεδομένων για κάθε ενεργό smartphone (GB ανά μήνα).	39
Εικόνα 8: Παγκόσμια κυκλοφορία κινητών δεδομένων (EB ανά μήνα), [7].	40
Εικόνα 9: Παγκόσμιες κινητές M2M συνδέσεις ανά τεχνολογία, [8].	41
Εικόνα 10: Προσέγγιση του έργου 5G - Tours.	56
Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική του 5G - Tours.	57
Εικόνα 12: UAV διαχείριση κίνησης.	59
Εικόνα 13: Μέτρηση δρόμου από κινητό ρομπότ για την παροχή σχετικής θέσης και εσωτερικών χαρτών.	64
Εικόνα 14: Χώρες με παρόχους που επενδύουν σε δίκτυα 5G.	66
Εικόνα 15: 5G Scoreboard στην ΕΕ - 28.	67
Εικόνα 16: Πρωτοβουλία 5G Patras.	71
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική έξυπνης πόλης για την περίπτωση χρήσης της ασφάλειας.	73
Εικόνα 18: Δομικά στοιχεία που συνεισφέρουν στην ασφάλεια της έξυπνης πόλης.	74
Εικόνα 19: Εκτιμώμενο κόστος ανά συνδρομητή των επόμενων γενιών κινητής τηλεφωνίας.	78
Εικόνα 20: Πλήθος παρουσιάσεων και δοκιμών 5G σύμφωνα με τις χρησιμοποιούμενες ζώνες φάσματος (συχνά πολλαπλές δοκιμές ανά πάροχο).	87
Εικόνα 21: Ζώνες φάσματος που χρησιμοποιούνται σε δοκιμές 5G, βασισμένες σε κατανομές ζώνης φάσματος 5G της 3GPP.	88
Εικόνα 22: Απόδοση δικτύου, όπως μετρήθηκε στις δοκιμές 5G.	89
Εικόνα 23: Καθυστέρηση δικτύου από τις δοκιμές 5G].	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Επαναλαμβανόμενο μοτίβο από το 1G στο 5G.	16
Πίνακας 2: Έργα πλατφορμών υποδομής 5G, Φάσης 3.....	47

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο "Επισκόπηση της εξέλιξης του 5G στην Ευρώπη" εκπονήθηκε στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, στα πλαίσια των υποχρεώσεων μου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών".

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας έγινε στα πλαίσια της συνεργασίας με τον καθηγητή Λάζαρο Μεράκο και τη διδάκτορα Ειρήνη Λιώτου στον τομέα των δικτύων, και έχει ως σκοπό την εκτενέστερη μελέτη των δικτύων 5^{ης} γενιάς στην Ευρώπη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κοιτώντας πίσω στις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται ότι περίπου κάθε 10 χρόνια εισάγεται μια νέα γενιά τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών. Αυτή η περιοδικότητα ξεκίνησε με τη γενιά 1G το 1981 και ολοκληρώθηκε με την τελευταία γενιά, 4G, που εισήχθη το 2009. Επομένως, η επόμενη γενιά (αντίστοιχα) 5G αναμένεται να εισαχθεί γύρω στο 2020. Κάθε νέα γενιά αντιπροσωπεύει ένα πολύπλοκο συνδυασμό παραγόντων, όπως των κατασκευαστών εξοπλισμού υποδομής, των κατασκευαστών συσκευών, των παρόχων κινητής τηλεφωνίας και των τελικών χρηστών, καθώς και των ρυθμιστών – φορέων οριοθέτησης κανόνων σε εθνικό, τοπικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συνολική διαδικασία περιλαμβάνει την κατανομή και την εκχώρηση νέων ζωνών ραδιοσυχνοτήτων, την ανάπτυξη ενός νέου προτύπου, την ανάπτυξη νέου εξοπλισμού δικτύου, την επένδυση σε νέα υποδομή, την προώθηση στην αγορά νέων συσκευών και την παράδοση στους τελικούς χρήστες. Πρόκειται για μια διαδικασία με ρίσκο που απαιτεί υψηλές επενδύσεις, οι οποίες μπορούν να είναι επιτυχείς μόνο αν οι διαδικασίες είναι σωστά συντονισμένες αλλά και παράλληλα όταν η προσφορά και η ζήτηση μπορούν να εξισορροπηθούν.

Οι ευρωπαϊκοί ρυθμιστικοί φορείς εστιάζουν τις ενέργειές τους για την επιτυχία της επόμενης γενιάς κινητής τηλεφωνίας, διότι η υποδομή ηλεκτρονικών επικοινωνιών με χαρακτηριστικά μεγάλης χωρητικότητας αναγνωρίζεται ως ακρογωνιαίος λίθος της οικονομικής ανάπτυξης και της αύξησης της παραγωγικότητας. Επιπλέον, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι ηλεκτρονικές επικοινωνίες έχουν καταστεί στρατηγικό στοιχείο στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς. Μετά την επιτυχία της δεύτερης γενιάς κινητής τηλεφωνίας-το GSM-μελετάται ο ρόλος της Ευρώπης στην ανάπτυξη των κινητών επικοινωνιών διαδοχικά για κάθε γενιά.

Το σημείο αναφοράς για την ευρωπαϊκή ηγετική θέση στις κινητές επικοινωνίες είναι το GSM, τεχνολογία δεύτερης γενιάς που εισήχθη το 1991, το οποίο έφτασε στο αποκορύφωμά του το 2015 με 3.83 δισ. συνδρομητές που εξυπηρετούνταν από περισσότερους από 700 παρόχους σε 219 χώρες. Αυτό είναι ένα σημαντικό επίτευγμα, δεδομένου ότι η πιο άμεσα ανταγωνιστική τεχνολογία 2G - CDMA - έφτασε στο αποκορύφωμά της με 374 εκατομμύρια συνδρομητές το 2015. Αυτό αντιπροσωπεύει μια διαφορά τάξης μεγέθους 10. Ωστόσο, στην Ευρώπη, η επόμενη γενιά 3G - UMTS θεωρείται γενικά λιγότερο επιτυχημένη, έχοντας αρχίσει αργά την ανάπτυξή της σε σύγκριση με την πολύ ταχύτερη υιοθέτησή της στην Αμερική και την Ασία. Παρόλα αυτά, από την πλευρά των καταναλωτών, το 3G και το 4G μπορούν να θεωρηθούν αρκετά επιτυχημένα, λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα τιμών και τους ρυθμούς δεδομένων που παρέχονταν.

Ως εκ τούτου, με το 5G να διαμορφώνεται γρήγορα από πλευράς R&D και τυποποίησης, υπάρχουν διάφορα ερωτήματα-προκλήσεις που πρέπει να απαντηθούν. Για παράδειγμα, ποιες είναι οι πληροφορίες από το 1G έως το 4G που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εισαγωγή του 5G στην Ευρώπη; Ποιοι είναι οι ρυθμιστικοί κανόνες και πολιτικές που θα πρέπει να οριστούν για μια επιτυχημένη ανάπτυξη του 5G στην Ευρώπη; Τι έχει κοινό το 5G με τις προηγούμενες γενιές και πού διαφέρει; Επιπλέον, μήπως το μέλλον είναι προκαθορισμένο από τις προηγούμενες γενιές, από μια κυρίαρχη βιομηχανική δομή ή υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις; Υπάρχουν ενδεχομένως κάποια εμπόδια που θα απαιτήσουν ιδιαίτερη αντιμετώπιση από τους ρυθμιστικούς φορείς, καθώς η αντιμετώπισή τους μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά μελλοντικά οφέλη;

Για να απαντηθούν αυτές οι ερωτήσεις, πρέπει πρώτα να αξιολογηθούν οι τεχνολογίες των προηγούμενων γενιών κινητής επικοινωνίας και να εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τους ρυθμιστικούς κανόνες, με βάση την ευρωπαϊκή ηγεσία στο

GSM. Επίσης, θα πρέπει να μελετηθεί το 5G, οι στόχοι που έχει θέσει, η αρχιτεκτονική και τα βασικά χαρακτηριστικά του, και να γίνει σύγκριση αυτού με τις προηγούμενες γενιές. Το μέλλον του 5G σκιαγραφείται από δύο εικόνες, αυτές της "εξέλιξης" και της "επανάστασης". Αυτές οι δύο εικόνες αντιπροσωπεύουν δύο βασικά στοιχεία του 5G για να κατανοήσουμε το εύρος της πιθανής εξέλιξης του στο μέλλον. Σκοπός τους είναι να ενθαρρύνουν την έρευνα σχετικά με την καλύτερη εφαρμογή πολιτικών και ρυθμιστικών συνθηκών για την επιτυχή ανάπτυξη του 5G στην Ευρώπη. Στις επόμενες ενότητες ξεκινάει η μελέτη των κινητών κυβελωτών δικτύων ξεκινώντας από τις παλαιότερες γενιές μέχρι τις αρχές του 5G του σήμερα, [1].

1.1 Η σημασία των ασύρματων επικοινωνιών

Οι ασύρματες επικοινωνίες εμφανίστηκαν στις αρχές του 20ου αιώνα με την εφεύρεση του ραδιοφώνου. Από τότε, η δύναμη της άμεσης επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις έχει μεταμορφώσει την κοινωνία και έκανε τον κόσμο "μικρότερο". Πιο πρόσφατα, τα κινητά τηλέφωνα έχουν μετατρέψει το μονόδρομο της παραδοσιακής ραδιοφωνικής εκπομπής σε αμφίδρομες συνομιλίες. Με το 4G LTE, το Wi-Fi και άλλες τεχνολογίες, τα δίκτυα δεδομένων υπολογιστών έχουν προσαρμόσει τις ασύρματες επικοινωνίες σε αυτές του 21ου αιώνα. Η σημασία που έχουν οι ασύρματες επικοινωνίες, οφείλεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά τους, [2]:

- **Κινητικότητα:** Επειδή τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν ελεύθερα στον αέρα, οι ασύρματες επικοινωνίες προσφέρουν μεγάλη κινητικότητα. Για παράδειγμα, η χρήση ραδιοφώνου στην παραλία ή στο αυτοκίνητο. Η τεχνολογία αυτή δεν είναι πάντα χωρίς αστοχίες, καθώς τα ψηλά κτίρια, τα μεταλλικά έπιπλα και άλλα αντικείμενα επηρεάζουν τα ραδιοκύματα και οι αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων τα εξασθενούν. Αλλά οι ασύρματες συσκευές δεν περιορίζουν το δέκτη σε μια συγκεκριμένη θέση, όπως κάνουν οι ενσύρματες.
- **Ευκολία:** Για να λειτουργήσει η ενσύρματη επικοινωνία, πρέπει να συνδεθεί μια συσκευή σε μια πρίζα τοίχου· αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα αν το βύσμα βρίσκεται σε ακατάλληλη θέση ή εάν το καλώδιο δεν είναι αρκετά μακρύ για να φτάσει στην υποδοχή. Οι ασύρματες συσκευές δεν διαθέτουν καλώδια σύνδεσης. Αν το σήμα είναι αρκετά ισχυρό, η συσκευή θα λειτουργήσει. Αυτό ισχύει και για τις κινητές υπολογιστικές συσκευές, αρκεί να μπορεί να συνδεθεί η συσκευή (username, password) στο τοπικό ασύρματο δίκτυο δεδομένων, όπως το smartphone ή το laptop.
- **Ευελιξία:** Για ένα παραδοσιακό αναλογικό σύστημα όπως η ραδιοφωνική εκπομπή AM, ένας ασύρματος πομπός δέχεται οποιονδήποτε αριθμό δεκτών. Για παράδειγμα, δεν έχει σημασία αν 10 άτομα ή 10.000 συντονιστούν στον ίδιο τοπικό σταθμό. Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι σχεδόν εξίσου ικανά, αν και η τεχνολογία αμφίδρομων ψηφιακών επικοινωνιών εξαντλείται από ιδιωτικά κανάλια, εάν πάρα πολλοί άνθρωποι προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα την ίδια στιγμή. Με παρόμοιο σκεπτικό, ένα οικιακό δίκτυο Wi-Fi περιορίζεται σε 254 συσκευές. Αντίθετα, ένα ενσύρματο σύστημα επικοινωνιών περιορίζεται στον αριθμό των φυσικών συνδέσεων του εξοπλισμού· αν αυτά εξαντληθούν, θα πρέπει να αντικατασταθεί ο εξοπλισμός για να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες. Ένας τυπικός δρομολογητής Ethernet για οικιακή χρήση, για παράδειγμα, προσφέρει μόνο οκτώ υποδοχές, παρόλο που το λογισμικό δικτύου του μπορεί να διαχειριστεί 254 χρήστες.
- **Χαμηλότερο κόστος:** Τα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών είναι λιγότερο δαπανηρά στην εγκατάσταση και συντήρηση από τα αντίστοιχα ενσύρματα συστήματα. Στα

ενσύρματα όχι μόνο πληρώνουμε το μήκος του καλωδίου, αλλά πρέπει να αφιερωθεί χρόνος και εργασία για να σχεδιαστούν διαδρομές καλωδίωσης και να τοποθετηθεί το καλώδιο στη θέση του. Οποιοσδήποτε αλλαγές στο σχέδιο καλωδίωσης συνεισφέρουν σε αυτά τα κόστη. Παρόλο που ακόμη και τα ασύρματα συστήματα χρειάζονται κάποια καλωδίωση, η ποσότητα που απαιτείται είναι ένα μικρό μέρος αυτού που απαιτείται για ενσύρματο εξοπλισμό.

Με βάση τα παραπάνω πλεονεκτήματα, τα οφέλη των ασύρματων επικοινωνιών κατάφεραν να τα εκμεταλλευτούν αρκετοί τομείς όπως, [3]:

- **Υγεία:** Η ασύρματη επικοινωνία έχει επηρεάσει την ιατρική περίθαλψη σε απομακρυσμένες περιοχές του κόσμου, ιδίως με τη βελτίωση της διανομής ιατρικών πληροφοριών και θεραπειών.
- **Βοήθεια που ακολουθεί μετά από καταστροφικά γεγονότα:** Οι ειδήσεις των καταστροφικών γεγονότων σε διάφορα μέρη του κόσμου έχουν εξαπλωθεί με νέους τρόπους τα τελευταία χρόνια 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. Οι συσκευές κινητής επικοινωνίας βοήθησαν στην εξάπλωση των έγκαιρων προειδοποιήσεων σχετικά με τις επικείμενες φυσικές καταστροφές, επιτρέποντας στους πληθυσμούς να προετοιμαστούν ή να απομακρυνθούν, αλλά και να διασωθούν.
- **Προστασία περιβάλλοντος:** Οι εργασίες για την προστασία του περιβάλλοντος έχουν αποκτήσει νέες δυνατότητες με την εμφάνιση της ασύρματης επικοινωνίας. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται συχνά για την παρακολούθηση των κινήσεων και των συνηθειών των ειδών άγριας πανίδας που απειλούνται με εξαφάνιση, βοηθώντας στην προστασία τους. Οι περιβαλλοντικές ομάδες έχουν εφαρμόσει εκστρατείες μέσω μηνυμάτων κειμένου για να μεταδώσουν μηνύματα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος.
- **Εργασιακή επικοινωνία:** Η ασύρματη επικοινωνία είχε δραματικό αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις ασκούν τις δραστηριότητές τους, καθιστώντας ευκολότερη τη συνεχή επαφή με τους πελάτες σε όλο τον κόσμο.
- **Παρουσίαση και ενημέρωση για τα νέα:** Τα smartphone έχουν αλλάξει τον τρόπο κάλυψης και αναφοράς των ειδήσεων, κάνοντας εφικτό οποιονδήποτε κατέχει οπουδήποτε στον κόσμο έναν πιθανό ρεπορτάζ ειδήσεων και σχεδόν οπουδήποτε γεγονός που συμβαίνει να το καταγράψει από διάφορες οπτικές γωνίες.
- **Ψυχαγωγία:** Η ασύρματη επικοινωνία άνοιξε νέες οδούς για ψυχαγωγία. Συσκευές όπως τα smartphone είναι εξοπλισμένα με εφαρμογές για τη λήψη και την ανάγνωση βιβλίων και εφημερίδων, καθώς και με παιχνίδια, ταινίες, τηλεόραση, μουσική και ζωντανά αθλητικά γεγονότα.
- **Αλλαγές στην εκπαίδευση:** Παρόλο που οι κινητές συσκευές συχνά θεωρήθηκαν ως αιτίες για απόσπαση προσοχής των μαθητών, οι προηγμένες δυνατότητες των smartphone προκαλούν τους εκπαιδευτικούς να επανεξετάσουν τις δυνατότητές τους ως εργαλεία στην τάξη, πλέον σαν μαθησιακά εργαλεία.
- **Κοινωνική αλλαγή:** Η ασύρματη επικοινωνία έχει διευκολύνει τους ανθρώπους να συνεργαστούν για να υποστηρίξουν ένα κοινό σκοπό, ενισχύοντας τις δυνατότητες για κοινωνική αλλαγή.

1.2 Οι γενιές των δικτύων μέχρι σήμερα

Για να γίνει καλύτερα κατανοητό πού θέλουμε να είμαστε με όρους 5G, αξίζει να αναφερθεί από πού ξεκίνησαν όλα και να επισημανθεί πού είμαστε τώρα. Τα παρακάτω παρέχουν μια εικόνα της εξέλιξης προς τις επικοινωνίες 5G, [4]:

- Πριν από το 1G (<1983): Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές και χρησιμοποιούσαν αναλογικά συστήματα με διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (SSB).
- 1G (1983-): Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές. Το 1966, το Bell Labs είχε αποφασίσει να υιοθετήσει αναλογικά συστήματα για ένα κινητό σύστημα μεγάλης χωρητικότητας, επειδή εκείνη την περίοδο τα ψηφιακά ραδιοσυστήματα ήταν πολύ δαπανηρά στην κατασκευή. Χρησιμοποιήθηκε αναλογικό σύστημα με ραδιόφωνα FM. Το 1983, το σύστημα κινητής τηλεφωνίας των ΗΠΑ ονομάστηκε AMPS (Advanced Mobile Phone Service), το οποίο και ονομάστηκε από τότε 1G.
- 2G (1990-): Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές. Το ευρωπαϊκό GSM και το IS-54 της Βόρειας Αμερικής ήταν ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούν χρονική πολυπλεξία TDMA (Time Division Multiple Access). Από τη στιγμή που η εταιρεία AT&T πουλήθηκε το 1980, κανένα άλλο ερευνητικό ίδρυμα όπως το Bell Labs δε θα μπορούσε να αναπτύξει ένα καλό σύστημα 2G, όπως έκανε για το σύστημα 1G στη Βόρεια Αμερική. Το IS-54 δεν ήταν ένα σύστημα με απήχηση και συνεπώς εγκαταλείφθηκε. Στη συνέχεια, το GSM ονομάστηκε 2G τη στιγμή που το 3G καθορίστηκε σαν πρότυπο από την ITU το 1997. Έτσι, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μετάβαση από 1G σε 2G σημαίνει μετάβαση από το αναλογικό σύστημα στο ψηφιακό σύστημα.
- 2.5G (1995-): Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες είναι κυρίως για φωνή υψηλής χωρητικότητας με περιορισμένη παροχή δεδομένων. Το σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (CDMA – Code Division Multiple Access) που χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 1,25MHz υιοθετήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ταυτόχρονα, οι ευρωπαϊκές χώρες βελτίωσαν τα συστήματα GSM με κατεύθυνση προς τα συστήματα GPRS και EDGE.
- 3G (1999-): Σε αυτή τη γενιά, το σύστημα ασύρματων επικοινωνιών διαθέτει δυνατότητες φωνής και δεδομένων. Το 3G είναι το πρώτο διεθνές τυποποιημένο σύστημα που βγαίνει στην αγορά από την ITU, σε αντίθεση με τα συστήματα προηγούμενων γενιών. Το 3G εκμεταλλεύεται την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) με χρήση εύρους ζώνης 5MHz. Λειτουργεί τόσο σε λειτουργίες αμφίδρομης διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και σε αμφίδρομης χρονικής διαίρεσης (TDD). Έτσι, με τη μετάβαση από 2G σε 3G συστήματα έχουμε εξέλιξη από φωνητικά συστήματα σε δεδομένο-κεντρικά συστήματα.
- 4G (2013-): Το 4G είναι ένα σύστημα υψηλής ταχύτητας δεδομένων μαζί με φωνή. Υπάρχουν δύο συστήματα 4G. Οι Ηνωμένες Πολιτείες ανέπτυξαν το σύστημα "Παγκόσμιας Διαλειτουργικότητας για Πρόσβαση στα Μικροκύματα" (WiMAX) με χρήση ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), εξελισσόμενης από το Wi-Fi. Το άλλο σύστημα είναι το σύστημα LTE που αναπτύχθηκε μετά το WiMAX. Η τεχνολογία του LTE (Long-Term Evolution) και της τεχνολογίας WiMAX είναι πολύ παρόμοια. Το εύρος ζώνης και των δύο συστημάτων είναι 20MHz. Οι κυριότεροι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας είναι θετικοί για το LTE και οι περισσότερες χώρες του κόσμου έχουν ήδη αρχίσει να εκδίδουν άδειες για 4G χρησιμοποιώντας σύγχρονα συστήματα LTE. Το κόστος της χορήγησης άδειας μέσω δημοπρασίας είναι πολύ υψηλό. Έτσι, η μετάβαση από 3G σε 4G

συστήματα σημαίνει μετατόπιση από χαμηλές ταχύτητες δεδομένων Internet σε ταχύτητες δεδομένων υψηλής ταχύτητας για βίντεο σε κινητές συσκευές.

- 5G (2021-): Όσον αφορά το 5G εκκρεμεί ο επίσημος ορισμός του από τους οργανισμούς τυποποίησης. Πρόκειται για ένα σύστημα δεδομένων υψηλής χωρητικότητας και εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας με νέες απαιτήσεις σχεδίασης προσαρμοσμένες στα συστήματα, με εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των επιχειρησιακών δαπανών για τους παρόχους. Στο πλαίσιο αυτό, το 5G οραματίζεται όχι μόνο μια καινούρια τεχνολογία, αλλά ένα τεχνολογικό οικοσύστημα ασύρματων δικτύων που συνεργάζονται για να παρέχουν ένα απρόσκοπτο μέσο επικοινωνίας στον τελικό χρήστη. Έτσι, η μετάβαση από 4G σε 5G συστήματα σημαίνει μια μετατόπιση του προτύπου σχεδιασμού από ένα ενιαίο σύστημα σε ένα σύστημα πολλαπλών μονάδων.

1.2.1 Σύνοψη κοινών χαρακτηριστικών των δικτύων από 1G-5G

Παρά τις διαφορές μεταξύ των γενεών, πολλές ενέργειες αποτελούν μέρος ενός επαναλαμβανόμενου προτύπου, ένα πρότυπο τυπικό για την εισαγωγή μιας νέας γενιάς κινητής τεχνολογίας. Για την Ευρώπη, αυτά τα γεγονότα και οι ενέργειες, που γενικά ονομάζονται χαρακτηριστικά, έχουν καταγραφεί· ο Πίνακας 1 αναδεικνύει αυτά τα μοτίβα για τις γενιές 1G έως 4G. Η στήλη 5G έχει προστεθεί, παρόλο που ακόμα δεν έχει κάνει επίσημα την εμφάνισή του, για να αναδείξει πώς αυτά τα χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε αυτό μέχρι σήμερα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το GSM όχι μόνο αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό αναπτυξιακό φαινόμενο, αλλά καθιέρωσε και τις θεμελιώδεις βάσεις στον τομέα των επιχειρήσεων των κινητών επικοινωνιών που εξακολουθούν να ισχύουν μέχρι και σήμερα στην Ευρώπη, π.χ. ο καλών να χρεώνεται την κλήση, τη διεθνή περιαγωγή και την αμοιβαία αναγνώριση των τερματικών συσκευών. Ο Πίνακας 1, αυτά τα αναφέρει ως "καθιερωμένη ρουτίνα" (καθ. ρουτ.).

Πίνακας 1: Επαναλαμβανόμενο μοτίβο από το 1G στο 5G.

Χαρακτηριστικά	1G-NMT		2G-GSM		3G-UMTS		4G-LTE		5G	
	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία
Πρωτοβουλία για την ανάπτυξη της νέας γενιάς	Televerket + Σκανδιναβικοί κορυφαίοι πάροχοι	1970	Κορυφαίοι πάροχοι από UK + Γαλλία	1981	Κυβερνητ. Εκπρόσωποι στο FAMOUS	1991	3GPP μελέτη στο LTE στο LTE-Advanced	2004 2012	EC FP7 Πρωτοβ. METIS, ITU WP SD	2011 2011
Έρευνα για απαιτήσεις και τεχνολογία της νέας γενιάς	Televerket + Σκανδιναβικοί κορυφαίοι πάροχοι		FT + DT, κορυφαίοι πάροχοι	1984	RACE 1 RACE 2 RACE 3	1985 1990 1995			METIS 5GPPP METIS-II	2012 2013 2015
R&D συμφωνίες συνεργασίας									Νότια Ευρώπη	

Χαρακτηριστικά	1G-NMT		2G-GSM		3G-UMTS		4G-LTE		5G	
	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία
									Κορέα Ιαπωνία Κίνα Βραζιλία	2014 2015 2015 2016
Παγκόσμιο σύνολο απαιτήσεων για τη νέα γενιά					ITU IMT-2000	1999	ITU IMT-Advanced	2008	ITU IMT για το 2020 και έπειτα	2012
Παγκόσμια δέσμευση συχνοτήτων	ITU		ITU-WARC	1979	ITU-WRC	2000	ITU-WRC		Η ITU-WRC στοχεύει στα 400MHz Η ITU-WRC τυποποιεί	2015 2019
Μέθοδος ανάθεσης	Ανάθεση		Ανάθεση, Συγκριτικές προσφορές		Δημοπρασία, Συγκριτικές προσφορές		Δημοπρασία			
Πολιτική υποστήριξη			Συμφωνία 4 μερών Ευρωπαϊκή οδηγία για τη χρήση 900MHz	1986 1987	3G Green Paper, Υποστήριξη εισαγωγής στο φόρουμ UMTS	1993 1995			Ευρωπαϊκή οδηγία για τα 700MHz	
Φορέας τυποποίησης και ημερ/νία	NMT: Televerket και Σκανδιναβικοί κορυφαίοι πάροχοι	1975	CEPT (<1989), ETSI (>1989), 3GPP (1999) EC-GSM-IoT	1982 2015	ETSI 3GPP	1996 1999	3GPP MTC	2013	3GPP RAN	2015
Συμμετέχοντες στις ομάδες των SDO	CEPT: πάροχοι		CEPT: πάροχοι, ETSI: πάροχοι, κατασκευαστές, ακαδημαϊκά ισντ.		Πάροχοι, κατασκευαστές, ακαδημαϊκά ισντ.		Πάροχοι, κατασκευαστές, ακαδημαϊκά ισντ.		Πάροχοι, κατασκευαστές, ακαδημαϊκά ισντ.	
	Ευρώπη		GSM900:		Ευρώπη +		Παγκόσμια		Παγκόσμια	

Χαρακτηριστικά	1G-NMT		2G-GSM		3G-UMTS		4G-LTE		5G	
	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία	Σημαντικός φορέας	Ημερ/νία
Χώρα προέλευσης των συμμετεχόντων στις ομάδες των SDO			Ευρώπη, GSM1900: ΗΠΑ		ΗΠΑ + Ιαπωνία					
Φορέας για εμπορικό και λειτουργικό συντονισμό			Οργανισμός MoU	1987	UMTS Forum GSMA	1996	GSMA		GSMA MGMN	
Συντονισμός για την έξοδο στην αγορά, ημερ/νία			Πάροχοι μέσω GSM, MoU	1987 1991	Ευρωπαϊκή ή οδηγία για τις διαδικασίες αδειοδότησης για εφαρμογή <2000	1999			EC 5G Σχέδιο Δράσης Γρήγορη είσοδος σε μεγάλη κλίμακα	2018 2020
1 ^η εμπορική υπηρεσία	NMT450 TACS	1981 1985	GSM900 GSM1800 PCS1900 GSM800	1992 1993 1995 2002	WCDMA UMTS	2001 2002	Νορβηγία και Σουηδία	2009		
1 ^η μεγάλη αναβάθμιση τυποποίησης / υπηρεσιών			GPRS Βελτίωση	1998 2000	IMS High-Speed packet access HSDPA HSUPA	2001 2005 2007	Release 10 LTE-Advanced	20011		
1 ^η απόσυρση	Telia Φιλανδία	2002	Macau	2015						

1.3 Χαρακτηριστικά των κινητών επικοινωνιών που οδηγούν στο 5G

Οι τέσσερις πρώτες γενιές κινητής τηλεφωνίας παρουσιάζουν ένα σαφές πρότυπο όσον αφορά τη διαδοχή της μιας με την άλλη: κάθε 10 χρόνια εισάγεται μια νέα γενιά. Οι εξελίξεις μέχρι σήμερα σε σχέση με το 5G προσαρμόζονται σε μεγάλο βαθμό με βάση αυτά τα πρότυπα. Ως εκ τούτου, αναμένεται το 5G να εισαχθεί περίπου το 2020.

Η πρωτοβουλία για την πρόταση μιας επόμενης γενιάς επικοινωνιών εμφανίζεται τυπικά κατά τη διάρκεια έναρξης της προηγούμενης γενιάς, δηλαδή περίπου 10-11 χρόνια πριν από την ημερομηνία έναρξης της καινούριας. Στο 1G και 2G αυτές οι πρωτοβουλίες ξεκίνησαν από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, και την εποχή εκείνη αυτές οι εταιρείες ήταν στην κατοχή του κράτους (τηλεπικοινωνιακό μονοπώλιο). Η πρωτοβουλία αυτή περιλάμβανε και την έρευνα/ανάπτυξη για την επόμενη γενιά από τους κορυφαίους παρόχους. Με την εισαγωγή του ανταγωνισμού στο τοπίο, ξεκινώντας με

την ανάπτυξη του 2G και την πλήρη καθιέρωσή του κατά την εισαγωγή του 3G, δόθηκε έμφαση στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης προγραμμάτων που χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση με τη συμμετοχή του εξοπλισμού από διάφορους κατασκευαστές, παρόχους και ερευνητικά κέντρα. Κατά τη διάρκεια της εποχής του 3G, οι πάροχοι ανακατευθύνουν τις δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης προς το πεδίο παροχής υπηρεσιών, αναθέτοντας τα θέματα σχετικά με το δίκτυο στους προμηθευτές εξοπλισμού. Η έρευνα με στόχο το 5G στην ΕΕ χρηματοδόθηκε τα προγράμματα FP7 και το Horizon 2020, προσαρμοζόμενα σε αυτή την τάση, όσον αφορά το χρονοδιάγραμμα, το περιεχόμενο και τη συμμετοχή εταιρειών από τον κλάδο της βιομηχανίας. Οι συμφωνίες στρατηγικής συνεργασίας για την έρευνα και ανάπτυξη του 5G που πραγματοποίησε η ΕΕ με την Ιαπωνία, την Κορέα, την Κίνα και τη Βραζιλία είναι συνεπείς με το στόχο το 5G να γίνει ένα παγκόσμιο πρότυπο, μέσω της 3GPP ως πλατφόρμα τυποποίησης. Αυτή η πλατφόρμα δημιουργήθηκε με βάση την ευρωπαϊκή πρωτοβουλία, αναγνωρίζοντας την επέκταση σε γεωγραφικό εύρος των προσπαθειών τυποποίησης, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας ανάπτυξης του GSM.

Την εποχή που ξεκινάει η πρωτοβουλία για τη δημιουργία συστήματος επικοινωνιών επόμενης γενιάς, η κατανομή των νέων συχνοτήτων πραγματοποιείται επίσης από την CEPT, ακολουθώντας τις συμφωνίες που έγιναν σε παγκόσμιο επίπεδο στο πλαίσιο της ITU-R. Για τις τρεις πρώτες γενιές, χρησιμοποιήθηκαν νέες ζώνες ραδιοσυχνοτήτων σε υψηλότερες συχνότητες, γεγονός το οποίο υποστήριζε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Αυτό συνέπεσε με την ανάγκη αύξησης των ρυθμών μετάδοσης ανά χρήστη. Με την αυξανόμενη χρήση κινητών συσκευών, η ανάγκη για περισσότερο φάσμα εμφανίστηκε κατά τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση, και οι ζώνες χαμηλότερων συχνοτήτων γίνονταν διαθέσιμες, π.χ. η ζώνη των 800MHz ως μέρος του 4G. Τα σχέδια για το 5G είναι σύμφωνα με αυτή την τάση, π.χ. επεκτάσεις στο φάσμα σε υψηλές συχνότητες (μη χρησιμοποιούμενες) σε ζώνες μεταξύ 24GHz και 83GHz, καθώς και σε χαμηλές συχνότητες με ανακατανομή της ζώνης των 700MHz.

Ωστόσο, φαίνεται ότι ο δεσμός που συνδέει την επόμενη γενιά κινητών επικοινωνιών και τη ανάθεση νέου φάσματος να γίνεται όλο και πιο αδύναμος. Αφενός, οι δημοπρασίες οργανώνονται σε εθνικό επίπεδο καθώς και όταν διατίθεται νέο ή αναδιανεμημένο φάσμα και, αφετέρου, το ραδιοφάσμα αποδίδεται πλέον σε τεχνολογικά ουδέτερη βάση, π.χ. ο εξοπλισμός της επόμενης γενιάς κινητών επικοινωνιών μπορεί να εφαρμοστεί σε ζώνες που είχαν αρχικά ανατεθεί για τις κινητές επικοινωνίες προηγούμενων γενιών. Αυτή η τάση άρχισε με το 4G και θα συνεχίσει να ισχύει επίσης και για το 5G.

Ο σημαντικός συντονιστικός ρόλος των παρόχων στη φάση εισαγωγής του 2G στην αγορά, από την οπτική της λειτουργικότητας, έχει μετακινηθεί στο παρασκήνιο στα συστήματα 3G και 4G. Αφενός, η ανταγωνιστική αγορά αναμένεται να καθοδηγήσει αυτή τη διαδικασία εισαγωγής των συστημάτων αυτών - και ο συντονισμός θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως μια αθέμιτη συνεργασία - και, από την άλλη πλευρά, οι επιχειρησιακές ανάγκες μιας επόμενης γενιάς κινητών επικοινωνιών αντιμετωπίζονται τώρα από την GSMA, το θεσμικό διάδοχο της συνεργασίας μεταξύ των παρόχων της εποχής του 2G.

Την εποχή των 1G και 2G, η εισαγωγή μιας νέας γενιάς κινητών επικοινωνιών απαιτούσε μεγάλες επενδύσεις για την ανάπτυξη νέων υποδομών που αντικαθιστούν την προηγούμενη γενιά. Με την ανάπτυξη ενός δικτύου πακέτων με τη μορφή GPRS, εισήχθη μια αναβάθμιση μεταξύ γενεών: το 2.5G. Με το 3G, η επένδυση σε ραδιοεξοπλισμό και εξοπλισμό του κορμού δικτύου διαχωρίστηκαν εγκαίρως: πρώτα, εισήχθη ένα νέος τρόπος πρόσβασης (Wideband CDMA), ο οποίος ήταν συμβατός με το δίκτυο 2G που βασιζόταν στη μεταγωγή κυκλώματος αλλά και με το δίκτυο 2.5G που βασιζόταν στη μεταγωγή πακέτου. Στο πλαίσιο του 3.5G οι δυνατότητες των πακέτων αναβαθμίστηκαν προς το HSPA. Στο 4G, το δίκτυο με βάση τη μεταγωγή κυκλώματος

εγκαταλείφθηκε και το δίκτυο που βασιζόταν στη μεταγωγή πακέτου υπερίσχυσε. Επίσης, στο 4G, εφαρμόστηκε και μια νέα τεχνική διαμόρφωσης στην ραδιοεπικοινωνία (OFDMA), η οποία απαιτούσε αναβάθμιση των σταθμών βάσης και των φορητών συσκευών, ενώ οι προηγούμενες γενιές παρέμειναν συμβατές με το ήδη υπάρχον κεντρικό δίκτυο. Το LTE-Advanced, το οποίο παρέχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων με βάση τη συνάθροιση των φορέων (carrier aggregation), αντιπροσωπεύει την αναβάθμιση των γενεών σε 4.5G. Η προβλεπόμενη εξέλιξη προς το 5G περιλαμβάνει την προσθήκη μιας νέας ραδιοεπικοινωνίας στις ζώνες συχνοτήτων άνω των 24GHz ώστε να είναι συμβατή με τον υπάρχοντα εξελιγμένο πυρήνα πακέτων (EPC – Evolved Packet Core). Τα σχέδια αναδεικνύουν επίσης την εισαγωγή της εικονικοποίησης (Software Defined Networks, SDN και Network Functions Virtualisation, NFV), που σημαίνει περαιτέρω μετακίνηση της λειτουργικότητας σε λογισμικό και εφαρμογή τυποποιημένων Ethernet switches και υπολογιστικών πόρων.

Αυτό αναμένεται να είναι μια σταδιακή διαδικασία, ξεκινώντας με την προσθήκη νέων διεπαφών στον υφιστάμενο εξοπλισμό δικτύου.

1.3.1 Ανάπτυξη των συσκευών τηλεφώνου

Η αντικατάσταση του μοντέλου 1G με το 2G σήμανε την ανάγκη για νέες συσκευές. Με την κατανομή των πρόσθετων ζωνών GSM (1800 και 1900MHz), ακολούθησε η εισαγωγή ραδιοσυχνοτήτων πολλαπλών ζωνών που επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα σε μία μόνο γενιά αλλά σε πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων. Με τη διανομή και την ανάθεση περισσότερων ζωνών με την πάροδο του χρόνου, η υποστήριξη πολλαπλών ζωνών από παρόχους κινητών συσκευών, σύμφωνα με τα εθνικά σχέδια κατανομής φάσματος, έχει γίνει ένα κρίσιμο ζήτημα. Τα σχέδια ανάπτυξης κινητών τηλεφώνων βελτιστοποιούνται βάσει του μεγέθους της αγοράς των συσκευών και των προτεραιοτήτων της αγοράς, όπως τις αντιλαμβάνονται οι προμηθευτές. Επιπλέον, η λειτουργικότητα του κινητού τηλεφώνου ανεξαρτητοποιείται από τη λειτουργία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και η εισαγωγή νέων συσκευών στην αγορά καθοδηγείται όλο και περισσότερο από προμηθευτές smartphone, με κάθε 1-2 χρόνια να βγάζουν καινούρια έκδοση αυτών. Σε ορισμένες αγορές, η ζώνη των 3.5GHz έχει ανατεθεί, αλλά εντέλει παρέμεινε αχρησιμοποίητη, λόγω έλλειψης κατάλληλων τερματικών συσκευών. Επίσης, η χρήση της συνάθροισης φορέων ως μέρος του 4G εξαρτάται από τη συμβατότητα των τερματικών συσκευών του δικτύου. Εξελισσόμενοι προς την κατεύθυνση του 5G, αναμένεται να παραμείνει ένα θέμα προβληματισμού, υποδηλώνοντας την ανάγκη για περαιτέρω συντονισμό των σχεδίων συχνοτήτων από τις εθνικές διοικήσεις.

1.3.2 Ανάπτυξη του δικτύου κορμού με βάση τα πρότυπα

Με την πάροδο των γενεών κινητών επικοινωνιών, το πεδίο εφαρμογής των προτύπων κινητής επικοινωνίας εξελίχθηκε από τοπικό σε διεθνές και παγκόσμιο επίπεδο. Η διαδικασία αυτή επηρεάστηκε έντονα από την περιφερειακή και στη συνέχεια την παγκόσμια επιτυχία του GSM. Με το GSM που αναπτύχθηκε σε όλες τις περιοχές, ενοποιήθηκαν τα συμφέροντα των παρόχων ανά τον κόσμο σε σχέση με το πρότυπο της επόμενης γενιάς που θα αναπτυσσόταν. Με το 3G να είναι σχεδιασμένο ώστε να είναι συμβατό με τις προηγούμενες γενιές, προέκυψαν τρία περιφερειακά πρότυπα: το 4G, το LTE και το LTE-Advanced, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ως παγκόσμια πρότυπα και είναι πλέον αποδεκτά. Το 5G θα γίνει το επόμενο παγκόσμιο πρότυπο για τις κινητές

επικοινωνίες και με βάση την εμπειρία της με τα 3G και 4G, η 3GPP ως πρότυπος οργανισμός ανάπτυξης θέλει να δημιουργήσει τις αντίστοιχες προδιαγραφές για το 5G.

1.3.3 Κατακόρυφη εξέλιξη

Ενώ έχει προσανατολιστεί προς τη μαζική αγορά των καταναλωτών, το GSM έχει εξελιχθεί για να υποστηρίξει μία πρώτη κάθετη αγορά του δημόσιου τομέα: το GSM-R εξυπηρετεί τους ευρωπαϊούς σιδηροδρομικούς φορείς, για τους οποίους είχε διατεθεί ξεχωριστή ζώνη συχνοτήτων στην Ευρώπη. Η λειτουργικότητα GSM-R έχει γίνει μέρος των γενικών προδιαγραφών του GSM, έτσι ώστε αυτή η λειτουργικότητα να ήταν διαθέσιμη για την αντιμετώπιση άλλων παρόμοιων εξειδικευμένων αγορών. Ένας δεύτερος κατακόρυφος δημόσιος τομέας εξυπηρετείται ως μέρος της έκδοσης 13 έως 15 του 4G: ο τομέας της δημόσιας προστασίας και ανάκαμψης από καταστροφές (PPDR), ο οποίος περιλαμβάνει την αστυνομία, πυροσβεστικές υπηρεσίες και υπηρεσίες ασθενοφόρων. Στην Ευρώπη, ο τομέας PPDR έχει εξυπηρετηθεί προηγουμένως μέσω ενός ειδικού συστήματος που ονομάζεται TETRA και λειτουργούσε σε μια αποκλειστική ζώνη συχνοτήτων. Ο τομέας PPDR κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για τη μετάβαση από δίκτυο στενής ζώνης σε ευρείας ζώνης, θα πρέπει να βασιστεί σε LTE και LTE-Advanced, καθώς ένα μόνο αποκλειστικό ευρυζωνικό σύστημα δεν αποτελεί βιώσιμη επιλογή.

2. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ 5G

Από την αναλογική τεχνολογία έως το LTE, κάθε γενιά κινητής τεχνολογίας έχει το έναυσμα για ικανοποίηση απαιτήσεων που δημιουργούνται μεταξύ αυτής της τεχνολογίας και του προκατόχου της. Η μετάβαση από 2G σε 3G αναμενόταν να δώσει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να χρησιμοποιήσουν το κινητό διαδίκτυο στις συσκευές τους και παράλληλα πρόσθεσε τη συνδεσιμότητα δεδομένων. Ωστόσο, δεν υπήρξε μέχρι το 3.5G ένα τεράστιο άλμα όσον αφορά την εμπειρία χρήστη, καθώς ο συνδυασμός της ευρυζωνικής κινητής τηλεφωνίας και των smartphone επέφεραν μια σημαντικά βελτιωμένη εμπειρία κινητού διαδικτύου. Αυτό οδήγησε εντέλει στις διεπαφές κεντροποιημένες σε εφαρμογές, που βλέπουμε σήμερα. Από το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και την αναμετάδοση μουσικής και βίντεο μέχρι τον έλεγχο των οικιακών συσκευών από οπουδήποτε στον κόσμο, η ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας έχει αποφέρει τεράστια οφέλη και έχει αλλάξει θεμελιωδώς τη ζωή πολλών ανθρώπων μέσω των υπηρεσιών που παρέχονται τόσο από τους παρόχους όσο και από συμβαλλόμενους φορείς.

Πιο πρόσφατα, η μετάβαση από υπηρεσίες 3.5G σε υπηρεσίες 4G προσέφερε στους χρήστες πρόσβαση σε υψηλές ταχύτητες δεδομένων και χαμηλότερα ποσοστά λανθάνοντος χρόνου. Επομένως ο τρόπος με τον οποίο οι χρήστες έχουν πρόσβαση και χρησιμοποιούν το διαδίκτυο σε κινητές συσκευές συνεχίζει να αλλάζει δραματικά. Σε όλο τον κόσμο, οι πάροχοι αναφέρουν ότι οι χρήστες 4G καταναλώνουν περίπου το διπλάσιο του μηνιαίου όγκου δεδομένων των χρηστών που δεν είναι χρήστες 4G και σε ορισμένες περιπτώσεις τρεις φορές πιο πολύ. Ένας σημαντικός παράγοντας που συνδράμει σε αυτή την αύξηση είναι τα αυξημένα επίπεδα video streaming από χρήστες σε δίκτυα 4G.

Το 5G θεωρείται ένα οικοσύστημα που επιτρέπει μια πλήρως κινητή και συνδεδεμένη κοινωνία. Το 5G θα δώσει τη δυνατότητα για έναν "υπερσυνδεδεμένο" κόσμο στον οποίο το δίκτυο είναι εξαιρετικά ετερογενές και θα συγκλίνει προς πολλαπλούς τύπους τεχνολογιών πρόσβασης (τόσο σταθερών όσο και ασύρματων) τόσο σε αδειοδοτημένο όσο και σε μη αδειοδοτημένο φάσμα, παρέχοντας βελτιωμένη εμπειρία χρηστών. Επιπλέον, θα χαρακτηρίζεται από διαλειτουργικότητα, επιτρέποντας την ανάπτυξη και κλιμάκωση της ζήτησης για τη χρήση πολλαπλών τύπων συσκευών, καθώς και πολλαπλών τύπων αλληλεπιδράσεων χρήστη.

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να είναι πιο αποδοτικά από τις προηγούμενες γενιές, πιο συγκεκριμένα αναμένεται να: υποστηρίζουν σημαντικά περισσότερους χρήστες και περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές, να προσφέρουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και να παρέχουν υπηρεσίες εξατομικευμένες, προσαρμοσμένες στις εκάστοτε συνθήκες και σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, σημαντικά πλεονεκτήματα που αναμένεται να έχουν είναι η ευρύτερη κάλυψη δικτύου, η μειωμένη καθυστέρηση και η παρατεταμένη διάρκεια ζωής των συνδεδεμένων συσκευών.

Οι ανάγκες των καταναλωτών και των επιχειρήσεων έχουν εξελιχθεί. Το μοντέλο τύπου "one size" δε λειτουργεί πλέον. Ανατρέχοντας στο παρελθόν, η πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας είχε κυρίως φωνή· οι χρήστες χρεώνονταν για τις κλήσεις που πραγματοποιούσαν. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν το κινητό για να μιλήσουν ο ένας στον άλλο. Σήμερα, ο βασικός σκοπός των παρόχων είναι να διατηρήσουν τους χρήστες τους, δηλαδή δημιουργούν κίνητρα όπως δωρεάν φωνή και SMS στο οικιακό τους δίκτυο, συσκευές χαμηλού κόστους, αποθήκευση δεδομένων, υποστήριξη παραγωγής εικόνων και βίντεο, καθώς και backup στο cloud.

Οι άνθρωποι δε χρησιμοποιούν πλέον δίκτυα για να μιλάνε ο ένας στον άλλο· στέλνουν μεταξύ τους μηνύματα, εικόνες και συνδέσμους. Οι άνθρωποι μοιράζονται υλικό που

απαιτεί όγκο εύρους ζώνης, βλέπουν ταινίες στο δρόμο για τη δουλειά τους, και ενημερώνονται για την παρούσα κυκλοφορία στους δρόμους, ώστε να αποφύγουν την κίνηση.

Μέχρι το 2020, δεν θα είναι απλώς οι άνθρωποι και συστήματα οι οντότητες που θα δημιουργούν και θα μοιράζονται δεδομένα· δισεκατομμύρια πράγματα θα αποτελέσουν επίσης αναπόσπαστο μέρος της υποδομής επικοινωνιών. Αυτή η υποδομή θα συμπεριλαμβάνει τα υπολογιστικά σύννεφα, την εικονικοποίηση, τη μαζική δημιουργία ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, περισσότερα δεδομένα, περισσότερες και νέες συσκευές και νέα επιχειρηματικά μοντέλα, [4], [5].

2.1 Απαιτήσεις του 5G

Το 2012, το ερευνητικό πρόγραμμα METIS, ένα από τα πολλά συγχρηματοδοτούμενα έργα από το FP7 και του Horizon 2020, που είχαν ως στόχο την ανάπτυξη 5G, καθόρισε τις εξής προδιαγραφές για το 5G σε σχέση με το 4G:

- 1000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα
- 10 έως 100 φορές μεγαλύτεροι ρυθμοί δεδομένων στον τελικό χρήστη
- 10 φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μπαταρίας
- 10 έως 100 φορές περισσότερες συσκευές
- 5 φορές μικρότερη καθυστέρηση.

Η αύξηση της χωρητικότητας 1000 φορές προβλέπεται να επιτευχθεί μέσω 3 προσεγγίσεων ταυτόχρονα:

- Ως προς την πυκνότητα δικτύου, παρέχοντας βελτίωση της τάξης 50x
- Με τη χρήση περισσότερου φάσματος, συμπεριλαμβανομένων των υψηλότερων συχνοτήτων, όπως mm Wave (π.χ., 24 και 60-80GHz), παρέχοντας βελτίωση της τάξης 10x
- Πραγματοποιώντας αύξηση της φασματικής απόδοσης, παρέχοντας βελτίωση 2x.

Εκτός από τις ερευνητικές πρωτοβουλίες της ΕΕ, έχει αναπτυχθεί μια εταιρική συνεργασία μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα 5G, που ονομάζεται 5G-PPP, [12]. Στο 5G-PPP, το οποίο εγκρίθηκε και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, συμμετέχουν ερευνητικά ιδρύματα, πάροχοι και συνεργαζόμενοι φορείς και εγκρίθηκε και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Μια αντίστοιχη οργάνωση με το όνομα 5G Infrastructure Association, δημιουργήθηκε σκοπό την καταγραφή περαιτέρω απαιτήσεων (υψηλού επιπέδου), [13].

Σύμφωνα με το όραμα του οργανισμού 5G Infrastructure Association, αναφέρεται ότι ο σχεδιασμός του 5G έχει ως στόχους:

- Να συγκεντρώσει τις διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (π.χ. GSM, UMTS, LTE, Wi-Fi και δορυφορικές) για την παροχή στους τελικούς χρήστες αδιάλειπτης υπηρεσίας (ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια ενός handover).
- Να παράσχει περιβάλλον για διάφορες ομάδες χρηστών (παρόχους κινητής τηλεφωνίας, ραδιοτηλεοπτικούς φορείς, οργανισμούς για τη δημόσια ασφάλεια και προστασία από καταστροφές).
- Να ανοίξει το δρόμο για τους εικονικούς πανευρωπαϊκούς παρόχους, βασιζόμενος στις εθνικές υποδομές.

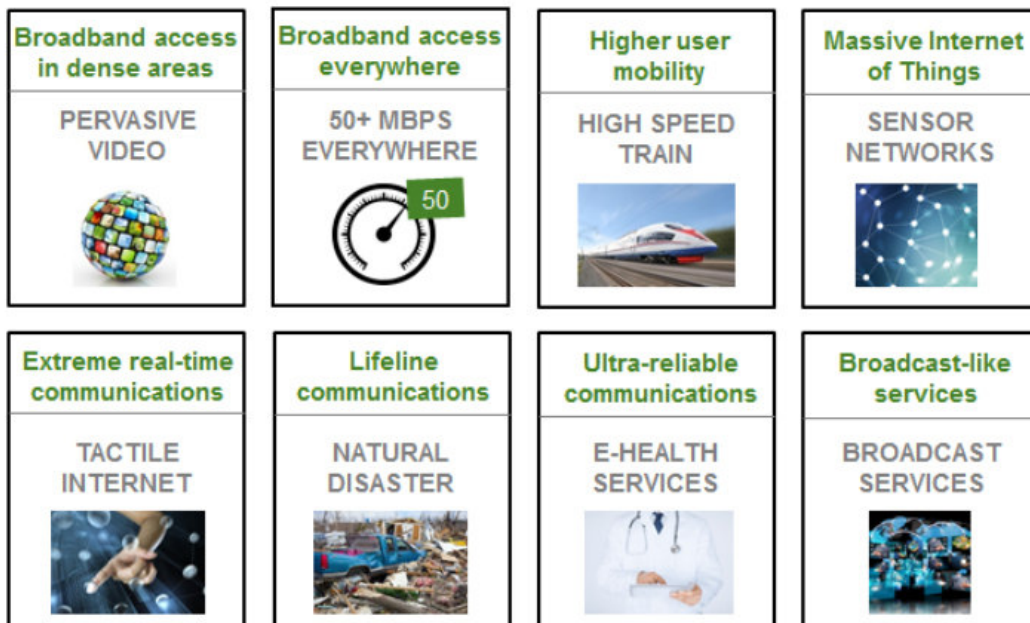
Οι στόχοι ως προς την απόδοση είναι:

- αρκετά υψηλότερη ασύρματη χωρητικότητα (1000 φορές περισσότερη σε σχέση με το 2010),
- χαμηλότερες καθυστερήσεις απόκρισης (καθυστέρηση <1 ms),
- υψηλή αξιοπιστία για την παροχή κρίσιμων εφαρμογών,
- μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, για την υποστήριξη οικονομικότερων ενεργειακά συσκευών, όπως π.χ. αισθητήρων,
- μειωμένος χρόνος δημιουργίας υπηρεσιών,
- μείωση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Από πλευράς λειτουργικών δυνατοτήτων, το 5G αναμένεται να παρέχει:

- συνδεσιμότητα για πάνω από 20 δισεκατομμύρια ανθρώπινα τερματικά,
- συνδεσιμότητα για πάνω από 1 τρισεκατομμύριο IoT τερματικά,
- εγγυημένοι ρυθμοί χρηστών άνω των 50Mbit/s, με αξιοπιστία υπηρεσιών μεγαλύτερη από 99.999%,
- επικοινωνία για τις επίγειες μεταφορές σε ταχύτητες 500 χλμ./ ώρα,
- ακρίβεια θέσης εξωτερικού τερματικού μικρότερη από 1 μέτρο.

Η υποδομή του 5G αναμένεται να προσφέρει δικτυακές λύσεις για τις κάθετες αγορές, όπως: αυτοκινητοβιομηχανία, ενέργεια, τρόφιμα και γεωργία, διαχείριση πόλεων, κυβέρνηση, υγειονομική περίθαλψη, κατασκευή, δημόσιες συγκοινωνίες κλπ. Η Εικόνα 1 συνδέει τις δυνατότητες αυτές με τις περιπτώσεις χρήσης.



Εικόνα 1: Περιπτώσεις χρήσης 5G και σχετικά παραδείγματα, [6].

2.1.1 Περίπτωση χρήσης του 5G: Ευρυζωνική Πρόσβαση σε πυκνοκατοικημένες περιοχές

Αυτή η κατηγορία εστιάζει στο ευρύ φάσμα των αναπτυσσόμενων νέων περιπτώσεων χρήσης μιας πλήρους συνδεδεμένης κοινωνίας. Εστιάζει στη διαθεσιμότητα υπηρεσίας

σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (π.χ. πολυώροφα κτίρια, πυκνά αστικά κέντρα ή εκδηλώσεις), όπου ζουν και/ ή εργάζονται χιλιάδες άνθρωποι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (km²). Οι επικοινωνίες αναμένεται να είναι παντού σε κάθε μέρος της καθημερινής ζωής. Η αυξημένη πραγματικότητα, η αλληλεπίδραση με πολλούς χρήστες, οι τρισδιάστατες (3D) υπηρεσίες θα είναι μεταξύ των υπηρεσιών που θα διαδραματίζουν όλο και σημαντικότερο ρόλο στο χρονικό διάστημα 2020+. Η αναγνώριση προτύπων θα είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό, στο άκρο του δικτύου (δηλαδή κοντά στον χρήστη), διασφαλίζοντας την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών με συνέπεια στους καταναλωτές. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. Pervasive Video

Μετά το 2020, η επικοινωνία μέσω βίντεο μεταξύ ατόμου με άτομο ή μεταξύ ατόμου με ομάδα με εξαιρετικά υψηλή ποιότητα θα χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο αλλά και με προηγμένες δυνατότητες. Οι καταναλωτές θα χρησιμοποιήσουν ευρέως το βίντεο στην καθημερινή εργασία τους. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν η μεταφορά δεδομένων για ειδικές οθόνες τοποθετημένες στο κεφάλι, η συνεργασία σε τρισδιάστατα γραφεία ή εργαστήρια (με φυσική και εικονική παρουσία) και η υποστήριξη πελατών μέσω υπηρεσιών ολογραμμάτων. Θα εμφανιστεί ένα περιβάλλον στο οποίο το βίντεο θα είναι διαθέσιμο σε όλους, ανεξάρτητα από τη φυσική τοποθεσία, τη συσκευή που χρησιμοποιείται και τη σύνδεση δικτύου. Ο αριθμός των ταυτόχρονα ενεργών συνδέσεων, σε συνδυασμό με την απαιτούμενη απόδοση (ρυθμός δεδομένων και καθυστέρηση από άκρο σε άκρο), θα αποτελέσουν πιθανές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν.

ii. Smart Office

Στο γραφείο του μέλλοντος, υπάρχει το όραμα ότι οι περισσότερες συσκευές θα συνδεθούν ασύρματα. Οι χρήστες θα αλληλεπιδρούν μέσω πολλαπλών και ασύρματα συνδεδεμένων συσκευών. Αυτό υποδηλώνει ένα σενάριο στο οποίο εκατοντάδες χρήστες απαιτούν εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης για υπηρεσίες που χρειάζονται γρήγορη εκτέλεση με μεγάλη κατανάλωση εύρους ζώνης, επεξεργαζόμενες μεγάλο όγκο δεδομένων στο σύννεφο αλλά και χρησιμοποιώντας επικοινωνία μέσω βίντεο. Ο εξαιρετικά υψηλός όγκος κίνησης - και για ορισμένες εφαρμογές η καθυστέρηση, αποτελούν τις κύριες προκλήσεις για αυτή την περίπτωση χρήσης.

iii. Υπηρεσίες Παρόχου Σύννεφου

Οι υπηρεσίες σύννεφου που παρέχονται από τους παρόχους θα γίνονται όλο και περισσότερο διαφοροποιημένες, και περαιτέρω προσαρμοσμένες σε κάθε χρήστη, δίνοντας τη δυνατότητα στους παρόχους να παρέχουν στο χρήστη μια πλήρως κινητή "έξυπνη ζωή". Προκειμένου να υποστηριχθούν οι μελλοντικές υπηρεσίες σύννεφου, θα υπάρξει ανάγκη για:

1. υψηλότερο QoE (Quality of Experience) με συνέπεια στους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στο χρήστη,
2. ταχεία και αξιόπιστα δίκτυα και ομαλή διασύνδεση σε σύννεφα, δίκτυα και συσκευές

iv. Κοινή χρήση βίντεο/ φωτογραφιών HD σε εξωτερικούς χώρους

Η συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης χαρακτηρίζεται από υψηλή πυκνότητα συνδέσεων και ενδεχομένως προσωρινών (π.χ. σε στάδιο, συναυλία ή άλλα γεγονότα). Μπορούν να εξυπηρετηθούν αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρήστες ανά km², χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα φυσικές και εικονικές πληροφορίες όπως: σκορ, πληροφορίες για τους αθλητές ή τους μουσικούς κλπ., κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης. Οι χρήστες μπορούν

να παρακολουθήσουν αποθηκευμένο βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD), να μοιραστούν βίντεο που δημιουργούν εκείνη τη στιγμή ή να δημοσιεύσουν φωτογραφίες HD σε κοινωνικά δίκτυα. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν συνδυασμό εξαιρετικά υψηλής πυκνότητας συνδέσεων, υψηλό ρυθμό δεδομένων και χαμηλές καθυστερήσεις, [6].

2.1.2 Περίπτωση χρήσης του 5G: Ευρυζωνική Πρόσβαση Παντού

Η κατηγορία αυτή τονίζει την ανάγκη παροχής πρόσβασης σε ευρυζωνικές υπηρεσίες παντού, συμπεριλαμβανομένων των πιο δύσκολων περιπτώσεων όσον αφορά την κάλυψη (από αστικές σε προαστιακές και αγροτικές περιοχές). Μια εμπειρία χρήστη που χαρακτηρίζεται από συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη τη ρυθμαπόδοση, πρέπει να μπορεί να εγγυηθεί ένα ελάχιστο ρυθμό δεδομένων παντού. Η περαιτέρω ανάπτυξη της ψηφιοποίησης της καθημερινότητας των ατόμων που ζουν σε περιοχές με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα αλλά και σε αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτάται από το κόστος ανάπτυξης των υποδομών. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. 50+ Mbps παντού

Η κινητή και συνδεδεμένη κοινωνία θα χρειαστεί ευρυζωνική πρόσβαση για να είναι διαθέσιμη παντού. Ως εκ τούτου, τα 50Mbps θα πρέπει να θεωρούνται ως ο ελάχιστος ρυθμός δεδομένων χρήστη και όχι ο θεωρητικός μέγιστος ρυθμός δεδομένων ενός χρήστη. Περαιτέρω, υπογραμμίζεται ότι αυτός ο ρυθμός χρήστη πρέπει να υπάρχει σε καθόλη την περιοχή κάλυψης (δηλ. ακόμη και στις άκρες της κυψέλης). Η τιμή των 50 (ή πιθανόν 100) Mbps παντού είναι ενδεικτική, ανάλογα με την εξέλιξη της τεχνολογίας 5G για την οικονομική υποστήριξη αυτών των αριθμών.

ii. Δίκτυα εξαιρετικά χαμηλού κόστους

Η εφαρμογή και η λειτουργία της υποδομής των κινητών δικτύων καθώς και το κόστος των τερματικών δεν είναι οικονομικά βιώσιμα για να καλύψουν τις περιοχές με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα αλλά και ορισμένες περιοχές με χαμηλό ARPU (Average Revenue Per User). Το 5G αναμένεται να είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να αναπτυχθεί κάτω από εξαιρετικά χαμηλές απαιτήσεις κόστους για να προσφέρει πρόσβαση στο διαδίκτυο σε αυτές τις περιοχές και να δώσει την ευκαιρία σε νέες επιχειρήσεις και περιοχές που δεν καλύπτονται, να διασυνδεθούν με τον υπόλοιπο κόσμο, [6].

2.1.3 Περίπτωση χρήσης του 5G: Υψηλότερη Κινητικότητα Χρήστη

Μετά το 2020, θα υπάρξει αυξανόμενη ζήτηση για κινητές υπηρεσίες σε οχήματα, τρένα και ακόμη και σε αεροσκάφη. Ενώ ορισμένες υπηρεσίες είναι η φυσική εξέλιξη των υφιστάμενων (πλοήγηση, ψυχαγωγία κ.λπ.), μερικές άλλες αντιπροσωπεύουν εντελώς νέες δυνατότητες, όπως υπηρεσίες ευρυζωνικών επικοινωνιών σε εμπορικά αεροσκάφη (π.χ. μέσω ενός διανομέα). Τα οχήματα θα απαιτούν βελτιωμένη συνδεσιμότητα για: ψυχαγωγία εντός του οχήματος, πρόσβαση στο διαδίκτυο, βελτιωμένη πλοήγηση μέσω άμεσων πληροφοριών και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, αυτόνομη οδήγηση, ασφάλεια και διαγνωστικές πληροφορίες οχημάτων. Ο απαιτούμενος βαθμός κινητικότητας (π.χ. η ταχύτητα) θα εξαρτηθεί από την συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης κάθε φορά. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. Τρένο υψηλής ταχύτητας

Το τρένο υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιείται σε διάφορες περιοχές για τις μετακινήσεις μεταξύ πόλεων αλλά και χωρών και θα εξελιχθεί περαιτέρω μετά το 2020· αυτά τα τρένα

υψηλής ταχύτητας μπορούν να φτάσουν ταχύτητες άνω των 500 km/ h. Κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, οι επιβάτες θα χρησιμοποιούν υψηλής ποιότητας internet μέσω κινητού για εύρεση πληροφοριών, ψυχαγωγία ή εργασία. Μερικά παραδείγματα αυτών είναι: η παρακολούθηση μιας ταινίας HD, online gaming, πρόσβαση σε εταιρικά συστήματα, αλληλεπίδραση με κοινωνικά μέσα (social media) ή τηλεδιάσκεψη. Η παροχή ικανοποιητικής εξυπηρέτησης στους επιβάτες (π.χ. έως 1000 περίπου επιβάτες) με ταχύτητα 500km/ h μπορεί να είναι μια μεγάλη πρόκληση. Επιπλέον, η παροχή μιας αποδεκτής καθυστέρησης από άκρο σε άκρο στα παραπάνω παραδείγματα θα αποτελέσει μια επιπλέον πρόκληση.

ii. Απομακρυσμένα υπολογιστικά συστήματα

Μετά το 2020, η χρήση απομακρυσμένων υπολογιστών εξ' αποστάσεως χρησιμοποιείται εν κινήσει και σε υψηλές ταχύτητες (όπως σε οχήματα ή δημόσιες μεταφορές). Επιπλέον, η αυτοκινητοβιομηχανία και η βιομηχανία μεταφορών θα βασίζονται στην απομακρυσμένη επεξεργασία για να διευκολύνουν τη διαδικασία συντήρησης οχημάτων αλλά και για να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στην αγορά άμεσα. Όλα αυτά απαιτούν πολύ χαμηλές καθυστερήσεις με ισχυρό επικοινωνιακό marketing αλλά παράλληλα και με τη διαθεσιμότητα να αγγίζει το 100%.

iii. Μετακίνηση των Hotspots

Ενώ η κίνηση των οχημάτων ή των ανθρώπων (π.χ. στο δρόμο) θα αναγκάσει τη χωρητικότητα να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση (από σχεδόν σταθερή μέχρι τελείως κινούμενη), ο τρέχων σχεδιασμός των ραδιοεπαφών καθορίζει τις περιοχές hotspot, για βελτιστοποίηση, υποθέτοντας ένα σταθερό hotspot. Ως εκ τούτου, η μη στατική ζήτηση χωρητικότητας θα αποτελέσει πρόκληση για το 2020+. Το 5G θα συμπληρώνει τον σταθερό τρόπο σχεδιασμού της χωρητικότητας και θα ενσωματώνει τη μη στατική, δυναμική και πραγματική παροχή χωρητικότητας.

iv. 3D (τρισεπίστατη) Συνδεσιμότητα: Αεροσκάφη

Η πολιτική αεροπορία θα υλοποιήσει υπηρεσίες σύνδεσης το 2020+ και οι προσφερόμενες υπηρεσίες μεταφοράς θα περιλαμβάνουν παρόμοιες εφαρμογές με εκείνες που είναι διαθέσιμες στο έδαφος. Οι τυπικές διαδρομές αεροσκαφών είναι μέχρι 12χλμ. σε υπόμετρο, ενώ άλλα ιπτάμενα μεταφορικά μέσα, όπως τα ελικόπτερα συνήθως πετούν σε πολύ χαμηλότερα υπόμετρα. Ένα άλλο παράδειγμα για τη συνδεσιμότητα 3D είναι η υποστήριξη ζωντανών υπηρεσιών αθλητικών εκδηλώσεων, όπου ο χρήστης κινείται φυσικά και στις 3 διαστάσεις, π.χ. αερόστατο, ανεμόπτερα ή skydivers, [6].

2.1.4 Περίπτωση χρήσης του 5G: Μαζικό Διαδίκτυο Πραγμάτων

Το όραμα για το 2020 και μετά περιλαμβάνει επίσης πολλές περιπτώσεις χρήσης (που όλο και αυξάνονται) με μεγάλο αριθμό συσκευών (π.χ. αισθητήρες, ενεργοποιητές και κάμερες) με ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών και απαιτήσεων. Αυτή η κατηγορία θα περιλαμβάνει επικοινωνία μηχανών (Machine Type Communication - MTC) χαμηλού κόστους/ μεγάλης εμβέλειας/ χαμηλής ισχύος καθώς και ευρυζωνική MTC με ορισμένα χαρακτηριστικά που συγκλίνουν στην επικοινωνία του ανθρώπου (Human Type Communication - HTC). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. Έξυπνα Φορετά Αντικείμενα (Smart Wearables)

Αναμένεται ότι η χρήση φορετών αντικειμένων (που αποτελούνται από πολλαπλούς τύπους συσκευών και αισθητήρων) θα καθιερωθεί. Για παράδειγμα, ένα πλήθος

εξαιρετικά ελαφρών, χαμηλής ισχύος, αδιάβροχων αισθητήρων θα ενσωματωθεί στα ρούχα των ανθρώπων. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να μετρήσουν διάφορα περιβαλλοντικά και υγειονομικά χαρακτηριστικά όπως πίεση, θερμοκρασία, καρδιακό παλμό, πίεση αίματος, θερμοκρασία σώματος, ρυθμό αναπνοής, υγρασία του δέρματος κλπ. Μια βασική πρόκληση για αυτή την περίπτωση χρήσης είναι η συνολική διαχείριση του αριθμού των συσκευών καθώς και των δεδομένων και των εφαρμογών που σχετίζονται με αυτές τις συσκευές.

ii. Δίκτυα Αισθητήρων

Οι έξυπνες υπηρεσίες θα καθιερωθούν στις αστικές περιοχές και η χρήση τους θα αυξηθεί και στις προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Μεταξύ άλλων, η μέτρηση (π.χ. φυσικό αέριο, ενέργεια και νερό), η διαχείριση του φωτισμού πόλεων ή κτιρίων, η παρακολούθηση περιβάλλοντος (π.χ. ρύπανση, θερμοκρασία, υγρασία, θόρυβος) και ο έλεγχος της κυκλοφορίας οχημάτων αντιπροσωπεύουν κλασικά παραδείγματα υπηρεσιών σε μια έξυπνη πόλη. Η ενσωμάτωση όλων αυτών των υπηρεσιών οδηγεί σε μια υψηλή πυκνότητα συσκευών με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά που αναμένεται να συνδυαστούν σε ένα κοινό πλαίσιο επικοινωνίας και συνεργασίας. Ανάλογα με τις συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης, ενδέχεται να απαιτούνται συσκευές χαμηλού κόστους με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

iii. Κινητή βιντεοπαρακολούθηση

Τα επόμενα χρόνια, η κινητή βιντεοπαρακολούθηση μπορεί να εξελιχθεί ώστε να είναι διαθέσιμη στα αεροσκάφη, drone, αυτοκίνητα, στο προσωπικό ασφαλείας για σπίτια/ πολυκατοικίες, σε ειδικές εκδηλώσεις κλπ. Οι εφαρμογές αυτές θα αξιοποιήσουν την αυτοματοποιημένη ανάλυση των βίντεο που δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση. Αν και δε θα παρουσιάζουν περιορισμούς στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και συχνά χρησιμοποιούν συσκευές μεσαίας/ υψηλής τεχνολογίας, αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ένα εξαιρετικά αξιόπιστο και ασφαλές δίκτυο με τη σωστή απόδοση και άμεση αλληλεπίδραση με απομακρυσμένα συστήματα και back-end, [6].

2.1.5 Περίπτωση χρήσης του 5G: Επικοινωνίες Πραγματικού Χρόνου

Αυτή η κατηγορία καλύπτει περιπτώσεις χρήσης που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι απαιτήσεις είναι εξειδικευμένες για κάθε περίπτωση και για παράδειγμα μπορεί να απαιτούν ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα: εξαιρετικά υψηλή απόδοση, κινητικότητα, κρίσιμη αξιοπιστία κλπ. Για παράδειγμα, η περίπτωση χρήσης της αυτόνομης οδήγησης που απαιτεί εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία μπορεί επίσης να απαιτεί και άμεση αντίδραση (βασίζεται στην αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο), για την πρόληψη οδικών ατυχημάτων. Άλλες περιπτώσεις χρήσης, όπως η απομακρυσμένη πρόσβαση σε υπολογιστές εξ' αποστάσεως, έχει αυστηρή απαίτηση χαμηλών καθυστερήσεων απόκρισης, γι' αυτό μπορεί να χρειάζονται ισχυρά κανάλια επικοινωνίας με υψηλή διαθεσιμότητα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. Από Διαδίκτυο (Tactile Internet)

Η απτή αλληλεπίδραση αναφέρεται σε ένα σύστημα όπου ο άνθρωπος θα ελέγχει ασύρματα τα πραγματικά και τα εικονικά αντικείμενα. Η απτή αλληλεπίδραση απαιτεί τυπικά ένα σήμα αφής ελέγχου και ηχητική και/ ή οπτική ανατροφοδότηση. Μία εφαρμογή που ανήκει σε αυτήν την κατηγορία είναι η χρήση λογισμικού που εκτελείται στο σύννεφο με τρόπο που ο χρήστης, αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον, δεν αντιλαμβάνεται καμία διαφορά μεταξύ πρόσβασης σε τοπικό και απομακρυσμένο περιεχόμενο. Ο ρομποτικός έλεγχος και η αλληλεπίδραση περιλαμβάνουν πολλά

σενάρια, όπως αυτά της κατασκευής, της απομακρυσμένης ιατρικής περίθαλψης και των αυτόνομων αυτοκινήτων. Η κύρια πρόκληση στην απτή αλληλεπίδραση είναι η αντίδραση σε πραγματικό χρόνο, η οποία αναμένεται να είναι σε χρονικά πλαίσια μικρότερα του msec, [6].

2.1.6 Περίπτωση χρήσης του 5G: Επικοινωνία Ζωτικής Σημασίας

Οι υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας και έκτακτης ανάγκης που παρέχονται σήμερα βελτιώνονται συνεχώς. Εκτός από τις νέες δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας που αφορούν αρχές - πολίτη για ενημέρωση και υποστήριξη, αυτές οι περιπτώσεις χρήσης θα εξελιχθούν ώστε να περιλαμβάνουν και νέες εφαρμογές για ενδοεπικοινωνία μεταξύ των αρχών, για επικοινωνία πρόβλεψης έκτακτης ανάγκης και αντιμετώπισης καταστροφών. Επιπλέον, υπάρχει το όραμα ότι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας θα λειτουργεί ως γραμμή επικοινωνίας για ζητήματα ζωτικής σημασίας, σε όλες τις περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων περιόδων γενικότερης έκτακτης ανάγκης. Γι' αυτό το λόγο, οι περιπτώσεις χρήσης απαιτούν πολύ υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας, πέραν της δυνατότητας υποστήριξης σε ώρες αιχμής.

i. Φυσικές καταστροφές

Το 5G θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει εύρωστες επικοινωνίες σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί, τσουνάμι, πλημμύρες, τυφώνες κ.λπ. Απαιτούνται πολλοί τύποι επικοινωνιών (π.χ. φωνή, μηνύματα κειμένου) από τους ανθρώπους που βρίσκονται στην περιοχή της καταστροφής. Οι επιζώντες πρέπει επίσης να είναι σε θέση να ενημερώσουν για τη θέση/ παρουσία τους έτσι ώστε να μπορούν να βρεθούν γρήγορα. Η εξοικονόμηση ενέργειας από το δίκτυο και το τερματικό χρήστη είναι κρίσιμη σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ενώ θα πρέπει το δίκτυο να είναι σε θέση να υποστηρίξει τέτοιες καταστάσεις για αρκετό χρονικό διάστημα, [6].

2.1.7 Περίπτωση χρήσης του 5G: Πολύ Αξιόπιστες Επικοινωνίες

Το όραμα για το 2020 και μετά δηλώνει όχι μόνο σημαντική ανάπτυξη σε τομείς όπως οι εφαρμογές στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, της υγείας και της υποστήριξης διαβίωσης, αλλά αναφέρεται σε ένα νέο κόσμο στον οποίο οι βιομηχανίες από την κατασκευή έως τη γεωργία βασίζονται σε αξιόπιστες MTC. Άλλες εφαρμογές ενδέχεται να προϋποθέτουν σημαντική ανάπτυξη στην απομακρυσμένη λειτουργία και έλεγχο, οι οποίες θα απαιτούν επίσης εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις, π.χ. υπηρεσίες επιχείρησης ή υπηρεσίες κρίσιμης υποδομής όπως τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας (Smart Grid). Πολλές από αυτές τις εφαρμογές θα έχουν μηδενική έως χαμηλή κινητικότητα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης:

i. Αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας και οδήγηση

Κατά τα επόμενα χρόνια, οι προηγμένες εφαρμογές ασφάλειας θα μπορούν να μειώσουν τα οδικά ατυχήματα, να βελτιώσουν την κυκλοφορία των αυτοκινήτων και να υποστηρίξουν την κινητικότητα σε οχήματα έκτακτης ανάγκης (π.χ. ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα). Οι εφαρμογές αυτές θα δίνουν δυνατότητες όχι μόνο επικοινωνίας αυτοκίνητο με αυτοκίνητο ή οχήματος με κεντρικά γραφεία, αλλά και επικοινωνία με χρήστες στο δρόμο, όπως πεζοί και ποδηλάτες. Μια εφαρμογή όπως για παράδειγμα η ελεγχόμενη οδήγηση ομάδας οχημάτων θα απαιτεί εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις από άκρη σε άκρη για ορισμένα προειδοποιητικά σήματα, και υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων για ανταλλαγή πληροφοριών βίντεο μεταξύ

αυτοκινήτων και κέντρου. Το 5G θα πρέπει να παρέχει υψηλή αξιοπιστία, χαμηλές καθυστερήσεις και υψηλή επεκτασιμότητα, χαρακτηριστικά απαραίτητα για αυτό το χώρο.

ii. Συνεργαζόμενα ρομπότ: Ένα δίκτυο ελέγχου για τα Robot

Η αυτοματοποίηση θα συμπληρώσει το εργατικό δυναμικό όχι μόνο σε θέσεις εργασίας με τυποποιημένες διαδικασίες (π.χ. παραγωγή, μεταφορά, διοικητική υποστήριξη) αλλά και στον κλάδο των υπηρεσιών. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αυτές οι εφαρμογές με εντελώς διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικά περιβάλλοντα, θα είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα δίκτυο ελέγχου με πολύ χαμηλές καθυστερήσεις και υψηλή αξιοπιστία. Για πολλά σενάρια που εμπλέκουν τη χρήση ρομπότ, χρειάζονται συνολικές καθυστερήσεις της τάξης μικρότερης από 1msec.

iii. Ηλεκτρονική Υγεία (electronic Health - eHealth): Ζωτικής σημασίας

Ενώ οι κινητές εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης της υγείας θα συνεχίσουν να αυξάνονται και μετά το 2020, θα δημιουργηθούν και άλλες εφαρμογές όπως η απομακρυσμένη θεραπεία. Τέτοιες εφαρμογές θα περιλαμβάνουν αρκετές συσκευές, όπως αισθητήρες, π.χ. για έλεγχο ηλεκτροκαρδιογραφίας, παλμών, γλυκόζης αίματος, πίεσης αίματος και θερμοκρασίας. Οι εφαρμογές παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης των ασθενών εξ' αποστάσεως, θα αυξηθούν περαιτέρω όσον αφορά τη διαθεσιμότητα και τις νέες εφαρμογές. Ανάλογα με τη συσκευή του ασθενούς, μπορεί να απαιτούνται άμεσες ενέργειες για τη θεραπεία του ασθενούς και πρέπει οι πληροφορίες για αυτές να λαμβάνονται γρήγορα και αυτόματα. Οι εφαρμογές για την υγεία είναι ζωτικής σημασίας και το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρεί και να βάζει προτεραιότητες στην επικοινωνία συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών εκτός κάλυψης. Πρέπει να διασφαλίζεται η ταυτότητα, η ιδιωτικότητα, η ασφάλεια και η διαχείριση της ταυτότητας για κάθε συσκευή.

iv. Διαχείριση απομακρυσμένων αντικειμένων: Η απομακρυσμένη χειρουργική

Η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, η οποία μπορεί να γίνει σήμερα με τη χρήση σταθερών δικτύων, θα μπορεί να γίνει κινητή σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα, μέσα στο ασθενοφόρο, για απομακρυσμένες περιοχές, για εξερεύνηση επικίνδυνων περιοχών ή κατά τη διαρροή ραδιενεργού υλικού, κ.λπ. Η τεχνολογία που είναι απαραίτητη για την παροχή του σωστού ελέγχου και ανάδρασης για τον χειρουργό προϋποθέτει πολύ αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά τις καθυστερήσεις, την αξιοπιστία και την ασφάλεια.

v. 3D Συνδεσιμότητα: Drone

Οι μελλοντικές υπηρεσίες του 5G θα απαιτούν παντού κάλυψη, συμπεριλαμβανομένων τόσο των επίγειων θέσεων όσο και των θέσεων σε υψόμετρο (στον αέρα). Για παράδειγμα, τα drone μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον τομέα logistics, όπως η αυτόνομη παράδοση πακέτων σε διαδρομές χωρίς πληθυσμό/ χαμηλό πληθυσμό. Ένα παράδειγμα είναι η παράδοση φαρμάκου στον παραλήπτη, με το drone να βρίσκει αυτόματα το δρόμο χρησιμοποιώντας ένα σύστημα τηλεχειρισμού που επικοινωνεί με το κέντρο μέσω του δικτύου 5G.

vi. Δημόσια Ασφάλεια

Οι οργανισμοί δημόσιας ασφάλειας θα χρειαστούν βελτιωμένες και ασφαλείς επικοινωνίες. Αυτό, για παράδειγμα, θα περιλαμβάνει βίντεο σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητα αποστολής εικόνων υψηλής ποιότητας. Η κύρια πρόκληση είναι να εξασφαλιστεί (πλήρως) αξιόπιστη επικοινωνία σε ολόκληρο το εύρος των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, στη γη, στη θάλασσα, στον αέρα, στο εσωτερικό του κτιρίου και ορισμένων υπόγειων περιοχών όπως τα υπόγεια κτιρίων και τα συστήματα μετρό. Θα

χρειαστεί επίσης να δοθεί προτεραιότητα όσον αφορά άλλου τύπου κίνηση δεδομένων (σε δίκτυα που χρησιμοποιούν και άλλοι χρήστες), δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και υψηλή ασφάλεια, [6].

2.1.8 Περίπτωση χρήσης του 5G: Υπηρεσίες Αναμετάδοσης

Η εξατομίκευση της επικοινωνίας θα οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης για αναμετάδοση προς όλους, π.χ. της τηλεόρασης, καθώς κάθε εξατομικευμένος δέκτης θα ενημερώνεται επιλεκτικά για τις πληροφορίες που τον ενδιαφέρουν, άρα δε θα χρειάζεται πλέον την αναμετάδοση της πληροφορίας από έναν προς πολλούς προορισμούς. Αυτές οι υπηρεσίες ενδέχεται να διανέμουν το περιεχόμενο όπως γίνεται σήμερα (συνήθως μόνο downlink), αλλά επίσης μπορεί να παρέχουν ένα κανάλι ανατροφοδότησης (uplink) για διαδραστικές υπηρεσίες ή πληροφορίες επιβεβαίωσης. Και οι υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο και οι υπηρεσίες σε μη πραγματικό χρόνο πρέπει να είναι εφικτές. Επιπλέον, οι υπηρεσίες αυτές είναι κατάλληλες για να εξυπηρετούν τις ανάγκες των κάθετων αγορών. Αυτές οι υπηρεσίες χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο εύρος που μπορεί να επικεντρώνεται είτε στη γεωγραφική τοποθεσία είτε σε ένα συγκεκριμένο χώρο (πολλοί τελικοί χρήστες).

i. Νέα και πληροφορίες

Μετά το 2020, η λήψη κειμένου/ εικόνων, ήχου και βίντεο, παντού και αμέσως μόλις συμβεί κάτι (π.χ. σκορ σε ποδοσφαιρικό αγώνα) θα είναι εφικτή. Οι χρήστες σε συγκεκριμένες περιοχές θα πρέπει να λαμβάνουν άμεσα τα κατάλληλα νέα και πληροφορίες ανεξάρτητα από τη συσκευή που χρησιμοποιούν και τη δικτυακή σύνδεσή τους.

ii. Τοπικές υπηρεσίες αναμετάδοσης

Οι τοπικές υπηρεσίες θα είναι ενεργές σε ένα επίπεδο κυψέλης (σύνθετο) σε μια απόσταση περίπου 1 έως 20km. Οι απλές περιπτώσεις περιλαμβάνουν υπηρεσίες σε: ένα στάδιο, διαφημίσεις, εκθέσεις και συνέδρια. Οι τοπικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτές τις δυνατότητες για να αναζητήσουν άτομα που έχουν εξαφανισθεί ή για την πρόληψη ή την αντιμετώπιση της εγκληματικότητας (π.χ. κλοπή).

iii. Προσωπικές υπηρεσίες αναμετάδοσης

Θα απαιτούνται υπηρεσίες αναμετάδοσης με περιφερειακή εμβέλεια, για παράδειγμα σε απόσταση μεταξύ 1 και 100km. Μια απλή περίπτωση περιλαμβάνει την ενημέρωση για κυκλοφοριακή συμφόρηση. Τοπικές προειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης μπορεί να περιλαμβάνουν προειδοποιήσεις για καταστροφές. Σε αντίθεση με την υπηρεσία μετάδοσης παλαιότερα, το κανάλι ανατροφοδότησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της παράδοσης του προειδοποιητικού μηνύματος σε όλα ή σε επιλεγμένα μέρη.

iv. Πληροφορίες εθνικής εμβέλειας

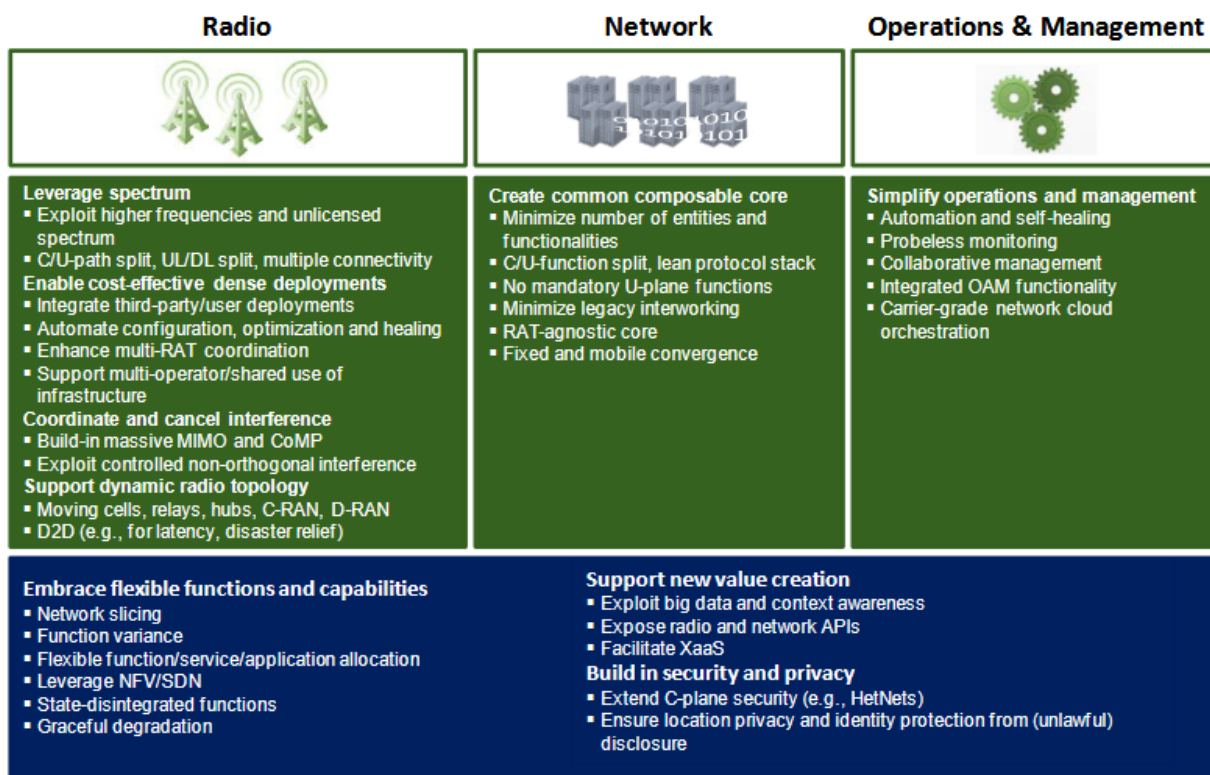
Οι εθνικές ή ακόμη και οι ηπειρωτικές/ παγκόσμιες υπηρεσίες είναι ενδιαφέρουσες ως υποκατάστατες ή συμπληρωματικές υπηρεσίες των ραδιοφωνικών/ τηλεοπτικών εκπομπών. Επίσης, οι κάθετες αγορές θα επωφεληθούν από τις εθνικές υπηρεσίες ραδιοφωνικής μετάδοσης για αναβάθμιση/ διανομή υλικού και λογισμικού. Η αυτοκινητοβιομηχανία μπορεί να αξιοποιήσει τη δυνατότητα εκπομπής επιβεβαίωσης από τον παραλήπτη για να μετριάσει την ανάγκη για επανεκπομπή των μηνυμάτων τους. Αυτό προϋποθέτει ότι οι ενημερώσεις κώδικα λογισμικού πρέπει να έχουν

δυνατότητα κλιμάκωσης, και οι επιτυχείς ενημερώσεις να επιβεβαιώνονται και να καταγράφονται μέσω του καναλιού ανατροφοδότησης.

Οι προοπτικές μετά το 2020, που παρουσιάζονται σε όλες τις περιπτώσεις χρήσης παραπάνω, είναι εξαιρετικά ευρείες όσον αφορά την ποικιλία εφαρμογών και τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών απόδοσης. Οι κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης που παρουσιάστηκαν νωρίτερα αντιπροσωπεύουν τόσο εμπλουτισμένες κατηγορίες υπηρεσιών όσο και προοπτικές για πολλές νέες υπηρεσίες, [6].

2.1.9 Αρχές σχεδιασμού 5G

Πέρα από τις λειτουργικές απαιτήσεις που σχετίζονται με τους ρυθμούς δεδομένων, την καθυστέρηση, τον αριθμό των συσκευών κ.λπ. έχει διατυπωθεί και ένα σύνολο βασικών αρχών σχεδιασμού από την Next Generation Mobile Network Alliance (NGMN). Αυτές οι αρχές σχεδιασμού αντικατοπτρίζουν τις επιχειρησιακές απαιτήσεις των παρόχων κινητής τηλεφωνίας, [6]:



Εικόνα 2: Αρχές σχεδιασμού 5G, [6].

2.1.9.1 Ραδιοεπαφή

Όσον αφορά το κομμάτι των ραδιοεπικοινωνιών, θα πρέπει να αξιοποιηθούν υψηλότερες συχνότητες (π.χ. centimetre και millimetre waves) και φάσμα που δεν υπόκειται σε άδειες προκειμένου να ενταθούν οι προσπάθειες χρησιμοποίησης οποιουδήποτε υπολειπόμενου εύρους ζώνης σε χαμηλότερες συχνότητες και ως συμπλήρωμα στο διαθέσιμο αδειοδοτημένο ραδιοφάσμα. Λόγω διαφορετικών ιδιοτήτων διαφορετικού φάσματος, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν έννοιες όπως διαχωρισμός μονοπατιού για το κομμάτι του ελέγχου (Control plane) και το κομμάτι του χρήστη (User plane) αλλά και διαχωρισμός UL/ DL για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των εκάστοτε συχνοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υποστηρίζονται ταυτόχρονες συνδέσεις σε πολλαπλά σημεία πρόσβασης.

Επίσης, με την αύξηση της πυκνότητας των κατοίκων, άρα και του δικτύου, ο προγραμματισμός των κυψελών και η συντονισμένη χρήση τους θα γίνουν όλο και πιο δύσκολα, καθώς η εφαρμογή θα γίνει σε πολλά επίπεδα (γεωγραφικά αναφερόμενοι) και οι οριοθετήσεις των κεραιών θα γίνουν πιο δύσκολες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν βέλτιστες τοποθεσίες κεραιών. Για να καταστεί η πυκνότητα του δικτύου οικονομικά βιώσιμη, είναι απαραίτητα νέα μοντέλα ανάπτυξης, όπως εγκαταστάσεις δικτύων με κοινόχρηστη υποδομή. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρεί την απόδοσή του σταθερή, ακόμα και σε πολύ άσχημα σχεδιασμένες εγκαταστάσεις δικτύου αλλά και να αντιμετωπίσει απρόσμενες παρεμβολές, ακόμη και σε τέτοιες περιπτώσεις. Συνεπώς, το δίκτυο θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να προσαρμόζεται στη διαθεσιμότητα διαφορετικών τύπων backhaul και fronthaul και να διαθέτει αυτοματοποιημένες δυνατότητες διαμόρφωσης, βελτιστοποίησης και αντιμετώπισης προβλημάτων. Αυτό περιλαμβάνει και τη δυνατότητα αυτοδιαχείρισης παρεμβολών και εξισορρόπησης φορτίου.

Οι τεχνολογίες massive MIMO (Multiple Input, Multiple Output) και CoMP (Coordinated Multi Point) θα είναι απαραίτητες για τη βελτίωση του SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio) στο σύστημα, βελτιώνοντας έτσι το QoS (Quality of Service) και τη συνολική απόδοση του φάσματος. Και το massive MIMO και το CoMP, για να αξιοποιηθούν στο μέγιστο δυνατό, βασίζονται στη διαθεσιμότητα των πληροφοριών κατάστασης των καναλιών. Επομένως, για να είναι αποτελεσματικές οι διαδικασίες ανάκτησης απαραίτητων πληροφοριών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη φάση του σχεδιασμού και μάλιστα από την αρχή του. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες μεθόδους του CoMP που έχουν ήδη προταθεί για το LTE, που κυμαίνονται από το συντονισμένο προγραμματισμό έως την κοινή μετάδοση, το 5G θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να στηρίζει τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές.

Το δίκτυο 5G πρέπει επίσης να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται όλες τις εφικτές μεθόδους ακύρωσης παρεμβολών, όπως η μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (NOMA) με προηγμένους δέκτες, όπου προσφέρουν χρήσιμα οφέλη απόδοσης.

Οι συσκευές πρέπει να συνδέονται μέσω τοπολογιών που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση της μπαταρίας και τα μηνύματα σηματοδότησης, χωρίς να περιορίζουν την ορατότητα και την προσβασιμότητά τους από το δίκτυο. Οι φορητές συσκευές θα μπορούσαν να συνδεθούν στο δίκτυο μέσω ενός smartphone ή απευθείας, εάν η μπαταρία του smartphone τελειώσει. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι επικοινωνίες (Device to Device) D2D θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για να αποσυμφορήσουν την κυκλοφορία στο δίκτυο. Έτσι, η τοπολογία της ασύρματης διεπαφής θα πρέπει να μπορεί να αλλάζει δυναμικά βάσει του σχεδιασμού της, κάτι που θα επιτευχθεί ευκολότερα αν ο σχεδιασμός αυτός είναι ενιαίος και γίνει μαζί με το σχεδιασμό των ταυτοτήτων και των διαδικασιών ελέγχου της ταυτότητας και της κινητικότητας, [6].

2.1.9.2 Δίκτυο κορμού

Για να υποστηρίξει την ποικιλομορφία των περιπτώσεων χρήσης και των απαιτήσεων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να απομακρυνθεί από τον μονολιθικό σχεδιασμό του 4G, που είναι βελτιστοποιημένος για κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται μια επανεξέταση ορισμένων μοντέλων, όπως π.χ. των APN. Οι κινητές συσκευές και τα τερματικά πρέπει να επανασχεδιαστούν με βάση τα νέα δεδομένα και τις νέες απαιτήσεις. Οι υποχρεωτικές λειτουργίες πρέπει να μειωθούν στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο και οι λειτουργίες ελέγχου και χρήστη θα πρέπει να διαχωρίζονται σαφώς με ανοιχτές διεπαφές μεταξύ τους, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν απαιτείται.

Για να υπάρξει περαιτέρω απλούστευση, πρέπει επίσης να ελαχιστοποιηθεί η διαλειτουργικότητα των παλαιών συστημάτων, όπως για παράδειγμα η μεταγωγή κυκλώματος που γίνεται στα δίκτυα 2G και 3G. Με λίγα λόγια, ο στόχος θα πρέπει να είναι η δημιουργία ενός δικτύου κορμού που δε θα «ενδιαφέρεται» για τον τύπο πρόσβασης (δηλαδή, όπου η ταυτότητα, η κινητικότητα, η ασφάλεια κ.λπ. δε θα εξαρτώνται από την τεχνολογία πρόσβασης), το οποίο θα βασίζεται στο IP τόσο για τις σταθερές όσο και για τις κινητές υπηρεσίες του, [6].

2.1.9.3 Καθολική εικόνα (End-to-End)

Οι λειτουργίες δικτύου/ συσκευής και η διαμόρφωση RAT θα πρέπει να προσαρμόζονται για κάθε περίπτωση χρήσης, αξιοποιώντας τις δυνατότητες των NFV και SDN. Έτσι, το δίκτυο πρέπει να υποστηρίζει την ευέλικτη σύνθεση των λειτουργιών του, καθώς και την ευέλικτη κατανομή και τοποθέτηση τους. Οι λειτουργίες δικτύου πρέπει να είναι κλιμακωτές έτσι ώστε να παρέχεται χωρητικότητα όταν και όπου χρειάζεται. Ακόμη και όταν συγκεκριμένες λειτουργίες ή κόμβοι δεν είναι διαθέσιμοι, π.χ., λόγω καταστροφών, το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει ομαλή υποβάθμιση υπηρεσιών αντί για πλήρη διακοπή λειτουργίας. Για να βελτιωθεί αυτή η ευρωστία, οι πληροφορίες κατάστασης θα πρέπει να διαχωριστούν από τις λειτουργίες και τους κόμβους, έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να μετακινηθούν και να επανατοποθετηθούν ακόμη και σε περιστατικά αποτυχίας.

Επίσης, το 5G θα πρέπει να εκμεταλλευτεί το δίκτυο για να δημιουργήσει γρήγορα και αποτελεσματικά νέες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας και να διερευνήσει διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιήσει big data για τη δημιουργία νέων τρόπων χρήσης, π.χ. για το μάρκετινγκ, τη βελτιστοποίηση των δημόσιων μεταφορών και τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Έτσι, ο σχεδιασμός του δικτύου πρέπει να κάνει τις διαδικασίες συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας των απαραίτητων δεδομένων απλές και αποτελεσματικές.

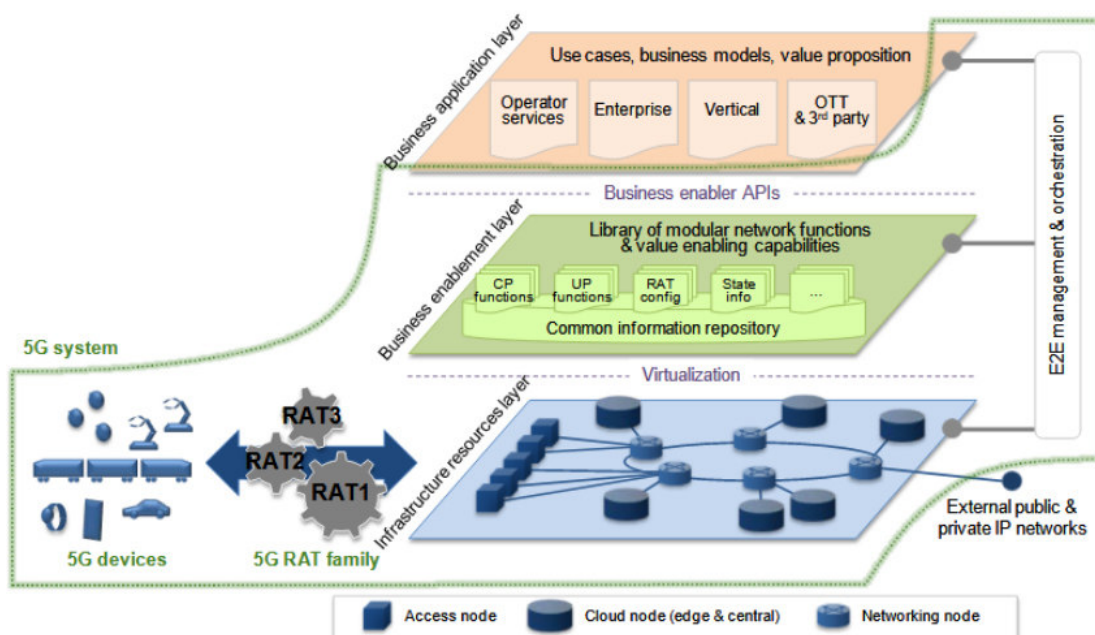
Τέλος, η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικής ζωής του συστήματος 5G πρέπει να αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι του σχεδιασμού του συστήματος παρά την αύξηση της πυκνότητας του δικτύου, τη δυναμική τοπολογία του ραδιοεξοπλισμού και την ευέλικτη κατανομή λειτουργιών. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία και η ταυτότητα του χρήστη πρέπει να προστατεύονται από υποκλοπή. Ορισμένες περιπτώσεις χρήσης 5G απαιτούν εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις - συμπεριλαμβανομένης της καθυστέρησης της εκκίνησης των επικοινωνιών. Για αυτές τις περιπτώσεις χρήσης, πρέπει να αποφεύγεται η ασφάλεια πολλών αλμάτων, όπου οι ενδιάμεσοι κόμβοι πρέπει να αποκρυπτογραφούν και να επανακρυπτογραφούν τα δεδομένα, [6].

2.1.9.4 Λειτουργίες και Διαχείριση

Οι διευρυμένες δυνατότητες δικτύου και η ευέλικτη κατανομή λειτουργιών δεν θα πρέπει να προσφέρουν αυξημένη πολυπλοκότητα στις λειτουργίες και τη διαχείριση. Οι διαδικασίες θα πρέπει να αυτοματοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο, με σαφώς καθορισμένες ανοικτές διεπαφές για τον μετριασμό των προβλημάτων διασυνεργασίας μεταξύ πολλών προμηθευτών ραδιοεξοπλισμού καθώς και ζητήματα διαλειτουργικότητας (λόγω περιαγωγής). Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση ειδικών εργαλείων παρακολούθησης και οι λειτουργίες δικτύου (λογισμικό) να ενσωματώνονται με τις δυνατότητες παρακολούθησης. Η ανάλυση των big data θα πρέπει να μετατρέψει τη διαχείριση του δικτύου από reactive σε proactive. Για την εξασφάλιση διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας του δικτύου απαιτείται η χρήση του σύννεφου του δικτύου, [6].

2.2 Αρχιτεκτονική 5G και εικονικοποίηση

Η συνολική αρχιτεκτονική 5G όπως προβλέπεται από τη NGMN φαίνεται στην Εικόνα 3. Απεικονίζει τη δομή σε επίπεδα, συμπεριλαμβανομένης της εικονικοποίησης και της χρήσης διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interfaces - APIs).



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική 5G.

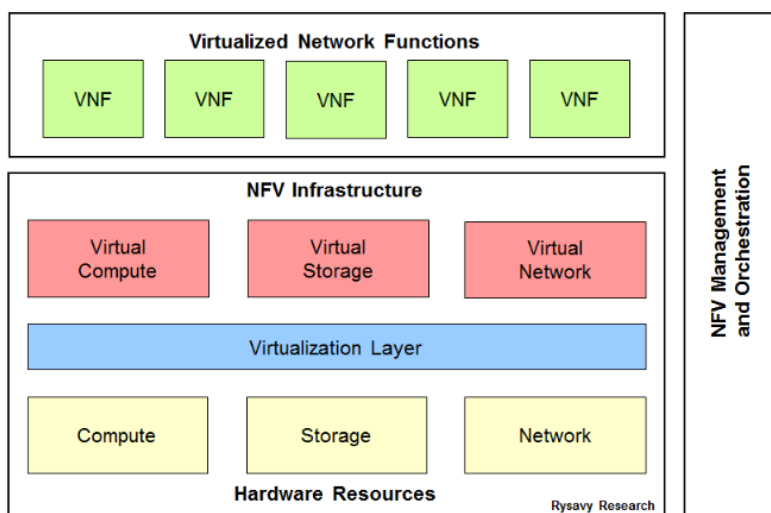
Η κύρια νέα τεχνολογική εξέλιξη που επηρεάζει το 5G είναι η εικονικοποίηση του δικτύου και η χρήση των APIs. Η εικονικοποίηση του δικτύου αναφέρεται στην υλοποίηση των λειτουργιών της υποδομής των επικοινωνιών σε λογισμικό που τρέχει σε εμπορική εφαρμογή υπολογιστικού εξοπλισμού, δηλαδή είναι μεταγωγείς Ethernet που συνδέονται με οπτικές ίνες κεντρικά ελεγχόμενες από λογισμικό. Μετά ακολουθεί η εικονικοποίηση των κέντρων δεδομένων και τη χρήση μιας τροποποιημένης έκδοσης του πρωτοκόλλου του Διαδικτύου, προσαρμοσμένο στον κεντροποιημένο έλεγχο του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, το 5G θα υλοποιηθεί με βάση την τεχνολογία δικτύωσης βασισμένη στο λογισμικό (Software Defined Networks - SDN) και την εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (Network Functions Virtualisation - NFV), την υπολογιστική στα άκρα του δικτύου (Mobile Edge Computing - MEC) και την υπολογιστική ομίχλη (Fog Computing - FC). Πρόκειται δηλαδή ουσιαστικά για μια αρχιτεκτονική που βασίζεται στην υπολογιστική "σύννεφου", συνδυάζοντας ένα σύνολο πόρων για τη μεταφορά, τη δρομολόγηση, την αποθήκευση και την επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένων των (χρηστών) πόρων στην άκρη του δικτύου. Επιπλέον, υποστηρίζει την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών μέσω APIs.

Η εικονικοποίηση άρχισε ήδη στο σταθερό δίκτυο με την AT & T να είναι στην κορυφή και η Verizon να την ακολουθεί από κοντά. Η AT & T περιέγραψε το κίνητρο για να κινηθεί προς την τεχνολογία NFV ως εξής: "Το δίκτυο της AT & T αποτελείται από ένα μεγάλο εύρος ιδιόκτητου εξοπλισμού υλικού. Για να ξεκινήσει μια νέα υπηρεσία δικτύου απαιτείται συχνά η προσθήκη νέου εξοπλισμού και για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, η διαδικασία γίνεται όλο και περισσότερο δύσκολη. Αυτή η δυσκολία επιδεινώνεται από την αύξηση του κόστους της ενέργειας, των επενδύσεων κεφαλαίου και της σπανιότητας των δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό, την ενσωμάτωση και τη λειτουργία όλο και πιο πολύπλοκων συσκευών. Επιπλέον, οι συσκευές αυτές είναι αναλώσιμες, απαιτώντας μεγάλο μέρος από τον κύκλο προμήθειας-σχεδιασμού-

ολοκλήρωσης-ανάπτυξης να επαναληφθεί με ελάχιστα ή καθόλου κέρδη. Επιπλέον, οι κύκλοι ζωής του υλικού καθίστανται μικρότεροι λόγω της καινοτομίας της τεχνολογίας και των υπηρεσιών που επιταχύνεται η ανάπτυξή τους, και αυτό μπορεί να εμποδίσει τη γρήγορη ανάπτυξη ενός νέου δικτύου εσόδων αλλά και να περιορίσει την καινοτομία σε έναν όλο και περισσότερο συνδεδεμένο με το δίκτυο κόσμο. Το NFV στοχεύει στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αναπτύσσοντας την τυποποιημένη τεχνολογία εικονικοποίησης IT 29 για την ενοποίηση πολλών τύπων εξοπλισμού δικτύου σε διακομιστές μεγάλου όγκου, switches και μνήμη που μπορεί να βρίσκεται σε κέντρα δεδομένων, σε δίκτυο από (Point of presences - PoPs) ή σε χώρους πελατών. Αυτό περιλαμβάνει την υλοποίηση λειτουργιών δικτύου στο λογισμικό, δηλαδή εικονικές λειτουργίες δικτύου (Virtual Network Functions - VNFs), που μπορούν να τρέξουν σε υλικό γενικού σκοπού και τα οποία μπορούν να μετακινηθούν σε διάφορες τοποθεσίες στο δίκτυο, όπως απαιτείται, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης νέου εξοπλισμού." Η διοίκηση της AT & T ανακοίνωσε ότι έχει ως στόχο το 75% του δικτύου να είναι εικονικοποιημένο μέχρι το 2020.

Οι επιτακτικοί λόγοι για την εφαρμογή εικονικοποίησης είναι: χαμηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες, που ωφελούνται από την κλιμάκωση της οικονομίας στη βιομηχανία του IT, χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, ταχύτερη ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, εξοικονόμηση ενέργειας, και βελτιωμένη αποδοτικότητα δικτύου.

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) έχει τυποήσει το πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων των διεπαφών και των αρχιτεκτονικών αναφοράς για εικονικοποίηση. Άλλα πρότυπα και εμπλεκόμενες ομάδες του κλάδου περιλαμβάνουν τα: 3GPP, Open Network Foundation, OpenStack, Open Daylight και OPNFV.



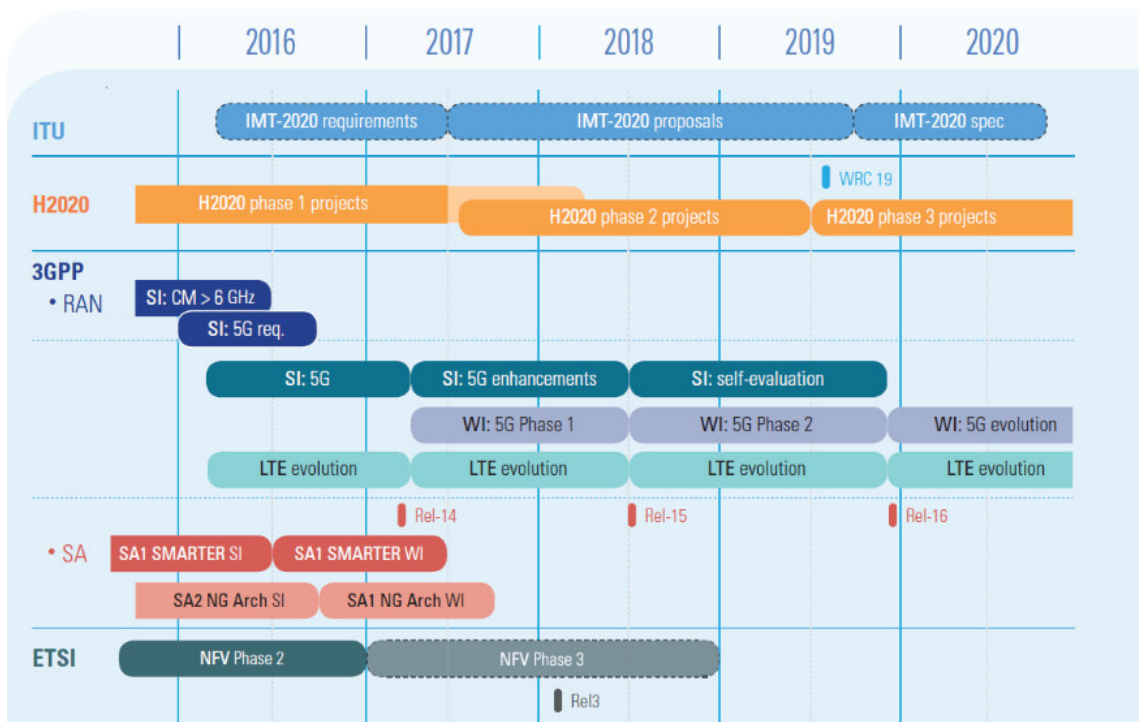
Εικόνα 4: Πλαίσιο εικονικοποίησης από τον οργανισμό ETSI.

Το βασικό δίκτυο, που αποτελείται από λιγότερους κόμβους, παρέχει ένα ευκολότερο σημείο εκκίνησης για εικονικοποίηση. Αν και πιο περίπλοκη, η εικονικοποίηση του δικτύου πρόσβασης (RAN) αναμένεται να προσφέρει τη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης στο δίκτυο, ιδίως στην εφαρμογή μικρών κυψελών.

Η εικονικοποίηση και διαχωρισμός μεταξύ των τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης και του πυρήνα του δικτύου αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά του τεμαχισμού του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, οι διάφορες περιπτώσεις χρήσης 5G με διαφορετικές απαιτήσεις στις ραδιοεπαφές και από πλευράς επεξεργασίας δεδομένων στο κεντρικό δίκτυο, μπορούν να συνδυαστούν και να υποστηριχθούν από ένα ολοκληρωμένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

2.3 Ψηφιακός χάρτης του 5G

Ο ψηφιακός χάρτης υψηλού επιπέδου για τις διάφορες δραστηριότητες που συνδέονται με το 5G αντικατοπτρίζεται στην ακόλουθη εικόνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργικότητα που προβλέπεται για το 5G θα είναι διαθέσιμη με την πάροδο του χρόνου μέσα από μια σειρά εκδόσεων των προδιαγραφών. Στην Εικόνα 5 φαίνεται μια πρόβλεψη του οργανισμού 5G Infrastructure Association για τα μελλοντικά σχέδια οργάνωσης και εκδόσεων του 5G.



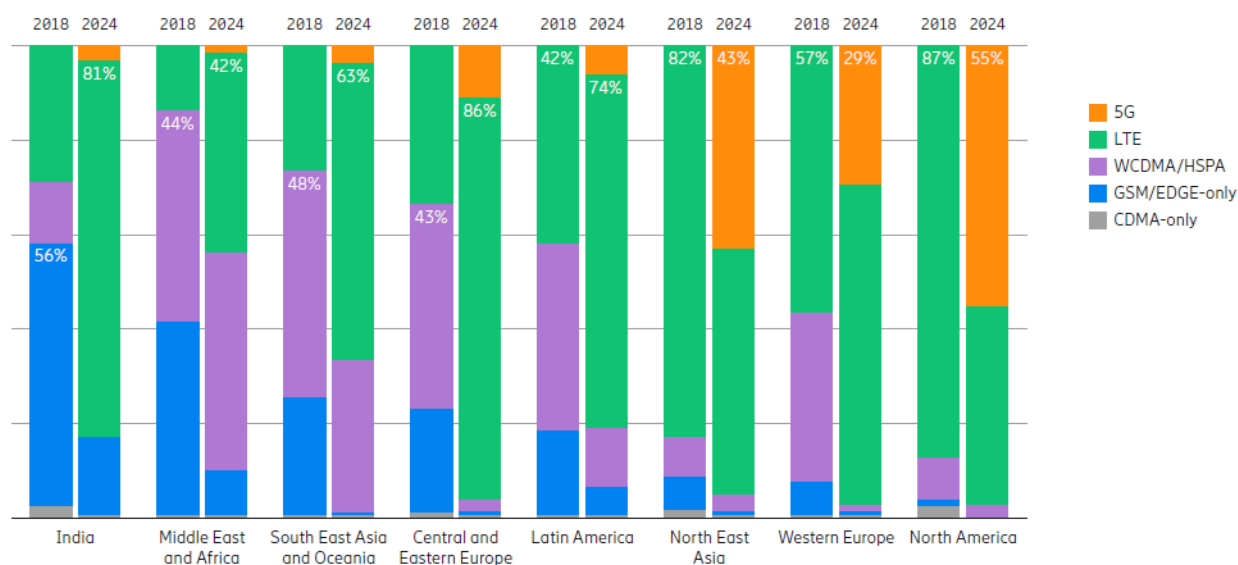
Εικόνα 5: Ψηφιακός χάρτης 5G, 2014-2024.

2.4 Οι απαιτήσεις από την πλευρά της αγοράς

Αυτή η ενότητα θα παρουσιάσει την πλευρά ζήτησης ως προς το 5G, σαν μια επέκταση των παρόντων τάσεων της αγοράς.

2.4.1 Απαιτήσεις αγοράς για συνδέσεις και κίνηση δεδομένων

Η τάση των παρόχων προς το 5G φαίνεται και από τα στατιστικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Ericsson, στην Εικόνα 6:



Εικόνα 6: Συνδρομές κινητής τηλεφωνίας με βάση την τοποθεσία και την τεχνολογία.

Στην Ινδία στο τέλος του 2018, το LTE θα φτάσει κοντά στο 30% όλων των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας. Καθώς συνεχίζεται επιτακτικά η μεταστροφή προς περισσότερες προηγμένες τεχνολογίες, το LTE προβλέπεται να αντιπροσωπεύει το 81% όλων των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας στο τέλος του 2024. Οι συνδρομές 5G αναμένεται να είναι διαθέσιμες από το 2022.

Στη Μέση Ανατολή και Αφρική στο τέλος του 2018, περισσότερο από 20% των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας θα είναι LTE, ενώ στην Υποσαχάρια Αφρική, το LTE θα φτάσει μόλις λίγο πάνω από 7% των συνδρομών. Αυτό αναμένεται να αλλάξει και, έως το 2024, 90% των συνδρομών αναμένεται να είναι για κινητή ευρυζωνική σύνδεση. Παράγοντες που οδηγούν σε αυτή τη "μετατόπιση" είναι ο νέος και αυξανόμενος πληθυσμός με ψηφιακές δεξιότητες και τα πιο προσιτά σε τιμή smartphones. Στη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική αναμένονται εμπορικές εφαρμογές 5G με σημαντικούς παρόχους τηλεπικοινωνιών έως το 2019 και περαιτέρω ανάπτυξη το 2021. Στην Υποσαχάρια Αφρική, αναμένονται 5G συνδρομές από το 2022.

Στη Νοτιοανατολική Ασία και η Ωκεανία οι συνδρομές LTE αυξήθηκαν κατά 70% κατά τη διάρκεια του 2018, λαμβάνοντας ένα ποσοστό 26%. Αυτή η αύξηση αναμένεται να συνεχιστεί και, το 2024, προβλέπεται ότι το LTE θα αντιπροσωπεύει το 63% όλων των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας. Συνδρομές 5G αναμένεται να είναι διαθέσιμες το 2021.

Στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, το LTE προβλέπεται να γίνει η κυρίαρχη τεχνολογία το 2019 και να αντιπροσωπεύει περίπου το 86% όλων των κινητών συνδρομών το 2024. Οι πρώτες συνδρομές 5G αναμένονται το 2019 και θα φτάσουν σχεδόν το 10% του συνόλου των συνδρομών το 2024.

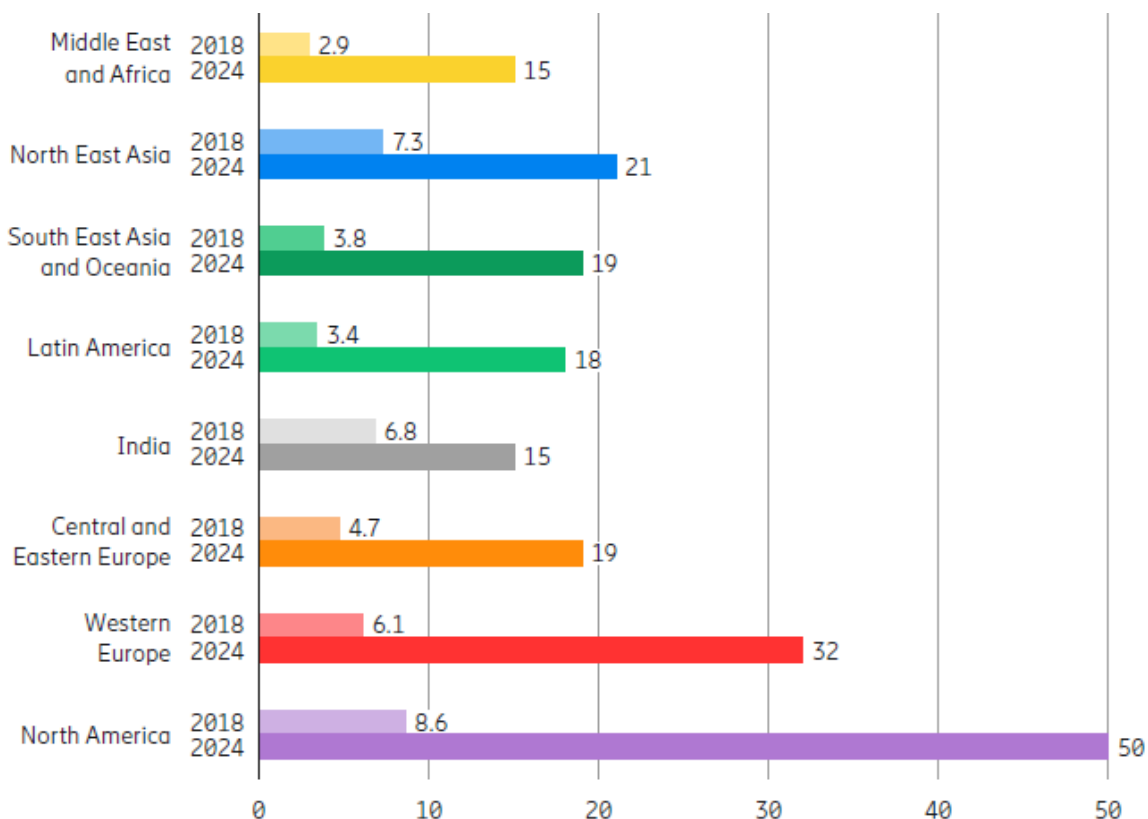
Στη Λατινική Αμερική, η κατανομή της τεχνολογίας αναμένεται να αλλάξει δραματικά στο άμεσο μέλλον, προβλέποντας ότι το LTE θα αντιπροσωπεύει τα τρία τέταρτα όλων των συνδρομών το 2024. Οι πρώτες 5G εφαρμογές θα είναι στη ζώνη των 3,5GHz κατά τη διάρκεια του 2019.

Στη Βόρεια Αμερική, η διείσδυση του LTE είναι σήμερα 87%, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό παγκοσμίως. Μέχρι το τέλος του 2024, αναμένονται περισσότερες από 250 εκατομμύρια συνδέσεις 5G, που αντιστοιχούν σε πάνω από το 55% όλων των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας.

Στη βορειοανατολική Ασία, το 5G αναμένεται να αναπτυχθεί από νωρίς: Στη Νότια Κορέα, στην Ιαπωνία και στην Κίνα στο τέλος του 2024, η διείσδυση στις συνδρομές 5G προβλέπεται να υπερβεί το 43%.

Η Δυτική Ευρώπη, προετοιμάζεται για το 5G, με πολλούς παρόχους να προγραμματίζουν εμπορικές εφαρμογές κατά τη διάρκεια του 2019. Στο τέλος του 2024, το 5G προβλέπεται να φτάσει περίπου το 30% όλων των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας.

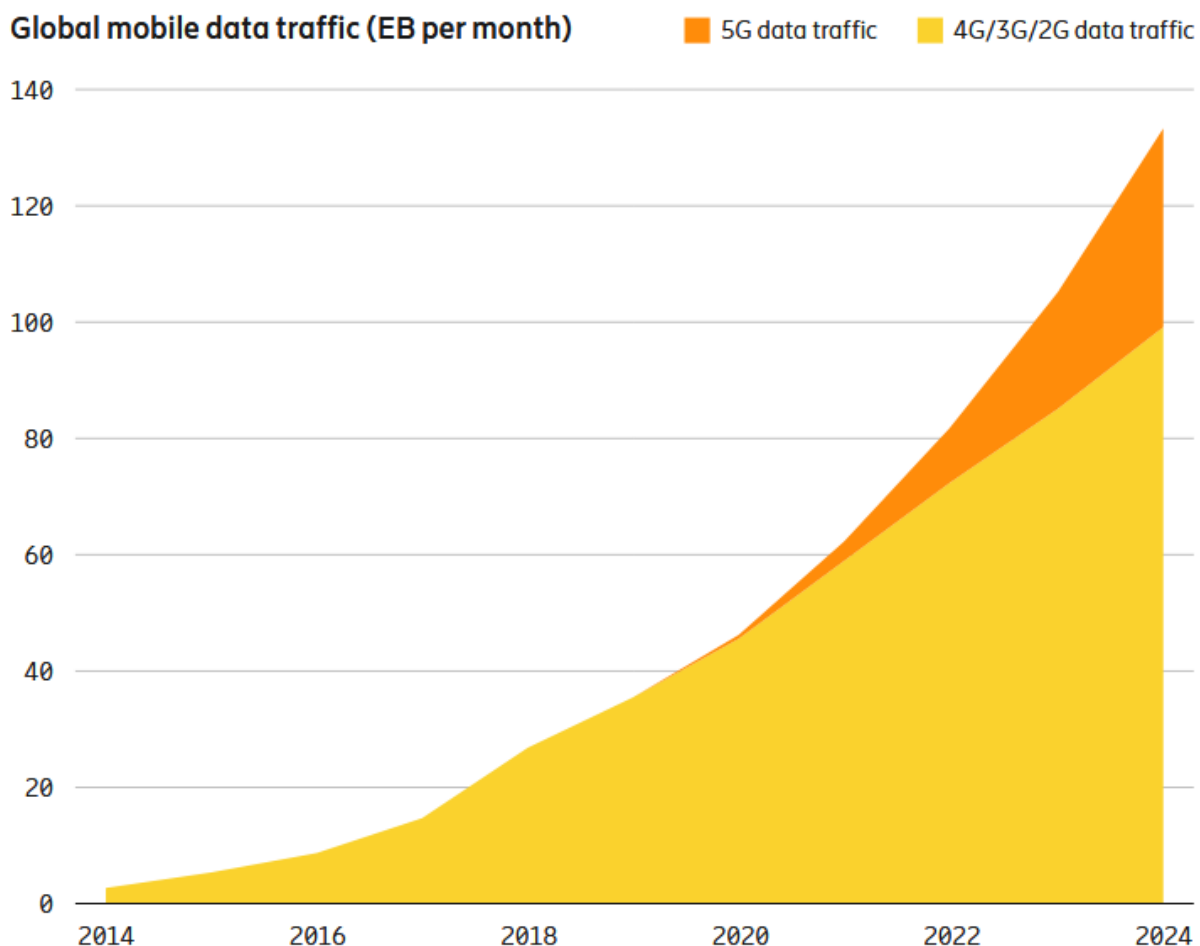
Από την πλευρά ροής δεδομένων, η μηνιαία κίνηση δεδομένων μέσω κινητού τηλεφώνου ανά smartphone εξακολουθεί να αυξάνεται σε όλες τις χώρες καθοδηγούμενη από τις βελτιωμένες δυνατότητες συσκευών και από πολλά οικονομικά πακέτα δεδομένων, αλλά και από την αύξηση του περιεχομένου δεδομένων, [7].



Εικόνα 7: Κυκλοφορία κινητών δεδομένων για κάθε ενεργό smartphone (GB ανά μήνα).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7, η Βόρεια Αμερική έχει την υψηλότερη μηνιαία χρήση, φτάνοντας τα 8,6GB στο τέλος του τρέχοντος έτους και αναμένεται να φτάσει τα 50GB μέχρι το τέλος του 2024.

Στη Βορειοανατολική Ασία, η κυκλοφορία δεδομένων ανά smartphone έχει αυξηθεί πολύ κατά τη διάρκεια του 2018 - αύξηση κατά περίπου 140 τοις εκατό χρόνο με τον χρόνο. Η περιοχή αυτή έχει τώρα τη δεύτερη μεγαλύτερη μηνιαία χρήση στα 7.3GB και προβλέπεται να φτάσει τα 21GB στο τέλος του 2024. Ελκυστικά πακέτα δεδομένων καθώς και καινοτόμες εφαρμογές και περιεχόμενο για κινητά οδηγούν αυτή την αύξηση στην κίνηση δεδομένων στην Κίνα, [7].



Εικόνα 8: Παγκόσμια κυκλοφορία κινητών δεδομένων (EB ανά μήνα), [7].

Από την Εικόνα 8, παρατηρούμε ότι σχεδόν το 90% της κίνησης των συνολικών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας παράγεται σήμερα από smartphones - ένα σχήμα το οποίο προβλέπεται να φθάσει το ποσοστό του 95% στο τέλος του 2024. Καθώς η μηνιαία χρήση ανά smartphone συνεχίζει να αυξάνεται, η συνολική κυκλοφορία κινητών δεδομένων προβλέπεται να ανέλθει σε ένα ετήσιο ρυθμό αύξησης του 31% αυτή την περίοδο μέχρι το 2024, φτάνοντας τα 136 exabytes (EB) ανά μήνα μέχρι το τέλος του 2024. Αναμένεται ότι το 25% της κυκλοφορίας κινητών δεδομένων παγκοσμίως θα ανατεθεί στα δίκτυα 5G την εποχή εκείνη. Αυτό είναι 1,3 φορές περισσότερο από τη συνολική κίνηση σήμερα.

Προς το παρόν, η πρόβλεψη κίνησης 5G δεν περιλαμβάνει την κυκλοφορία δεδομένων που θα παράγεται από ασύρματες υπηρεσίες που θα αντικαταστήσουν τις σταθερές σημερινές υπηρεσίες. Ωστόσο, αυτές οι υπηρεσίες ασύρματης πρόσβασης ανήκουν στις περιπτώσεις που θα χρησιμοποιηθούν πρώτες και που σχεδιάζονται για το 5G σε ορισμένες περιοχές, και θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα στοιχεία των προβλέψεων, ανάλογα την αγορά της υπηρεσίας, [7].

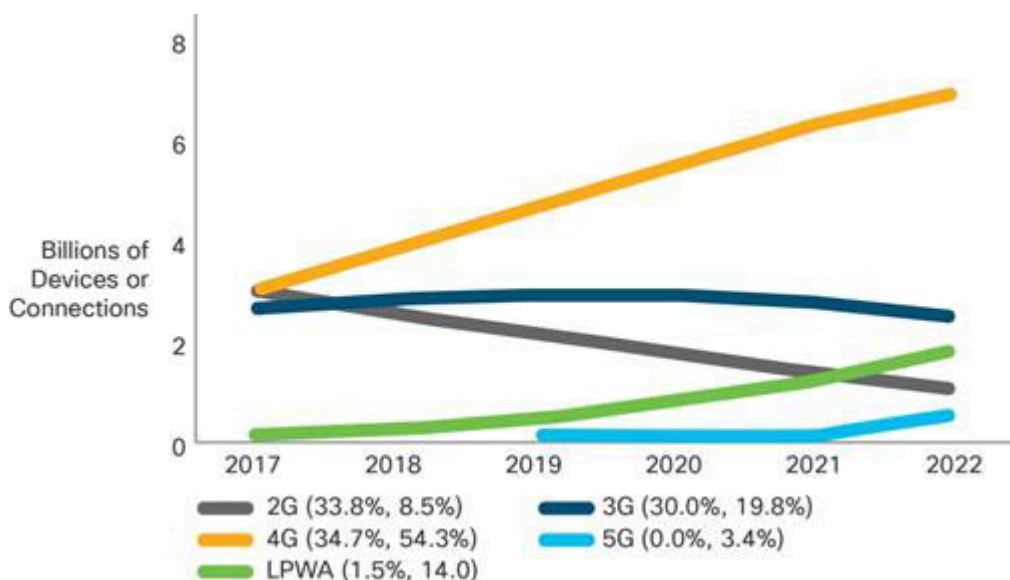
2.4.2 Η αγορά του IoT

Μετά τη σημαντική μετάβαση από τη σταθερή τηλεφωνία στην κινητή, η επόμενη μεγάλη επέκταση είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), ή αλλιώς η διασύνδεση μοναδικά αναγνωρίσιμων ενσωματωμένων υπολογιστικών συσκευών που χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο. Το IoT απαιτεί: (1) τη μετάβαση στο IPv6, το οποίο

έχει πολύ μεγαλύτερο χώρο διευθύνσεων έως και 3.4×10^{38} , (2) υψηλούς καθώς και πολύ χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων και (3) πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Το IoT περιλαμβάνει την προηγούμενη μορφή επικοινωνίας μηχανής με μηχανή (M2M), η οποία προέρχεται από τον τομέα της βιομηχανίας. Η συνεχής χρήση του διαδικτύου διευκολύνει την επικοινωνία M2M και διευρύνει το φάσμα των εφαρμογών. Εν τω μεταξύ, πολλοί πάροχοι κινητής τηλεφωνίας δημιούργησαν τμήματα αποκλειστικά για το κομμάτι παροχής υπηρεσιών M2M. Για παράδειγμα, κάποιες εταιρείες παροχής ενέργειας έχουν αναθέσει τη συλλογή δεδομένων από έξυπνους μετρητές στους παρόχους επικοινωνιών.

Οι χαμηλότερου κόστους συσκευές που επιτρέπουν σήμερα τις επικοινωνίες M2M είναι τα μόντεμ GPRS, τα οποία ενδέχεται να καταστούν παρωχημένα καθώς οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας αρχίζουν να "παραγκωνίζουν" τα συστήματα GSM τους. Το HSPA χρησιμοποιείται επίσης για επικοινωνίες M2M. Επιπλέον, το LTE έχει βελτιστοποιηθεί ώστε να μεταδίδει αποτελεσματικά κομμάτια πληροφοριών, καθιστώντας το κατάλληλο για το M2M. Επιλέγοντας ένα μόντεμ LTE, επιτυγχάνεται μείωση του κόστους, καθώς οι εκδόσεις 3GPP 10-13, προνοούν για μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας αλλά και παράλληλα αξιοποιώντας στο βέλτιστο βαθμό το διαθέσιμο φάσμα. Η Εικόνα 9 αντικατοπτρίζει την προβλεπόμενη χρήση κινητών τεχνολογιών για το M2M.



Εικόνα 9: Παγκόσμιες κινητές M2M συνδέσεις ανά τεχνολογία, [8].

Στην παραπάνω εικόνα περιλαμβάνονται επίσης οι συνδέσεις χαμηλής ισχύος σε ευρεία ζώνη (LPWA). Αυτός ο τύπος συνδεσιμότητας ασύρματου δικτύου (ultra narrow band) προορίζεται ειδικά για μονάδες M2M που απαιτούν χαμηλό εύρος ζώνης και ευρεία γεωγραφική κάλυψη. Παρέχει υψηλή κάλυψη με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, και κόστος συνδεσιμότητας, δημιουργώντας έτσι νέες περιπτώσεις χρήσης M2M για παρόχους κινητής τηλεφωνίας που από μόνα τους τα κινητά δίκτυα δε θα μπορούσαν να διαχειριστούν. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν μετρητές κατανάλωσης σε υπόγεια, μετρητές φυσικού αερίου ή νερού που δε διαθέτουν σύνδεση ρεύματος, τα φώτα δρόμου και στα κατοικίδια ζώα συσκευές παρακολούθησης προσωπικών στοιχείων. Το μερίδιο των συνδέσεων LPWA (όλων των M2M) θα αυξηθεί από περίπου 2% το 2017 σε 14% μέχρι το 2022, από 130 εκατ. το 2017 σε 1.8 δισ. το 2022.

Το 5G είναι η επόμενη φάση της κινητής τεχνολογίας. Οι βασικές βελτιώσεις του 5G σε σχέση με το 4G περιλαμβάνουν υψηλό εύρος ζώνης (μεγαλύτερο από 1Gbps), ευρύτερη κάλυψη και εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις. Αυτά τα χαρακτηριστικά

συνδυάζονται με βελτιωμένη απόδοση ισχύος, βελτιστοποίηση κόστους, υψηλή θέση ακρίβειας, μαζική πυκνότητα σύνδεσης IoT και δυναμική κατανομή πόρων με γνώση του περιεχομένου, του χρήστη και της τοποθεσίας, καθιστώντας το 5G μια ευέλικτη αλλά και μετασχηματιστική τεχνολογία. Το 5G θα είναι σε θέση να φιλοξενήσει εφαρμογές IoT όπως αισθητήρες και μετρητές. Αλλά ίσως πιο σημαντικό, θα υποστηρίξει επίσης αυτόνομα αυτοκίνητα και άλλες απτικές εφαρμογές που βασίζονται στο Διαδίκτυο, όπως ενισχυμένη και εικονική πραγματικότητα, αυτοματισμοί εργοστασίων (ρομποτική), έξυπνο δίκτυο κ.ά.. Ωστόσο, η πραγματική αξία του 5G θα βρίσκεται πέρα από τη συνδεσιμότητα και τις προηγμένες εφαρμογές και τη μαζική ενεργοποίηση του IoT. Από την πλευρά του το IoT θεωρείται ότι περιλαμβάνει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως: παρακολούθηση του περιβάλλοντος, διαχείριση ενέργειας, απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας και ενημέρωση, αυτοματοποίηση κτιρίου και σπιτιού, έξυπνα οχήματα, κ.ά. Όλα αυτά συμβάλλουν στην αυξανόμενη υιοθέτηση του IoE (Internet of Everything), που είναι οι φορητές συσκευές. Οι φορητές συσκευές έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης και επικοινωνούν στο δίκτυο είτε απευθείας μέσω ενσωματωμένης κινητής σύνδεσης είτε μέσω μιας άλλης συσκευής (κυρίως ένα smartphone) που χρησιμοποιεί Wi-Fi, Bluetooth ή άλλη τεχνολογία. Αυτές οι συσκευές υπάρχουν σε διάφορα σχήματα και μορφές, που μπορεί να είναι είτε έξυπνα ρολόγια, έξυπνα γυαλιά, συσκευές παρακολούθησης της υγείας και της φυσικής κατάστασης, φορητοί σαρωτές και συσκευές πλοήγησης, έξυπνες ενδυμασίες κλπ. Η ανάπτυξη αυτών των συσκευών έχει καθοδηγηθεί από βελτιώσεις στην τεχνολογία καθιστώντας τις συσκευές ελαφρές ώστε να φορεθούν. Αυτές οι αλλαγές συνάδουν με τη μόδα ώστε να ταιριάζουν με το προσωπικό στυλ του καθενός, ειδικά στον τομέα της ηλεκτρονικής κατανάλωσης, παράλληλα με βελτιώσεις του δικτύου και την ανάπτυξη/βελτίωση εφαρμογών, όπως υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας και υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας. Σε συνδυασμό με τις βελτιωμένες δυνατότητες από άκρο σε άκρο των δικτύων, τις αναλύσεις δεδομένων, τη μηχανική μάθηση και την τεχνητή νοημοσύνη, το 5G μπορεί πραγματικά να ξεκλειδώσει την επιχειρηματική αξία για τους πελάτες και να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες εσόδων για τους παρόχους. Αυτή η τεχνολογία αναμένεται να επιλύσει θέματα αδειοδότησης συχνότητας και διαχείρισης του φάσματος. Επί του παρόντος, υπάρχουν διάφοροι οργανισμοί τυποποίησης, ρυθμιστικοί οργανισμοί και κοινοπραξίες βιομηχανίας που επικεντρώνονται σε συντονισμένες προσπάθειες για την επίλυση ζητημάτων όπως η τυποποίηση δικτύων, και η διαθεσιμότητα ραδιοφάσματος. Δεδομένων των ρυθμών με τους οποίους εξελίσσεται η τεχνολογία και των απαιτήσεων από την πλευρά των καταναλωτών (ιδιωτών και επιχειρήσεων), αναμένεται ότι ορισμένες εμπορικές εφαρμογές 5G μεγάλης κλίμακας δεν θα εκτελεστούν νωρίτερα από το 2022. Είναι σαφές ότι ένας μεγάλος αριθμός παρόχων κινητής τηλεφωνίας αντιλαμβάνεται το 5G ως επιτακτική ανάγκη για μελλοντική ανάπτυξη και μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, [8].

3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ 5G

3.1 Τα Project 1ης φάσης του 5G-PPP

Μέχρι στιγμής έχουν παραδοθεί 19 project από τις 83 προτάσεις που έχει δεχθεί η Ευρωπαϊκή Κοινότητα στο πρώτο κάλεσμα από το 5G-PPP. Ορισμένα από τα project αυτά παρατίθενται παρακάτω, [36]:

- Flex5Gware
- 5G - NORMA
- METIS - II
- Euro - 5G
- 5G - XHaul
- 5G - ENSURE
- CHARISMA
- SESAME
- SELFNET
- CogNet
- VirtuWind
- 5GEx
- FANTASTIC-5G
- COHERENT
- SONATA
- Superfluidity
- 5G-Crosshaul
- mmMAGIC
- Speed 5G

Ενδεικτικά ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή ορισμένων από αυτών των projects, [36]:

- METIS - II: Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι να αναπτύξει το γενικό σχεδιασμό δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G και να παρέχει τις τεχνικές δυνατότητες που απαιτούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και χρήση των διαφόρων τεχνολογιών 5G. Το METIS - II παρέχει το πλαίσιο συνεργασίας 5G στο 5G-PPP για μια κοινή αξιολόγηση των εννοιών του δικτύου ραδιοεπικοινωνιών 5G και προετοιμάζει συντονισμένη δράση προς τους ρυθμιστικούς φορείς και τους οργανισμούς τυποποίησης. Με βάση την πολύ ισχυρή και διεθνή κοινοπραξία του με εταίρους από όλες τις περιοχές με ισχυρές πρωτοβουλίες έρευνας και ανάπτυξης 5G (ΕΕ, ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Κορέα) περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους σημαντικότερους διεθνείς σημαντικούς φορείς και βασικούς ερευνητές.
- COHERENT: Στόχος του έργου αυτού είναι η έρευνα, η ανάπτυξη και η παρουσίαση ενός ενιαίου προγραμματιζόμενου πλαισίου ελέγχου για ετερογενή δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών 5G. Το έργο επικεντρώνεται σε τρεις καινοτομίες στον έλεγχο και τον συντονισμό των δικτύων 5G: ορισμό δικτύων ραδιοεπικοινωνίας,

αποτελεσματική μοντελοποίηση και διαχείριση ραδιοπόρων σε προγραμματιζόμενα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, ευέλικτη διαχείριση του φάσματος.

- mmMAGIC: Το πρόγραμμα mmMAGIC αναπτύσσει και σχεδιάζει νέες ιδέες για την τεχνολογία κινητής ραδιοεπικοινωνίας (RAT) στην περιοχή 6-100 GHz, συμπεριλαμβανομένης νέας κυματομορφής και τεχνικών. Το νέο αυτό πρότυπο RAT θεωρείται βασικό στοιχείο του συνολικού οικοσυστήματος 5G multi-RAT. Το έργο αναπτύσσει επίσης τις δυνατότητες αυτοεξυπηρέτησης και εμπλοκής, δημιουργώντας έτσι μια κλιμακούμενη και οικονομικά βιώσιμη ολοκληρωμένη λύση 5G για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών των παρόχων επικοινωνιών.
- 5G - Crosshaul: Η κίνηση των κινητών δεδομένων προβλέπεται να αυξηθεί 11 φορές μεταξύ του 2013 και του 2019. Τα δίκτυα 5G που εξυπηρετούν αυτόν τον καταγισμό δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα απαιτήσουν λύσεις fronthaul και backhaul μεταξύ του RAN και των πακέτων ώστε να αντιμετωπίσουν αυτό το αυξημένο φορτίο κίνησης ενώ πληρούν τις νέες αυστηρές απαιτήσεις υπηρεσίας 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.
- 5G NORMA: Ο κύριος στόχος του 5G NORMA είναι να αναπτύξει μια αρχιτεκτονική πρωτοποριακή και προσαρμοστική που θα υλοποιηθεί στο δίκτυο 5G. Η αρχιτεκτονική αυτή θα επιτρέψει τη δημιουργία πρωτοφανών επιπέδων προσαρμοστικότητας στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης, ασφάλειας, κόστους και ενέργειας που πρέπει να πληρούνται.
- 5G - ENSURE: Το 5G - ENSURE καθορίζει μια Αρχιτεκτονική Ασφάλειας 5G, κοινή και συμφωνημένη από τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς του 5G.
- Euro - 5G: Ο πρωταρχικός στόχος αυτού του έργου είναι να διευκολυνθεί η αποτελεσματική και αποδοτική συνεργασία και η ολοκλήρωση μεταξύ όλων των project του 5G - PPP, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του συνδέσμου υποδομών 5G.
- 5G - Ex: Το συγκεκριμένο έργο θα επιτρέψει την αποτελεσματική εκμετάλλευση ή αλλιώς ενορχήστρωση επιχειρηματικών και τεχνικών υπηρεσιών. Μια τέτοια στρατηγική θα επιτρέψει την εμφάνιση δικτύων και υπηρεσιών απ' άκρη σε άκρη για ετερογενή περιβάλλοντα τεχνολογικών πόρων.
- Cognet: Το έργο CogNet στοχεύει στην έρευνα και ανάπτυξη μιας πλατφόρμας διαχείρισης δικτύου σε πραγματικό χρόνο με την ικανότητα να κλιμακώνεται (επεκτείνεται) προκειμένου να αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις του μελλοντικού 5G δικτύου.

3.2 Τα Project 2ης φάσης του 5G-PPP

Μέχρι στιγμής έχουν παραδοθεί 21 νέα project από τις 101 προτάσεις που έχει δεχθεί η Ευρωπαϊκή Κοινότητα στο δεύτερο κάλεσμα από το 5G-PPP. Ορισμένα από τα project αυτά παρατίθενται παρακάτω:

- 5G ESSENCE
- 5GCAR
- 5GCity
- 5G Media
- 5G - MoNArch

- 5G - PHOS
- 5G PICTURE
- 5Gtango
- 5G - Transformer
- 5G - Xcast
- Bluespace
- IoRL
- MATILDA
- METRO - HAUL
- NGPaaS
- NRG - 5
- ONE5G
- SaT5G
- SLICENET
- Global5G

Ενδεικτικά ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή ορισμένων από αυτών των projects, [37]:

- 5G ESSENCE: Το 5G ESSENCE απευθύνεται σε υπολογιστικά συστήματα Edge Cloud και Small Cell-as-a-Service (SCAaS) για την άρση των φραγμών στην αγορά μικρών κυψελών, που προβλέπεται να αναπτυχθούν με εντυπωσιακό ρυθμό μέχρι το 2020 και μετά και να διαδραματίσει βασικό ρόλο στο οικοσύστημα 5G.
- 5GCAR: Οι κύριοι στόχοι του έργου 5GCAR είναι:
 - Ανάπτυξη μιας συνολικής αρχιτεκτονικής συστήματος 5G που παρέχει βελτιστοποιημένη συνδεσιμότητα δικτύου V2X από άκρο σε άκρο,
 - Συνεργασία μεταξύ multi-RAT στοιχείων
 - Προσδιορισμός επιχειρηματικού μοντέλου και εναλλακτικών λύσεων χρήσης φάσματος
 - Παρουσίαση και αξιολόγηση αναπτυγμένων εννοιών και ποσοτικού οφέλους λύσεων 5G V2X χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένα σενάρια οδήγησης σε χώρους δοκιμών.
- 5G Media: Το επίκεντρο της αξιοσημείωτης έρευνας του 5G PPP H2020 μέχρι τώρα ήταν η πρόοδος στις αρχιτεκτονικές δικτύων, τις τεχνολογίες και τις υποδομές. Το 5G Media στοχεύει στην καινοτομία των εφαρμογών που σχετίζονται με τα μέσα ενημέρωσης διερευνώντας τον τρόπο με τον οποίο οι εφαρμογές αυτές και το υποκείμενο δίκτυο 5G πρέπει να συνδυαστούν και να συνεργάζονται προς όφελος και των δύο.
- 5G PICTURE: Το 5G PICTURE θα σχεδιάσει και θα αναπτύξει μια ολοκληρωμένη, κλιμακωτή και ανοιχτή υποδομή 5G με στόχο την υποστήριξη λειτουργικών και τελικών χρηστών τόσο του ICT όσο και για τις "κάθετες" βιομηχανίες. Αυτή η υποδομή θα βασίζεται σε μια συγκλίνουσα λύση fronthaul και backhaul,

ενσωματώνοντας την προηγμένη ασύρματη πρόσβαση και τους νέους τομείς οπτικών δικτύων.

- **MATILDA:** Το MATILDA στοχεύει στην ανάπτυξη και υλοποίηση μιας ριζικής αλλαγής στην ανάπτυξη λογισμικού για εφαρμογές του δικτύου 5^{ης} γενιάς, καθώς και σε εικονικές και φυσικές λειτουργίες δικτύου και υπηρεσίες δικτύου. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της υιοθέτησης ενός ενιαίου μοντέλου προγραμματισμού και της δημιουργίας ενός ανοιχτού περιβάλλοντος ανάπτυξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές καθώς και προγραμματιστές λειτουργιών δικτύου.
- **NGPaaS:** Μια ιδανική υπηρεσία 5G Platform-As-A-Service (PaaS) δεν θα πρέπει να διευκολύνει μόνο την εγκατάσταση και την εκτέλεση κλασικών εφαρμογών εικονικού δικτύου (VNF) με υψηλή ποιότητα, αλλά θα πρέπει να συνδυάζει όλα τα είδη εφαρμογών με αυτά τα VNF για τη δημιουργία νέων πιο ευέλικτων και ισχυρών "στοιχείων" cloud, συνδέοντας τις διαδικασίες συνδεσιμότητας με τις διαδικασίες των υπολογισμών στους κόμβους.
- **SLICENET:** Το SLICENET θα μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των υποδομών 5G και των υπηρεσιών τους βασισμένες σε προηγμένη δικτύωση λογισμικού και διαχείριση γνωστικών δικτύων για κοινή χρήση υποδομών σε πολλούς τομείς χειριστών σε δίκτυα 5G με δυνατότητα SDN/ NFV.
- **5GCity:** Ο στόχος του 5GCity είναι να μεγιστοποιήσει το συνολικό κέρδος που επιστρέφεται τελικά στην αλυσίδα της ψηφιακής αγοράς ως σύνολο (οι χρήστες, οι εφαρμογές, πάροχοι υπηρεσιών cloud, οι δήμοι/ κοινότητες, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι και οι κατασκευαστές). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, το 5GCity έχει σκοπό να κατασκευάσει και να εγκαταστήσει μια κοινή, ανοιχτή πλατφόρμα, στην οποία θα έχουν πρόσβαση πολλαπλοί πάροχοι, ώστε να επεκτείνει το κεντρικοποιημένο cloud μοντέλο, μέχρι τα άκρα του δικτύου.
- **5G – MoNArch:** Οι κύριοι στόχοι του 5G – MoNArch συνοψίζονται παρακάτω:
 - Λεπτομερής καταγραφή προδιαγραφών και επέκταση της αρχιτεκτονικής 5G.
 - Επέκταση του υπάρχοντος σχεδιασμού αρχιτεκτονικής με βασικές καινοτομίες:
 - Έλεγχος και διαχείριση μεταξύ των τμημάτων του δικτύου.
 - Μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση που βασίζεται σε πειράματα.
 - Πρωτόκολλο που βασίζεται σε τεχνολογία cloud.
 - Λειτουργικές καινοτομίες για τις βασικές τεχνολογίες που απαιτούνται για τις περιπτώσεις εντοπισμού χρήσης:
 - Ανθεκτικότητα και ασφάλεια.
 - Ελαστικότητα πόρων.
 - Ανάπτυξη και πειραματική εφαρμογή της αρχιτεκτονικής σε δύο περιπτώσεις.
 - Αξιολόγηση, επικύρωση και επαλήθευση της απόδοσης της αρχιτεκτονικής.

3.3 Έργα της 3ης φάσης του 5G - PPP

Τα έργα της 5GPPP Φάσης 3, χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Μέρος 1: Έργα Υποδομής: 5G - Eve, 5G - Vinni και 5Genesis
- 2) Μέρος 2: Έργα Automotive: 5GCroco, 5G Carmen, 5G - Mobix
- 3) Μέρος 3: Προχωρημένες δοκιμές εξακρίβωσης 5G σε κάθετες αγορές: 5G Solutions, 5Growth, 5G - Tours, 5G Smart, 5G - VICTORI, 5G!Drones, 5G - HEART, Full5G.
- 4) Μέρος 4: Συμπληρωματικό έργο: 5G - Drive.

Τα έργα αυτά αναλύονται εκτενέστερα στις επόμενες ενότητες.

3.3.1 Μέρος 1: Έργα Υποδομής

Έχουν επιλεγεί 3 έργα από τις 16 προτάσεις που έλαβε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ως αποτέλεσμα της πρόσκλησης υποβολής προτάσεων 5G-PPP ICT-17-2018. Αυτά τα τρία έργα ξεκίνησαν την 1η Ιουλίου 2018 και θα διαρκέσουν 3 χρόνια για την υλοποίηση και δοκιμή προηγμένων υποδομών 5G στην Ευρώπη. Τις δυνατότητες των πλατφορμών αυτών τις συνοψίζει ο Πίνακας 2. Αξίζει να σημειωθεί ότι (τα νούμερα στον πίνακα αντιστοιχούν στην ακόλουθη αρίθμηση): 1) οι δυνατότητες θα προστίθενται μέχρι το πέρας των έργων, 2) η συνεργασία αναφέρεται σε δύο ή περισσότερα μέρη που παρέχουν ενοποιημένες υπηρεσίες στις εγκαταστάσεις του 5G, 3) η ενσωμάτωση θα ενισχυθεί περισσότερο από τα πιλοτικά κάθετα έργα του ICT-19 και 4) η ακριβής χρονική περίοδος θα οριστεί αφού αξιολογηθούν οι ανάγκες από το ICT-19, [19].

Πίνακας 2: Έργα πλατφορμών υποδομής 5G, Φάσης 3.

Δυνατότητες πλατφορμών	5G - Eve	5g - Vinni	5Genesis
Έκδοση 15 - 5G New Radio (5G NR) σε Non Stand Alone (NSA) mode	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Aveiro	Athens, Berlin, Limassol, Malaga, Surrey
Έκδοση 15 - 5G NR σε Stand Alone (SA) mode ⁽⁴⁾	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιούνιος 2021	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Aveiro. Μετά τον Ιανουάριο 2020	Athens, Berlin, Malaga, Surrey
Έκδοση 16 - 5G NR και 5G Core (σε SA ή NSA) ⁽⁴⁾	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιούνιος 2021	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid. Μετά τον Ιανουάριο 2020	Surrey
Network Slicing ως Υπηρεσία ⁽³⁾	-	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Aveiro	Athens, Malaga, Surrey
Προσαρμοσμένο κομμάτι δικτύου (π.χ. ασφάλεια,	Turin, Madrid, Paris, Athens	Oslo, Kongsberg, Martlesham,	Athens, Berlin, Limassol, Malaga,

βελτιωμένη πρόσβαση στο σύννεφο) ⁽³⁾	Ιούνιος 2021	Patras, Madrid, Aveiro	Surrey
Δυνατότητα για υποδοχή 3 ^{ων} μερών VNF ⁽³⁾	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Aveiro	Athens, Berlin, Limassol, Malaga, Surrey
Συνεργασία ⁽²⁾ με άλλες εγκαταστάσεις ICT17 ⁽³⁾	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιούνιος 2021	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid	Athens, Malaga, Surrey
Ενσωμάτωση επιπλέον Node B νέας γενιάς (gNB) στις εγκαταστάσεις ICT17 ⁽³⁾	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Aveiro. Μετά τον Ιανουάριο 2020	Athens, Berlin, Limassol, Malaga, Surrey
Edge Computing	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Patras, Madrid, Aveiro, Martlesham (θα αποφασιστεί). Μετά τον Ιανουάριο 2020	Athens, Malaga, Surrey
Υπηρεσία διαμοιρασμού δεδομένων για αναλύσεις	-	Oslo, Kongsberg, Patras (θα αποφασιστεί), Madrid. Μετά τον Ιανουάριο 2020	Athens
3.5GHz 5G ραδιοεξοπλισμός	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid, Munich, Aveiro	Athens, Malaga, Surrey
26GHz 5G ραδιοεξοπλισμός	-	Oslo, Kongsberg, Martlesham	Surrey
Milimeter wave για τον κορμού του Δικτύου	-	Patras	Surrey
Δοκιμές τελικού χρήστη	Turin, Madrid, Paris, Athens Ιανουάριος 2020	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid	Athens, Berlin, Limassol, Malaga, Surrey
Πλαίσιο αυτόματων δοκιμών	Turin, Madrid, Paris, Athens	Oslo, Kongsberg, Martlesham, Patras, Madrid	Athens, Malaga, Surrey

Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των τριών έργων:

5G - Eve

Η φιλοδοξία του 5G - Eve είναι να δημιουργήσει τα θεμέλια για μια ευρέως διαδεδομένη ανάπτυξη των δικτύων 5G από άκρο σε άκρο στην Ευρώπη. Το 5G - Eve υποστηρίζει αυτή τη θεμελιώδη μετάβαση προσφέροντας στις κάθετες αγορές και σε όλες τις εγκαταστάσεις έργων Φάσης 3 της 5G PPP τη δυνατότητα να αξιολογήσουν σημαντικούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators, KPIs) του δικτύου και των υπηρεσιών τους.

Σημαντικοί εκπρόσωποι αυτών των κάθετων αγορών εμπλέκονται άμεσα ως εταίροι του 5G - Eve ακριβώς για να επηρεάσουν το σχεδιασμό των ολοκληρωμένων υπηρεσιών 5G και να παρέχουν μια έγκαιρη αξιολόγηση. Οι εγκαταστάσεις 5G - Eve αποτελούνται από τη διασύνδεση τεσσάρων μερών που έχουν εγκαταστάσεις 5G (Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα), οι οποίες έχουν επιλεγεί λόγω προηγούμενης συσχέτισής τους με κάθετες αγορές και φορείς τυποποίησης. Το 5G - Eve στοχεύει στη δημιουργία συνεργιών μεταξύ ενός σημαντικού αριθμού εγκαταστάσεων που θα εξασφαλίσουν βιωσιμότητα, [25].

Οι εγκαταστάσεις του 5G - Eve θα επιτρέψουν πειράματα με, [25]:

- Ετερογενή πρόσβαση, συμπεριλαμβανομένου του NR, αδειοδοτημένο/ μη αδειοδοτημένο φάσμα, προηγμένη διαχείριση φάσματος.
- Mobile Edge Computing, κορμό του δικτύου, τεχνολογίες πυρήνα/ υπηρεσιών.
- Εργαλεία για τη συνεργασία μεταξύ των μερών και από κοινού στήσιμο της τεχνολογίας και του εξοπλισμού.

Οι κάθετες αγορές θα διευκολυνθούν στην ανάλυση των πειραμάτων μέσω, [25]:

- διεπαφών υψηλού επιπέδου,
- μέσων για προηγμένες δοκιμές 5G (δηλ. για την ανάλυση KPIs, αξιολόγηση της τεχνολογίας, διάγνωση της απόδοσης κ.ά.).

5G - Vinni

Το 5G - Vinni θα επιταχύνει την υιοθέτηση του 5G στην Ευρώπη παρέχοντας εγκαταστάσεις από άκρο σε άκρο (End to End - E2E) που ελέγχουν την απόδοση των νέων τεχνολογιών 5G με τη διεξαγωγή δοκιμών προηγμένων υπηρεσιών κάθετου τομέα.

Η στρατηγική 5G - Vinni για την επίτευξη αυτού του στόχου περιλαμβάνει, [24]:

- Σχεδιασμό προηγμένων και προσβάσιμων εγκαταστάσεων 5G από άκρο σε άκρο.
- Κατασκευή αρκετών τοποθεσιών διασύνδεσης των εγκαταστάσεων 5G - Vinni από άκρο σε άκρο.
- Παροχή φιλικού προς το χρήστη στησίματος του υλικού, λειτουργίες και συστήματα διαχείρισης για τη μονάδα 5G - Vinni.
- Έλεγχος των 5G KPIs και υποστήριξη στην εκτέλεση δοκιμών E2E σε κάθετες περιπτώσεις χρήσης.
- Ανάπτυξη ενός βιώσιμου επιχειρηματικού μοντέλου που θα υποστηρίξει σε όλη τη διάρκεια του το 5G - Vinni.
- Ανάδειξη της αξίας των λύσεων 5G στην κοινότητα 5G, ιδιαίτερα στις σχετικές κοινότητες προτύπων και ανοιχτού κώδικα, προκειμένου να διασφαλιστεί η ευρεία υιοθέτηση αυτών των λύσεων.

Οι πλατφόρμες 5G – Vinni θα παρουσιάσουν 5G KPIs με μια σειρά συνδυασμών και παραλλαγών των νέων τεχνολογιών πρόσβασης 5G και των τύπων εξοπλισμού τελικού χρήστη. Για το σκοπό αυτό, η 5G - Vinni αξιοποιεί τις τελευταίες τεχνολογίες 5G, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων προηγούμενων 5G έργων 5G PPP.

Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί VNF, τεμαχισμό δικτύου και μια αυστηρά αυτοματοποιημένη σειρά δοκιμών για τον έλεγχο των 5G KPIs κάτω από διάφορους συνδυασμούς τεχνολογιών και φορτίων δικτύου. Για να εξασφαλιστούν ρεαλιστικά σενάρια φόρτου, το έργο 5G - Vinni θα δημιουργήσει και θα θέσει στη διάθεσή του ένα πλαίσιο ανοιχτότητας για να προσφέρει εύκολη πρόσβαση σε κάθετες αγορές και σε ομότιμα έργα στις εγκαταστάσεις 5G – Vinni, [24].

5Genesis

Το έργο 5Genesis έχει εισέλθει στην κρίσιμη φάση του πειραματισμού και επί του παρόντος αντιμετωπίζει την πρόκληση να ελέγξει τα KPIs του δικτύου 5G και τις τεχνολογίες 5G σε μια προσέγγιση από άκρο σε άκρο. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, η βασική πρόκληση είναι να ενσωματωθούν όλα τα διαφορετικά αποτελέσματα και τεχνολογίες από τα ευρωπαϊκά, παγκόσμια και εσωτερικά (εταιρικά) σχέδια R & D, για να "κολλήσουν" τα παζλ της εικόνας 5G και να αναδειχθεί το δυναμικό μιας πλατφόρμας 5G end to end, ικανή να ανταποκριθεί στους καθορισμένους στόχους KPIs.

Στο πλαίσιο αυτό, ο κύριος στόχος του έργου 5Genesis είναι η επικύρωση των 5G KPIs για διάφορες περιπτώσεις χρήσης 5G, τόσο σε ελεγχόμενες εγκαταστάσεις όσο και σε εκδηλώσεις μεγάλης κλίμακας. Αυτό θα επιτευχθεί με τη συγκέντρωση αποτελεσμάτων από ένα σημαντικό αριθμό έργων της ΕΕ, καθώς και από τις εσωτερικές δραστηριότητες R & D των εταιρών, προκειμένου να υλοποιηθεί μια ολοκληρωμένη λύση 5G από άκρο σε άκρο, [23].

Οι πλατφόρμες 5Genesis στο σύνολό τους, [23]:

- Εφαρμόζουν και επαληθεύουν όλες τις εξελίξεις του προτύπου 5G, μέσω επαναληπτικών διαδικασιών ολοκλήρωσης και δοκιμών.
- Συμμετέχουν σε μια ευρεία ποικιλία τεχνολογιών και αλυσίδες καινοτομιών που καλύπτουν όλους τους τομείς, επιτυγχάνοντας πλήρη κάλυψη σε όλες τις πτυχές του 5G.
- Ενοποιούν ετερογενή στοιχεία φυσικού και εικονικού δικτύου σε ένα κοινό πλαίσιο συντονισμού και διαφάνειας που είναι εκτεθειμένο στους πειραματιστές από τις κάθετες αγορές, επιτρέποντας τον αυτοματοποιημένο τεμαχισμό και τον πειραματισμό από άκρο σε άκρο.
- Υποστηρίζουν περαιτέρω έργα πειραματισμού, ιδίως αυτών που επικεντρώνονται στις κάθετες αγορές.

Οι πέντε πλατφόρμες του μηχανισμού 5Genesis και τα κύρια χαρακτηριστικά/προσανατολισμούς τους είναι, [23]:

- Η Πλατφόρμα της Αθήνας. Μια κοινόχρηστη υποδομή δικτύου πρόσβασης (gNBs και μικρές κυψέλες) με διαφορετική εμβέλεια και επικαλυπτόμενη κάλυψη που υποστηρίζονται από το δίκτυο κορμού με δυνατότητα SDN/ NFV, με σκοπό την παρουσίαση ασφαλών εφαρμογών προβολής περιεχομένου και εφαρμογών χαμηλής καθυστέρησης σε μεγάλες δημόσιες εκδηλώσεις.
- Η πλατφόρμα της Μάλαγα. Αυτοματοποιημένη ενορχήστρωση και διαχείριση διαφόρων πλεγμάτων δικτύου σε πολλαπλούς τομείς, πάνω από το 5G NR και το

πλήρως εικονικοποιημένο δίκτυο κορμού για την παρουσίαση κρίσιμων υπηρεσιών στο εργαστήριο αλλά και σε υπαίθριες εφαρμογές.

- Η πλατφόρμα της Λεμεσού. Διασυνδέσεις διαφορετικών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων, που συνδυάζουν επίγειες και δορυφορικές επικοινωνίες, ενσωματωμένες για να παρουσιάσουν τη συνέχεια της υπηρεσίας και την καθολική πρόσβαση στις περιοχές που δεν εξυπηρετούνται.
- Η πλατφόρμα Surrey. Πολλαπλές τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνίας που υποστηρίζουν επικοινωνίες με υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων των 5G NR και NB-IoT, σε συνδυασμό με μια ευέλικτη πλατφόρμα διαχείρισης ραδιοφάσματος (Radio Resource Management - RRM) και κοινής χρήσης φάσματος για την προβολή μαζικών υπηρεσιών διαδικτύου.
- Η πλατφόρμα του Βερολίνου: Πολύ πυκνές περιοχές που καλύπτονται από διάφορες υλοποιήσεις δικτύων, που αποτελούνται από εσωτερικούς κόμβους έως εξωτερικές ομάδες κόμβων, συντονισμένες μέσω προηγμένων τεχνολογιών διασύνδεσης για την ανάδειξη της ποιότητας παροχής υπηρεσιών.

3.3.2 Μέρος 2: Έργα Automotive

Τα έργα του 5G της Φάσης 3, για το Μέρος 2 ξεκίνησαν το Νοέμβριο του 2018. Τρία αυτοκινητοβιομηχανικά έργα επιλέχθηκαν από τις έξι προτάσεις που έλαβε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως αποτέλεσμα της πρόσκλησης του 5G-PPP ICT-18-2018. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή τους:

5GCroCo

Το 5GCroCo (Διασυνοριακός Έλεγχος 5G) θα ελέγξει τεχνολογίες 5G στο διασυνοριακό κομμάτι κατά μήκος της Γαλλίας, της Γερμανίας και του Λουξεμβούργου. Η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών διασυνδεδεμένης και αυτοματοποιημένης κινητικότητας (Connected and Automated Mobility - CCAM) σε διάφορες χώρες, όταν τα οχήματα περνούν από διάφορα εθνικά σύνορα, έχει ένα τεράστιο καινοτόμο επιχειρησιακό δυναμικό. Ωστόσο, η απρόσκοπτη παροχή συνδεσιμότητας και η αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών κατά μήκος των συνόρων δημιουργούν κάποιες τεχνικές προκλήσεις. Η κατάσταση είναι ιδιαίτερα δύσκολη, δεδομένου του σεναρίου πολλαπλών χωρών, πολλαπλών παρόχων, και πολλαπλών κατασκευαστών οχημάτων οποιασδήποτε διάταξης συνόρων. Έχοντας ως κίνητρο αυτές τις προκλήσεις, το 5GCroCo συγκεντρώνει μια ισχυρή κοινοπραξία τόσο από τις ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες όσο και από τις κινητές επικοινωνίες, με τη ρητή υποστήριξη των αρχών οδικής κυκλοφορίας και των αντίστοιχων εθνικών κυβερνήσεων (μέσω επιστολών υποστήριξης) για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων στην τομή αυτών των δύο βιομηχανικών τομέων. Στόχος είναι να καθοριστεί μια επιτυχημένη πορεία προς την παροχή υπηρεσιών CCAM κατά μήκος διασυνοριακών σεναρίων και να μειωθούν οι αβεβαιότητες μιας πραγματικής διασυνοριακής ανάπτυξης 5G. Το 5GCroCo στοχεύει στην δοκιμή τεχνολογιών 5G στον διασυνοριακό "διάδρομο" που συνδέει τις πόλεις Metz - Merzig - Luxembourg, διασχίζοντας τα σύνορα μεταξύ Γαλλίας, Γερμανίας και Λουξεμβούργου, [20].

Εντέλει, το 5GCroCo θα έχει αντίκτυπο σε σχετικούς οργανισμούς τυποποίησης από τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών και την αυτοκινητοβιομηχανία. Ο στόχος είναι να επικυρωθούν προηγμένες λειτουργίες 5G, όπως το New Radio, ο καταναεμημένος υπολογισμός με δυνατότητα MEC, η πρόβλεψη του QoS, ο τεμαχισμός δικτύου και τα βελτιωμένα συστήματα εντοπισμού θέσης, για να καταστεί δυνατή η χρήση καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης CCAM. Το 5GCroCo στοχεύει στον καθορισμό νέων

επιχειρηματικών μοντέλων που μπορούν να κατασκευαστούν πάνω σε αυτή τη δυνατότητα σύνδεσης και παροχής υπηρεσιών, διασφαλίζοντας επίσης ότι επηρεάζονται οι σχετικοί οργανισμοί τυποποίησης από τις δύο εμπλεκόμενες βιομηχανίες.

Επισκόπηση έργου, [20]:

- 24 εταίροι από 7 ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένων αυτοκινητοβιομηχανιών (Renault, PSA, Volkswagen, Volvo)
- Συνολικός προϋπολογισμός έργου: 17 εκατ. ευρώ
- Αναμενόμενη συμμετοχή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής: 13 εκατ. ευρώ
- Διάρκεια έργου: 36 μήνες
- 3 σημαντικές περιπτώσεις χρήσης CCAM που πρέπει να παρουσιαστούν είναι:
 - Απομακρυσμένος χειρισμός οδήγησης
 - Δημιουργία και διανομή χαρτών υψηλής ποιότητας
 - Αναμενόμενη συνεργατική αποφυγή συγκρούσεων

5G Carmen

Το 5G Carmen (5G για Συνδεδεμένη και Αυτοματοποιημένη Οδική Κινητικότητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση) αντιμετωπίζει βασικές προκλήσεις που αξιοποιούν την έννοια των "Διαδρόμων Κινητικότητας". Σε σημαντικές ευρωπαϊκές βιομηχανίες του 5G Carmen, οι ακαδημαϊκοί φορείς και οι καινοτόμες μικρομεσαίες επιχειρήσεις δεσμεύονται να επιτύχουν παγκόσμιες επιπτώσεις διεξάγοντας εκτεταμένες δοκιμές σε ένα σημαντικό "διάδρομο" (από πλευράς όγκου κυκλοφορίας ανθρώπων/ εμπορευμάτων), από τη Μπολόνια έως το Μόναχο, καλύπτοντας 600 χλμ. (Βαυαρία, Τιρόλο και Τρεντίνο/ Νότιο Τιρόλο) σε τρεις χώρες. Το 5G Carmen θα ελέγξει ένα "διάδρομο" με δυνατότητα 5G για την επικύρωση ενός συνόλου καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης CCAM, τόσο από επιχειρηματικές όσο και από τεχνικές προοπτικές. Το 5G Carmen θα επωφεληθεί από τους πιο σύγχρονους τεχνολογικούς μηχανισμούς 5G, όπως: 5G New Radio, C-V2X (Cellular Vehicle-To-Everything), MEC, τεμαχισμό δικτύου από άκρο σε άκρο, υψηλή ακρίβεια θέσης και χρονισμού και προβλέψιμου QoS. Θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο ουδέτερου κεντρικού υπολογιστή (neutral host model). Οι πάροχοι κινητών εικονικών δικτύων, οι πάροχοι Over the Top και οι πάροχοι υπηρεσιών θα έχουν πρόσβαση σε μια πλατφόρμα που θα υποστηρίζει το μετασχηματισμό του αυτοκινητοβιομηχανικού τομέα προς την κατεύθυνση της παροχής ασφαλέστερων, πιο πράσινων και πιο έξυπνων μεταφορών με απώτερο στόχο να επιτρέπουν την αυτο-οδήγηση (self-driving) των αυτοκινήτων, [21].

Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα 5G Carmen έχει τους ακόλουθους στόχους, [21]:

- Καθορισμός των τεχνικών και επιχειρηματικών απαιτήσεων για τις προγραμματισμένες περιπτώσεις χρήσης, προκειμένου να καταστεί δυνατή η επέκταση του "διαδρόμου" CCAM 5G μεταξύ Μπολόνια - Μόναχο.
- Σχεδιασμός μιας ενιαίας αρχιτεκτονικής συστήματος 5G και ένα μοντέλο ανάπτυξης που μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά τις περιπτώσεις χρήσης CCAM.
- Επέκταση των τεχνολογιών ενός "διαδρόμου" 5G, λαμβάνοντας υπόψη το σύννεφο ενσωματωμένο στο δίκτυο, το New Radio και το νέο σχεδιασμό συχνοτήτων, ώστε να συμμορφώνονται με τους δείκτες απόδοσης CCAM.

- Σχεδιασμός, υλοποίηση και επικύρωση μιας πλατφόρμας προσανατολισμένης στις υπηρεσίες, ενιαία και ασφαλής για το CCAM.
- Επικύρωση, αξιολόγηση και παρουσίαση των πλαισίων του 5G Carmen μέσω εθνικών και διεθνών πιλοτικών προγραμμάτων.
- Διεξαγωγή ανάλυσης αγοράς και σχεδιασμός νέων επιχειρηματικών μοντέλων με βάση την πλατφόρμα 5G Carmen. Παροχή λεπτομερούς τεχνοοικονομικής ανάλυσης και οδικής χαρτογράφησης προς εκμετάλλευση και εμπορευματοποίηση από βιομηχανικούς εταίρους.
- Εξασφάλιση της μακροπρόθεσμης επιτυχίας του έργου μέσω της τυποποίησης και της διάδοσης σε εμπορικά, βιομηχανικά και επιστημονικά φόρουμ και της συνεργασίας με άλλες πρωτοβουλίες και έργα 5G-PPP.

Επισκόπηση έργου, [21]:

- 25 εταίροι από 10 ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένων των τηλεπικοινωνιακών φορέων (Deutsche Telekom, Telecom Italia, T-Mobile Austria)
- Συνολικός προϋπολογισμός έργου: 18,5 εκατ. ευρώ
- Αναμενόμενη συνεισφορά Ευρωπαϊκής Επιτροπής: 15 εκατ. ευρώ
- Διάρκεια έργου: 36 μήνες
- "Διάδρομοι κινητικότητας"

5G

Το 5G - Mobix (5G για συνεργατική και συνδεδεμένη αυτοματοποιημένη λειτουργία κινητικότητας στους συνοριακούς "διαδρόμους") στοχεύει στην εκτέλεση δοκιμών CCAM κατά μήκος συνοριακών και αστικών διαδρόμων με χρήση 5G βασικών τεχνολογικών καινοτομιών. Με αυτόν τον τρόπο θα καθορίσει την υποδομή 5G και θα αξιολογήσει τα πλεονεκτήματά της στο πλαίσιο CCAM, καθώς θα αναδείξει σενάρια χρήσης εντοπίζοντας κενά τυποποίησης και φάσματος. Το 5G - Mobix θα καθορίσει πρώτα τα κρίσιμα σενάρια που χρειάζονται προηγμένη συνδεσιμότητα που παρέχεται από το 5G και τις απαιτούμενες λειτουργίες για να επιτρέψουν αυτές τις προηγμένες περιπτώσεις χρήσης CCAM. Η αντιστοίχιση μεταξύ των προηγμένων περιπτώσεων χρήσης CCAM και του αναμενόμενου οφέλους του 5G θα εξεταστεί κατά τη διάρκεια των δοκιμών σε "διαδρόμους" 5G σε διαφορετικές χώρες της ΕΕ καθώς και στην Κίνα και στην Κορέα. Οι δοκιμές αυτές θα επιτρέψουν τη διεξαγωγή αξιολογήσεων και μελέτη των επιπτώσεων καθώς και ανάλυση κόστους/ οφέλους. Ως αποτέλεσμα αυτών των αξιολογήσεων καθώς και με τη βοήθεια από δημόσιους και βιομηχανικούς φορείς, το 5G - Mobix θα προτείνει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για το CCAM με δυνατότητα 5G και προτάσεις/ επιλογές για την ανάπτυξη. Το 5G - Mobix θα αξιολογήσει διάφορες προηγμένες περιπτώσεις χρήσης CCAM, επηρεασμένες από την επόμενη γενιά κινητών δικτύων 5G. Ανάμεσα στα πιθανά σενάρια που θα αξιολογηθούν με τις τεχνολογίες 5G, το 5G - Mobix αναμένεται να αυξήσει το δυνητικό όφελος του 5G με: χαμηλή επικοινωνία καθυστέρησης, βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας, μαζική επικοινωνία μηχανών και τεμαχισμό δικτύου, [22].

Επισκόπηση έργου, [22]:

- 55 εταίροι, συμπεριλαμβανομένων των εταιρειών τηλεπικοινωνιών (Cosmote, KPN, Telefonica και Turkcell) και των αυτοκινητοβιομηχανιών (Daimler και Ford)
- Συνολικός προϋπολογισμός έργου: 26,5 εκατ. ευρώ
- Αναμενόμενη συνεισφορά Ευρωπαϊκής Επιτροπής: 21 εκατ. ευρώ

- Διάρκεια έργου: 36 μήνες
- "Διάδρομοι κινητικότητας"

3.3.3 Μέρος 3: Προηγμένες δοκιμές εξακρίβωσης 5G σε κάθετες αγορές

Έχουν επικρατήσει 8 έργα από τις 32 προτάσεις που έλαβε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως αποτέλεσμα της πρόσκλησης 5G-PPP ICT-19-2019. Αυτά τα οκτώ έργα ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2019 και θα διαρκέσουν περίπου τρία χρόνια για να προσεγγίσουν το ευρωπαϊκό όραμα 5G για την "Ενδυνάμωση των κάθετων αγορών". Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή τους:

5G Solutions

Το 5G Solutions είναι ένα έργο του ICT-19 RIA (αρχικά για το "Research and Innovation Action") που υποστηρίζει την πολιτική 5G της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, εφαρμόζοντας την τελευταία φάση (Φάση 3β) του χάρτη 5G PPP.

Το έργο στοχεύει να αποδείξει και να επικυρώσει ότι το 5G παρέχει τις κάθετες αγορές με καθολική πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών με τάξεις μεγέθους βελτίωσης σε σχέση με το 4G, φέρνοντας έτσι το όραμα 5G πιο κοντά στην υλοποίηση. Αυτό θα επιτευχθεί με τη διεξαγωγή προηγμένων πειραμάτων στον τομέα των καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης, που θα αφορούν άμεσα τους τελικούς χρήστες σε πέντε σημαντικούς κάθετους τομείς της αγοράς σε πέντε χώρες, [26]:

- Εργοστάσια του μέλλοντος, στο Βέλγιο, την Ιρλανδία και τη Νορβηγία
- Smart Energy, στην Ιταλία
- Smart cities, στην Ιρλανδία και τη Νορβηγία
- Smart ports, στη Νορβηγία
- Μέσα & Ψυχαγωγία στην Ελλάδα και τη Νορβηγία.

Συγκεκριμένα, το 5G Solutions θα παρέχει, [26]:

α) Επικύρωση περισσότερων από 140 KPIs για 20 καινοτόμες και ετερογενείς περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν δυνατότητες επιπέδου 5G και αναμένεται να έχουν υψηλή μελλοντική δυναμική εμπορευματοποίησης. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης θα εξεταστούν σε χωριστά πεδία και ταυτόχρονα με τους πραγματικούς τελικούς χρήστες μέσω των εγκαταστάσεων του 5G - Eve της Ιταλίας και των εγκαταστάσεων 5G - Vinni της Νορβηγίας/ Ελλάδας του ICT-17 (με επιπλέον ιδιωτικούς κόμβους 5G - Vinni στο Βέλγιο, στην Ιρλανδία και στη Νορβηγία). Με αυτόν τον τρόπο θα ελεγχθεί αν επετεύχθη ο στόχος των KPIs του 5G που καθορίζονται για κάθε περίπτωση χρήσης, καθώς και το επιχειρησιακό τους δυναμικό, η ηθική και κοινωνική αποδοχή. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί σε 3 επαναληπτικές φάσεις στις αντίστοιχα αναβαθμισμένες εγκαταστάσεις ICT-17 μέσω των εκδόσεων 15,16 και έπειτα του 3GPP.

β) Τεχνολογικούς μηχανισμούς για τη διευκόλυνση της αυτοματοποιημένης εκτέλεσης των δοκιμών πεδίου, που συμπεριλαμβάνουν:

- i. έναν ενοποιημένο ενορχηστρωτή υπηρεσιών που επιτρέπει τον τεμαχισμό πολλαπλών τομέων και την αυτοματοποίηση του κύκλου ζωής υπηρεσιών 5G,
- ii. ένα καινοτόμο έξυπνο σύστημα οπτικοποίησης KPIs για τη διευκόλυνση της σχεδόν σε πραγματικό χρόνο ανάλυσης, παρουσίασης, συγκριτικής αξιολόγησης και επικύρωσης επιδόσεων των KPIs του δικτύου 5G σε σχέση με τις στοχευμένες προκαθορισμένες τιμές,

iii. Application Programming Interfaces (APIs) σχεδιασμένα για την τόνωση της καινοτομίας και την προώθηση της ανάπτυξης, της φορητότητας και της παροχής νέων καινοτόμων εφαρμογών από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

γ) Σημαντική συμβολή στην τυποποίηση 5G σε πολλούς SDOs (Standard's Development Organizations) και ανοικτά φόρουμ, όπως τα: 3GPP (3rd Generation Partnership Project), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector), IETF (Internet Engineering Task Force), ONF (Open Networking Foundation), NGMN (Next Generation Mobile Networks), EBU (European Broadcasting Union) κ.λπ.

5Growth

Το όραμα του έργου 5Growth είναι να ενδυναμώσει τις κάθετες βιομηχανίες, όπως η βιομηχανία 4.0, οι μεταφορές και η ενέργεια, με μια αυτοματοποιημένη διαμοιραζόμενη λύση από άκρο σε άκρο με χαρακτηριστικά τεχνητής νοημοσύνης, για να επιτευχθούν οι βασικοί στόχοι απόδοσης των βιομηχανιών αυτών.

Προς αυτό το όραμα, το 5Growth θα αυτοματοποιήσει τη διαδικασία υποστήριξης διαφόρων κάθετων αγορών μέσω: (i) μιας κάθετης πύλης που θα είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση κάθετων αγορών με τις πλατφόρμες 5G end-to-end, για τη λήψη των αιτημάτων τους για εξυπηρέτηση και για δημιουργία των αντίστοιχων τεμαχίων δικτύου, (ii) αυτοματοποίησης κλειστού βρόχου και ελέγχου συμφωνίας επιπέδων εξυπηρέτησης (Service Level Agreement – SLA) για τη διαχείριση κύκλου ζωής των κάθετων υπηρεσιών και (iii) λύσεων δικτύου end-to-end με στόχο την από κοινού βελτιστοποίηση των πόρων πρόσβασης, μεταφοράς, δικτύου κορμού και σύννεφου και στα άκρα του δικτύου μέσω πολλαπλών τεχνολογιών.

Ο κύριος στόχος του 5Growth είναι η τεχνική και επιχειρησιακή επικύρωση των τεχνολογιών 5G από την οπτική γωνία των κάθετων αγορών, ακολουθώντας μια προσέγγιση βασισμένη σε δοκιμές πεδίου σε κάθετες τοποθεσίες. Οι περιπτώσεις πολλαπλών χρήσεων κάθετων αγορών (Comau, Efacec_S, Efacec_E, Innovalia) θα δοκιμαστούν σε τέσσερις κάθετες ιδιόκτητες εγκαταστάσεις σε στενή συνεργασία με τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών (όπως Ericsson, Interdigital, NEC, Nokia) και με τους φορείς εκμετάλλευσης (Altice, Telefonica) στο έργο.

Το 5Growth θα αξιοποιήσει τα αποτελέσματα των έργων Φάσης 2 5G-PPP όπου αναπτύσσονται και επικυρώνονται λύσεις τεμαχισμού, εικονικοποίησης και πολλαπλών τομέων για τη δημιουργία και την παροχή κάθετων υπηρεσιών, π.χ. τα 5G-TRANSFORMER και 5G-MONARCH. Έχουν επιλεγεί δύο πλατφόρμες 5G end-to-end από το ICT-17-2018, η 5G - Eve και η 5G - Vinni, για τις δοκιμές για να αναδείξουν τις ειδικές περιπτώσεις κάθετης χρήσης του 5Growth. Εκτός από τον αντίκτυπο στα κατακόρυφα προσανατολισμένα πρότυπα (π.χ. EN50126 (IEC62278) για τη σηματοδότηση στις σιδηροδρομικές γραμμές), οι κατακόρυφοι φορείς που θα συνεργαστούν θα έχουν την ευκαιρία να επηρεάσουν την τρέχουσα τυποποίηση 5G, αξιοποιώντας την εμπλοκή κορυφαίων εμπειρογνομημόνων στις διάφορες σχετικές SDO, [27].

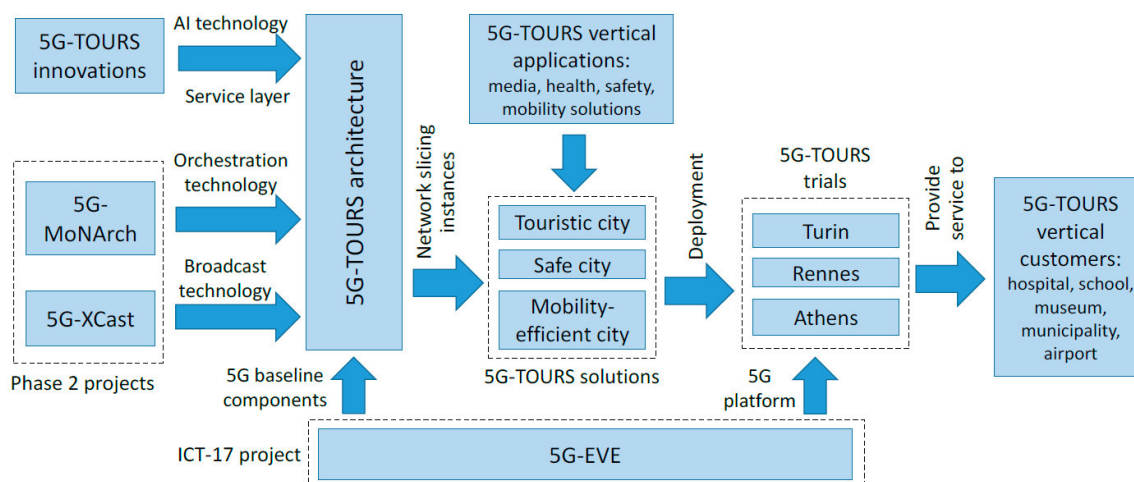
5G - Tours

Το 5G - Tours θα αναπτύξει ολοκληρωμένες δοκιμές από άκρο σε άκρο για να φέρει το 5G σε πραγματικούς χρήστες για δεκατρείς αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις χρήσης. Το έργο θα παράσχει αποτελεσματικές και αξιόπιστες σε προσιτή τιμή υπηρεσίες για τους τουρίστες, τους πολίτες και τους ασθενείς σε τρεις διαφορετικούς τύπους πόλεων: (i) Rennes, η ασφαλής πόλη όπου θα παρουσιαστούν περιπτώσεις χρήσης ηλεκτρονικής υγείας, (ii) Turin, η τουριστική πόλη επικεντρώθηκε στις περιπτώσεις χρήσης μέσων και εκπομπών και (iii) η Αθήνα, η πόλη με την αποδοτικότερη

κινητικότητα που φέρνει το 5G στους χρήστες σε κίνηση, καθώς και σε παρόχους υπηρεσιών που σχετίζονται με τις μεταφορές. Οι υπηρεσίες αυτές όχι μόνο θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών και των τουριστών, αλλά και θα αποτελέσουν μια σημαντική επιχειρηματική ευκαιρία, δεδομένου ότι απευθύνονται σε τομείς της βιομηχανίας που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των εκτιμώμενων εσόδων που παράγονται από τις κατακόρυφες αγορές.

Το θεμελιώδες χαρακτηριστικό της ιδέας του έργου 5G - Tours είναι η δυναμική χρήση του δικτύου για την απρόσκοπτη παροχή διαφορετικών τύπων υπηρεσιών προσαρμοσμένων στις ειδικές ανάγκες των περιπτώσεων ατομικής χρήσης. Το 5G - Tours θα δημιουργήσει διαφορετικές δυνατότητες όπως τεμαχισμό δικτύου, εικονικοποίηση, εννοχρήστρωση ή εκπομπή, καθώς και πρόσθετες λειτουργίες που αναπτύχθηκαν από το έργο για μεγαλύτερη ευελιξία και βελτιωμένη απόδοση. Η φιλοδοξία είναι να παρουσιαστούν πλήρως οι προ-εμπορικές τεχνολογίες 5G σε μεγάλη κλίμακα, δείχνοντας την ικανότητα του δικτύου 5G να αντιμετωπίσει ακραία KPIs, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα πολύ διαφορετικές απαιτήσεις στην ίδια υποδομή.

Τα βασικά βήματα που εξετάζονται στην προσέγγιση που ακολουθείται από το 5G - Tours είναι (i) ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας αρχιτεκτονικής που θα αποτελείται από τα προ-εμπορικά στοιχεία που εισάγονται από την πλατφόρμα 5G - Eve μαζί με τις καινοτομίες που προέρχονται από έργα Φάσης 2 και από το ίδιο το 5G - Tours (ii) η εφαρμογή των λύσεων 5G - Tours που συνδυάζουν τη χρήση των κατάλληλων δικτυακών τεμαχίων της αρχιτεκτονικής και των κάθετων λύσεων που βασίζονται στην επικοινωνία 5G που χρειάζονται και (iii) η ανάπτυξη δοκιμών για αξιολόγηση των κατακόρυφων λύσεων 5G - Tours πάνω από τους κόμβους 5G - Eve. Η προκύπτουσα αρχιτεκτονική 5G - Tours θα βασίζεται στα βασικά στοιχεία του δικτύου που καθορίζονται από το 5G - Eve και θα χρησιμοποιεί τις διεπαφές που παρέχονται από αυτά τα στοιχεία προκειμένου να λειτουργήσει με τις καινοτομίες 5G - Tours που θα υλοποιηθούν πάνω από την προ-εμπορική πλατφόρμα. Για τις καινοτομίες που έχουν ήδη υλοποιηθεί σε έργα Φάσης 2 (εννοχρήστρωση και εκπομπή), το 5G - Tours θα φέρει τις υπάρχουσες λύσεις από τα αντίστοιχα έργα (5G - MoNArch και 5G - XCast αντίστοιχα) προσαρμόζοντάς τα ανάλογα. Οι υπόλοιπες καινοτομίες θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν από το 5G - Tours. Ο σχεδιασμός των διαφόρων καινοτομιών που αναφέρονται από το 5G - Tours θα είναι σύμφωνος με τις συνεχιζόμενες προσπάθειες τυποποίησης και θα τροφοδοτείται με τα πρότυπα προκειμένου να ωθηθεί η ενδεχόμενη υιοθέτησή τους σε εμπορικά προϊόντα.



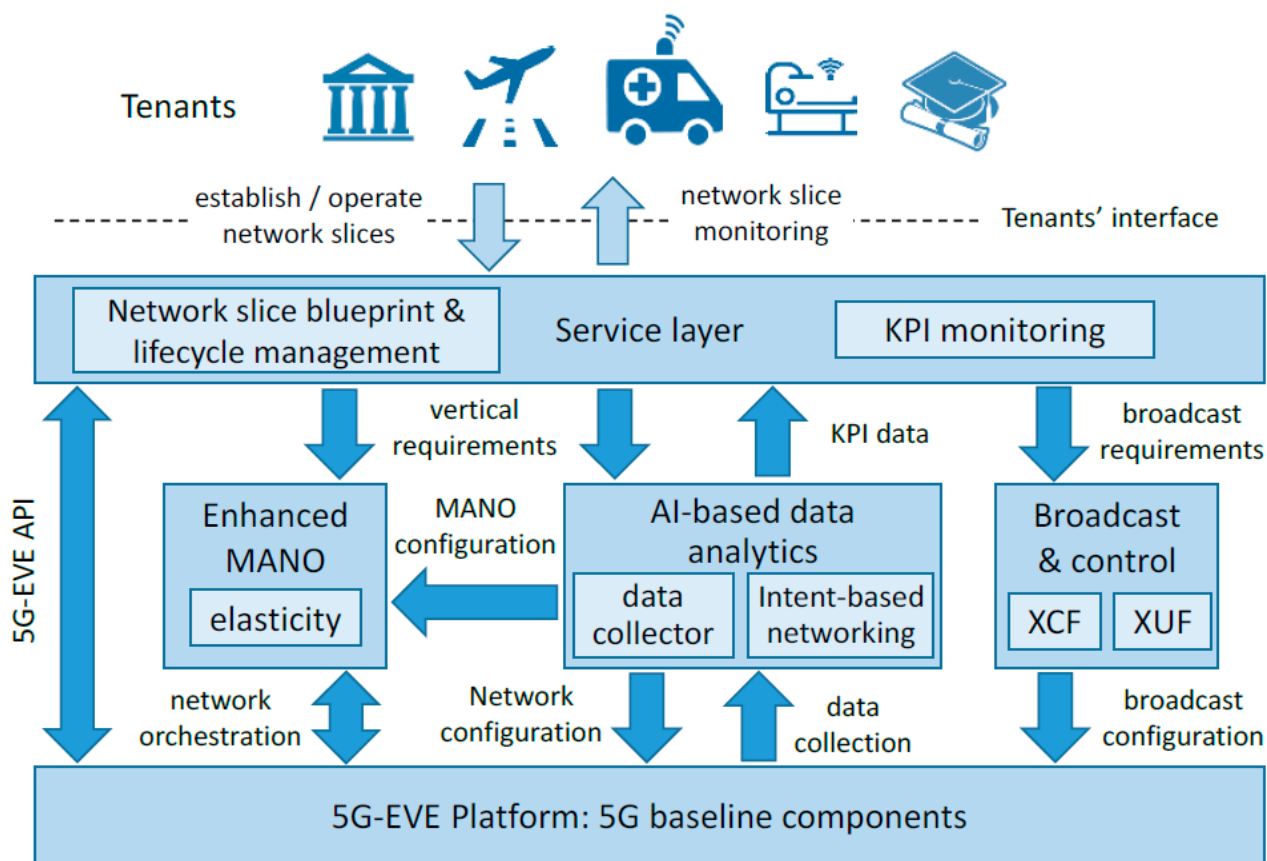
Εικόνα 10: Προσέγγιση του έργου 5G - Tours.

Στην Εικόνα 10 φαίνεται ο συνδυασμός των προαναφερθέντων. Η αρχιτεκτονική του 5G - Tours, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, βρίσκεται στην κορυφή της πλατφόρμας 5G

- Eve, η οποία αποτελείται από προ-εμπορικό εξοπλισμό που συμμορφώνεται με την τελευταία έκδοση της 3GPP Release 15, αλλά θα αναβαθμιστεί σε 16 μόλις ο προ-εμπορικός εξοπλισμός θα είναι διαθέσιμος από τους προμηθευτές. Πάνω από τον προ-εμπορικό εξοπλισμό, το 5G - Tours υλοποιεί ορισμένες λειτουργικές μονάδες που παρέχουν λειτουργικότητα που απαιτείται για τις περιπτώσεις χρήσης που αντιμετωπίζονται. Αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούν τυπικές διεπαφές του εξοπλισμού για τη διαμόρφωση και τη διαχείριση των μονάδων κάτω από αυτές.

Πάνω από τα στοιχεία της βάσης 5G, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, η αρχιτεκτονική 5G - Tours προβλέπει τρεις διαφορετικές λειτουργίες. Το βελτιωμένο τμήμα MANO (Διαχείρισης και Ενορχήστρωσης - Management and Orchestration) περιλαμβάνει τους αλγορίθμους που είναι υπεύθυνοι για την ενορχήστρωση των διαφόρων λειτουργιών και πόρων του δικτύου, με βάση τις κάθετες απαιτήσεις καθώς και τις εκτιμήσεις της ελαστικότητας. Τα τμήματα τεχνητής νοημοσύνης φροντίζουν για τη συνολική διαχείριση και διαμόρφωση του δικτύου και οι μονάδες εκπομπής εφαρμόζουν τις λειτουργίες μετάδοσης του ελέγχου και του επιπέδου χρήστη.

Το ανώτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής 5G - Tours είναι το λεγόμενο επίπεδο υπηρεσιών, το οποίο παρέχει στους κατακόρυφους πελάτες και στους άλλους μισθωτές τεμαχίων δικτύου μια φιλική διεπαφή για να ζητήσουν και να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες του δικτύου. Αυτό το επίπεδο υπηρεσιών χαρτογραφεί τα αιτήματα των χρηστών που προέρχονται από τις κάθετες αγορές στις διεπαφές με τις αντίστοιχες μονάδες. Για να επικοινωνήσει με την πλατφόρμα 5G, αξιοποιεί το API που προσφέρεται από το 5G - Eve.



Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική του 5G - Tours.

Το σύστημα κινητής τηλεφωνίας 5G - Tours θα ενσωματώνει στρατηγικά στοιχεία του οικοσυστήματος, συμπεριλαμβανομένης της υποδομής δικτύου, τερματικών και τελικών συσκευών, των κάθετων λύσεων που θα έχουν ενεργοποιηθεί από το 5G και των κάθετων πελατών που θα λαμβάνουν τις υπηρεσίες. Το 5G - Tours έχει εκπονήσει ένα

διεξοδικό σχέδιο αξιολόγησης για να εξετάσει τη βιωσιμότητα των περιπτώσεων χρήσης, αντιμετωπίζοντας τις τεχνικές επιδόσεις αναλύοντας τόσο τους δείκτες KPI υπηρεσιών δικτύου όσο και τους KPIs επιπέδου εφαρμογής και τον οικονομικό αντίκτυπο, αναλύοντας τα εκτιμώμενα παραγόμενα έσοδα και, τελικά, την ικανοποίηση των πελατών, [28].

5G Smart

Ο σημερινός ευφυής βιομηχανικός τομέας υφίσταται ψηφιακό μετασχηματισμό που αντιμετωπίζει την πρόκληση της μείωσης των χειροκίνητων διαδικασιών και της αύξησης της απόδοσης. Το 5G προβλέπεται ως βασικός παράγοντας για το μελλοντικό οικοσύστημα βιομηχανιών που ονομάζεται Βιομηχανία 4.0. Το 5G Smart θα παρουσιάσει, θα επικυρώσει και θα αξιολογήσει το δυναμικό του 5G σε πραγματικά περιβάλλοντα βιομηχανιών.

Σε τρεις διαφορετικές δοκιμαστικές περιοχές, το 5G Smart θα δοκιμάσει τις πιο εξελιγμένες 5G ολοκληρωμένες εφαρμογές κατασκευής, όπως ψηφιακά δίδυμα, βιομηχανική ρομποτική και απομακρυσμένες λειτουργίες μηχανικής όρασης. Οι δοκιμαστικοί χώροι είναι: εργοστάσιο της Ericsson στο Kista (Σουηδία), κατάστημα Fraunhofer IPT στο Άαχεν (Γερμανία) και εργοστάσιο ημιαγωγών Bosch στο Reutlingen (Γερμανία).

Το 5G Smart θα διερευνήσει την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ElectroMagnetic Compatibility - EMC), θα εκτελέσει μετρήσεις καναλιών και θα μελετήσει τη συνύπαρξη δημόσιων και ιδιωτικών βιομηχανικών δικτύων σε πραγματικά περιβάλλοντα παραγωγής, διευκολύνοντας την ολοκλήρωση του 5G. Τα νέα χαρακτηριστικά του 5G, που αναπτύχθηκαν στο 5G Smart, όπως ο συγχρονισμός χρόνου και η ανίχνευση θέσης για τις περιπτώσεις κατασκευής, αντιπροσωπεύουν ένα τεχνολογικό άλμα.

Επιπλέον, το 5G Smart θα διερευνήσει νέα επιχειρηματικά μοντέλα, συμπεριλαμβανομένων των ρόλων των φορέων κινητής τηλεφωνίας. Το 5G Smart θα οδηγήσει στην ανάπτυξη μελλοντικών προτύπων 5G για το βιομηχανικό τομέα, που θα συμπληρωθούν με νέα προϊόντα και λύσεις 5G.

Κατά την εκπόνηση του έργου 5G Smart, οι φορείς θα μπορούν να απευθύνονται άμεσα σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, για τις οποίες η τεχνολογία 5G Smart θα γίνεται προσβάσιμη. Το 5G Smart, στο οποίο ηγείται η Ericsson, συνενώνει μια ισχυρή κοινοπραξία εταίρων που συμμετέχουν σε κάθε πτυχή του οικοσυστήματος παραγωγής, [29].

5G - VICTORI

Το 5G - VICTORI ασχολείται με τον καλά καθορισμένο ευρωπαϊκό στόχο παροχής λύσεων 5G για κατακόρυφους τομείς. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη υποδομών 5G για την αντιμετώπιση ευρέους φάσματος εφαρμογών που υιοθετούν ευέλικτες αρχιτεκτονικές, προσφέροντας συγκλίνουσες υπηρεσίες σε ετερογενείς τομείς τεχνολογίας με ενοποιημένο έλεγχο λογισμικού. Ωστόσο, οι κάθετες αγορές σήμερα μπορούν μόνο να ελέγξουν περιπτώσεις χρήσης σε μικρές κλίμακες σε εμπορικά περιβάλλοντα, πριν επενδύσουν σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Μέσα από τα έργα ICT-17 διατίθενται 5G υποδομές σε κάθετες εφαρμογές για τη δοκιμή των εφαρμογών τους, ωστόσο οι δοκιμές μεγάλης κλίμακας εξακολουθούν να μην είναι εφικτές.

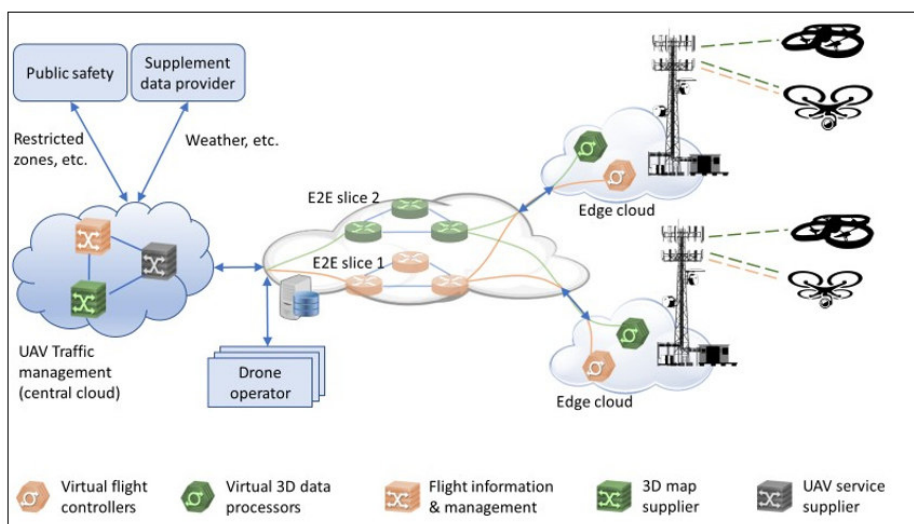
Το 5G - VICTORI θα διεξάγει δοκιμές μεγάλης κλίμακας για την επαλήθευση της περίπτωσης της κάθετης χρήσης με έμφαση στις περιπτώσεις χρήσης των Μεταφορών, Ενέργειας, Μέσων Ενημέρωσης και Εργοστασίων του μέλλοντος και σε περιπτώσεις κάθετης χρήσης. Αξιοποιεί τεχνολογίες δικτύων 5G που αναπτύσσονται στα έργα στις φάσεις 1 και 2 του 5G - PPP 5G-XHaul και 5G-PICTURE αλλά και εκμεταλλεύεται

εκτενώς τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις που διασυνδέουν βασικούς χώρους όλων των υποδομών ICT-17, δηλαδή τα 5G - Vinni, 5Genesis και 5G – Eve και τη δοκιμαστική πλατφόρμα 5G του Ηνωμένου Βασιλείου σε πανευρωπαϊκή υποδομή. Το σχέδιο θα προσφέρει βελτιώσεις των υπάρχουσών υποδομών για την ενσωμάτωση μιας μεγάλης ποικιλίας περιπτώσεων κάθετης και οριζόντιας χρήσης.

Στις μέρες μας, οι τρέχουσες υποδομές είναι πιο κλειστές και φτιαγμένες αποκλειστικά και μόνο για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Η πλατφόρμα 5G-VICTORI έχει σκοπό να μετατρέψει τις τρέχουσες υποδομές σε πιο ανοιχτές, όπου ο πηγαίος κώδικάς τους και οι παρεχόμενες υπηρεσίες τους θα είναι διαθέσιμες σε ΤΠΕ και άλλες βιομηχανίες, μέσω κοινών αποθετηρίων. Αυτές οι λειτουργίες μπορούν να προσπελαστούν με κοινή χρήση κατόπιν ζήτησης και να αναπτυχθούν για να συνθέσουν ένα πολύ διαφορετικό σύνολο υπηρεσιών σε μια μεγάλη ποικιλία οικοσυστημάτων. Η εξαιρετικά ισχυρή κοινοπραξία της 5G - VICTORI φέρνει σε επαφή τους σημαντικούς συντελεστές των ΤΠΕ, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων, των ακαδημαϊκών και ερευνητικών φορέων εξοπλισμού, των μικρομεσαίων επιχειρήσεων καθώς και των κυριότερων παραγόντων από κάθετες αγορές, συμπεριλαμβανομένων των εθνικών φορέων σιδηροδρόμων και ηλεκτρισμού, των πωλητών σιδηροδρομικών τεχνολογιών, και μικρομεσαίων επιχειρήσεων που επικεντρώνονται σε προηγμένες κάθετες υπηρεσίες, [30].

5G!Drones

Το 5G!Drones στοχεύει στη δοκιμή αρκετών περιπτώσεων χρήσης (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) που καλύπτουν τις υπηρεσίες 5G, όπως: κινητής ευρυζωνικότητας (enhanced Mobile Broadband - eMBB), αξιόπιστης και χαμηλών καθυστερήσεων επικοινωνίας (Ultra - Reliable - Low - Latency - Communication - URLLC) και επικοινωνίας μηχανών (Massive Machine Type Communication - mMTC) και την επικύρωση των 5G KPIs για την υποστήριξη τέτοιων απαιτητικών περιπτώσεων χρήσης. Ακολουθεί η ενδεικτική περιγραφή μιας περίπτωσης χρήσης, που είναι η διαχείριση της κίνησης στον αέρα:



Εικόνα 12: UAV διαχείριση κίνησης.

Σε αυτή την περίπτωση χρήσης θα παρουσιαστεί μια κοινή λειτουργικότητα για όλες τις εφαρμογές UAV, παρέχοντας την απαραίτητη ασφαλή συνεργασία των drones στην εναέρια κυκλοφορία. Πράγματι, η δραματική αύξηση των UAV κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας και η επακόλουθη ανάπτυξη εμπορικών δραστηριοτήτων που αφορούν τα drones, ιδίως σε χαμηλό υψόμετρο, έθεσαν το ζήτημα της ασφάλειας των drones αλλά και των ασφαλών πτήσεων των αεροσκαφών ενόψει της αυξημένης εναέριας κυκλοφορίας. Τα συστήματα διαχείρισης κίνησης στον αέρα μη

επανδρωμένων σκαφών (Unmanned Aerial System Traffic Management – UAS TM) αναμένεται να διαχειριστούν την κυκλοφορία των αεροσκαφών στα χαμηλότερα ύψη του εναέριου χώρου, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη υπηρεσία από άκρο σε άκρο για τη συγκέντρωση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, την κίνηση στον εναέριο χώρο, την εγγραφή των χειριστών των drones και τα διαπιστευτήριά τους, μεταξύ άλλων.

Η ανάγκη για παγκόσμια συστήματα διαχείρισης κίνησης (Universal Traffic Management – UTM) προήλθε από διάφορους παράγοντες, όπως η πρόσφατη αύξηση του αριθμού των αεροσκαφών στον εναέριο χώρο, η αυξανόμενη συμμετοχή διαφόρων κυβερνήσεων και αναδυόμενων κανονισμών, καθώς και η συνεργασία με βασικούς ενδιαφερόμενους για την ανάπτυξη μιας αρχιτεκτονικής εργασίας. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα συστήματα UTM (επίπεδο U1: Ηλεκτρονική καταχώρηση, ηλεκτρονική αναγνώριση και γεω-ευαισθητοποίηση) θα είναι υποχρεωτικά σε κάθε χώρα της ΕΕ μέχρι το 2019 και το επόμενο επίπεδο U2 αναμένεται να εφαρμοστεί σε χρονικό διάστημα δύο ετών. Επιπλέον, οι ανησυχίες για τη δημόσια ασφάλεια, η ανησυχία για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και η ευπάθεια στις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο είναι μερικές από τις μείζονες προκλήσεις για την υιοθέτηση των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας UAS. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές των κινητών τηλεφώνων θα απαιτήσουν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, προκειμένου να λειτουργήσει με ασφάλεια.

Το έργο θα οδηγήσει τα κάθετα UAV και τα δίκτυα 5G σε μια κερδοφόρα θέση, από τη μια πλευρά δείχνοντας ότι το 5G είναι σε θέση να εγγυηθεί UAV με κάθετα KPIs, και από την άλλη με το να αποδεικνύει ότι το 5G μπορεί να υποστηρίξει δύσκολες περιπτώσεις χρήσης που ασκούν πίεση σε πόρους δικτύου, όπως η χαμηλή καθυστέρηση και η αξιόπιστη επικοινωνία, ο μεγάλος αριθμός συνδέσεων και οι απαιτήσεις υψηλού εύρους ζώνης ταυτόχρονα. Το 5G!Drones θα αξιοποιήσει τις δυνατότητες του 5G που παρέχονται από τα έργα ICT-17 και μια σειρά τοποθεσιών, εντοπίζοντας ταυτόχρονα και αναπτύσσοντας τα υπολειπόμενα εξαρτήματα σε δοκιμαστικές περιπτώσεις χρήσης UAV. Το έργο θα περιλαμβάνει τον τεμαχισμό δικτύου ως βασικό στοιχείο για την ταυτόχρονη εκτέλεση των τριών τύπων υπηρεσιών UAV στην ίδια υποδομή 5G (συμπεριλαμβανομένου του RAN, back/ fronthaul δικτύου, αλλά και το κεντρικό μέρος του), αποδεικνύοντας ότι κάθε εφαρμογή UAV λειτουργεί ανεξάρτητα και δεν επηρεάζει την απόδοση άλλων εφαρμογών UAV, ενώ καλύπτουν διαφορετικές υπηρεσίες 5G.

Ενώ οι κάθετες αγορές θα είναι οι κύριοι χρήστες του 5G!Drones, το έργο θα δημιουργήσει ένα επίπεδο λογισμικού για την αυτοματοποίηση της διεξαγωγής δοκιμών. Το επίπεδο αυτό θα παρουσιάζει ένα υψηλού επιπέδου API για να ζητήσει την εκτέλεση μιας δοκιμής σύμφωνα με το σενάριο που ορίζεται από τον κάθετο πελάτη, χρησιμοποιώντας παράλληλα τους ενεργοποιητές API 5G!Drones που αναπτύχθηκαν στις εγκαταστάσεις. Έτσι, το 5G!Drones θα καταστήσει δυνατή την απόκτηση όλων των λεπτομερειών χαμηλού επιπέδου για την εκτέλεση των δοκιμών για κάθετες αγορές και στοχεύει στην επικύρωση των 5G KPIs για την υποστήριξη πολλών περιπτώσεων χρήσης UAV μέσω δοκιμών που χρησιμοποιούν κοινή υποδομή 5G. Με αυτό τον τρόπο δείχνει ότι το 5G υποστηρίζει τις απαιτήσεις απόδοσης UAV με πολλές ταυτόχρονες εφαρμογές UAV με διαφορετικά χαρακτηριστικά (eMBB, uRLLC και mMTC). Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, το 5G!Drones θα επιτρέψει στον οργανισμό κατασκευής UAV να κάνει συστάσεις για περαιτέρω βελτιώσεις στο 5G, [31].

5G - HEART

Η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές και οι κατακόρυφες αγορές τροφίμων είναι εξαιρετικά σημαντικές στην Ευρώπη, όσον αφορά τις θέσεις εργασίας, το πλήθος των

μηχανημάτων και εξοπλισμού που χρησιμοποιείται (συλλογικά ξεπερνώντας τα 3 τρισ. ευρώ) και το εξαγωγικό εμπόριο. Επιπλέον, είναι ζωτικής σημασίας από κοινωνικής άποψης, για καλύτερη αντιμετώπιση των ασθενών, ασφαλέστερη μεταφορά καθώς και πιο ασφαλή και βιώσιμη παραγωγή τροφίμων. Το 5G είναι σημαντικό για αυτές τις κάθετες αγορές, όσον αφορά τις βελτιώσεις στη χρησιμότητα, τις αποδοτικές διαδικασίες και την ασφάλεια.

Το 5G - HEART (δοκιμές επικύρωσης) θα επικεντρωθεί σε αυτές τις ζωτικές κάθετες περιπτώσεις χρήσης της υγειονομικής περίθαλψης, των μεταφορών και της υδατοκαλλιέργειας. Στον τομέα της υγείας, το 5G - HEART θα ελέγξει τα χάπια για την αυτόματη ανίχνευση στον έλεγχο των καρκίνων του παχέος εντέρου και των ζωτικών σημάτων με προηγμένο γεω-εντοπισμό καθώς και με 5G επαυξημένης/ εικονικής πραγματικότητας (Augmented Reality - AR/ Virtual Reality - VR) παραϊατρικές υπηρεσίες. Στον τομέα των μεταφορών, το 5G - HEART θα επικυρώσει τις αυτόνομες/ υποβοηθούμενες/ απομακρυσμένες υπηρεσίες οδήγησης και δεδομένων οχημάτων. Όσον αφορά τα τρόφιμα, θα δοθεί έμφαση στη μετατροπή του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας σε 5G (παγκόσμια σημασία για τη Νορβηγία, την Ελλάδα και την Ιρλανδία).

Η υποδομή που μοιράζονται οι κατακόρυφες αγορές, θα φιλοξενήσει σημαντικές καινοτομίες: τεμαχισμό ως υπηρεσία, την ενορχήστρωση πόρων σε τμήματα πρόσβασης/ πυρήνα και cloud/ edge με ζωντανά περιβάλλοντα χρηστών. Θα σχεδιαστούν νέες εφαρμογές και συσκευές (π.χ. υποβρύχια αεροσκάφη, εξαρτήματα αυτοκινήτων, συσκευές υγειονομικής περίθαλψης). Οι δοκιμές θα διεξαχθούν σε πλατφόρμες 5G - Vinni (Όσλο), 5Genesis (Surrey), 5G - Eve (Αθήνα), καθώς και στο Oulu και στο Groningen, οι οποίες θα συγκεντρωθούν για να σχηματίσουν μια ισχυρή και βιώσιμη πλατφόρμα, σε μεγάλη κλίμακα.

Η συνεργασία των φορέων σε αυτό το έργο περιλαμβάνει σημαντικούς κατακόρυφους φορείς, ερευνητικά/ ακαδημαϊκά ιδρύματα και μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Οι φορείς αυτοί έχουν αποδεδειγμένη τεχνογνωσία σε 5G, κάθετες εφαρμογές, τυποποίηση, επιχειρηματική μοντελοποίηση, πρωτότυπα, δοκιμές και παρουσιάσεις.

Η επικύρωση των KPIs από το 5G - HEART εξασφαλίζει βελτιωμένη υγειονομική περίθαλψη, δημόσια ασφάλεια, διαχείριση γεωργικών εκμεταλλεύσεων και επιχειρηματικά μοντέλα σε μια αγορά 5G, προωθώντας τεράστιες επιχειρηματικές ευκαιρίες εντός και εκτός του έργου, [32].

Full5G

Το έργο Full5G έχει πρωταρχικό στόχο στο να διευκολύνει τις δραστηριότητες της 5G PPP, κατά την τρίτη φάση της από τον Σεπτέμβριο του 2019 έως τον Σεπτέμβριο του 2021.

Επιπλέον, το έργο Full5G έχει στόχο να κατανοήσει και να προωθήσει τα επιτεύγματα της 5G PPP και να παρακολουθήσει την επίπτωση αυτών των αποτελεσμάτων στην εξέλιξη του 5G στην Ευρώπη κατά την διάρκεια της ζωής της 5G PPP. Το έργο αυτό θα εξετάσει επίσης το μέλλον και θα μελετήσει ποιες επιπρόσθετες ενέργειες είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ευρωπαϊκής δυναμικής και της ηγεσίας του 5G, καθώς προχωρά προς τα Smart Networks και διευκολύνοντας την υιοθέτηση του 5G από τις ευρωπαϊκές κάθετες αγορές.

Το έργο Full5G θα λειτουργήσει στα πλαίσια επεξεργασίας του στόχου υψηλού επιπέδου της 5G PPP για τη διατήρηση και ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ΤΠΕ και για την αναζήτηση ευρωπαϊκής ηγεσίας στον τομέα 5G. Μέρος της στρατηγικής για το σκοπό αυτό θα είναι η υποστήριξη δραστηριοτήτων στις οποίες η 5G PPP μπορεί να συμβάλει στην εφαρμογή του ευρωπαϊκού σχεδίου

δράσης 5G, το οποίο δημοσιεύθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Σεπτέμβριο του 2016. Το έργο Full5G έχει επίσης τη φιλοδοξία να εξασφαλίσει ότι η ευρωπαϊκή κοινωνία, μέσω των κάθετων τομέων, μπορεί να απολαμβάνει τα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που θα παρέχουν αυτά τα μελλοντικά δίκτυα 5G.

Ένα άλλο βασικό μέρος του αναμενόμενου έργου του έργου Full5G θα είναι η ανασκόπηση και η προώθηση των αποτελεσμάτων της 5G PPP στο σύνολό του. Το έργο θα προετοιμάσει μια Ανάλυση Επιπτώσεων που θα κατανοήσει τον αντίκτυπο της 5G PPP στην εξέλιξη του 5G στην Ευρώπη και θα προσπαθήσει να συσχετισθεί με τις κοινωνικές και οικονομικές τάσεις που προκύπτουν από την υιοθέτηση του 5G. Αν και θα είναι νωρίς για αυτή την έκθεση, καθώς ο πλήρης αντίκτυπος του 5G δεν θα βιωθεί στη διάρκεια του έργου, στόχος είναι να τεκμηριωθεί η προστιθέμενη αξία στην ευρωπαϊκή οικονομία και κοινωνία μέσω αυτής της στρατηγικής επένδυσης στο 5G. Αυτό είναι ένα ουσιαστικό βήμα που συμβάλλει στον προγραμματισμό μελλοντικών ιδιωτικών και δημόσιων επενδύσεων για έξυπνα δίκτυα με δυνατότητα 5G, όραμα στο οποίο βασίζεται η Ευρώπη, [33].

3.3.4 Μέρος 4: Συμπληρωματικό Έργο: 5G - Drive

Το έργο 5G – Drive αποτελεί συμπληρωματικό έργο, καθώς οι στόχοι του είναι συμπληρωματικοί ως προς τους στόχους των υπολοίπων έργων. Οι στόχοι του 5G - Drive είναι δομημένοι σε τρεις κύριους τομείς: τεχνικούς, ρυθμιστικούς και επιχειρηματικούς στόχους, [34]:

Τεχνικοί στόχοι

- Δημιουργία προ-εμπορικών πιλοτικών πλατφόρμων σε δύο πόλεις με επαρκή κάλυψη για να εκτελεστούν εκτεταμένες δοκιμές eMBB και Διαδικτύου Οχημάτων (Internet of Vehicles - IoV). Οι κοινές προδιαγραφές δοκιμής θα καθοριστούν μέσω της συμφωνίας συνεργασίας με το έργο.
- Ανάπτυξη και δοκιμή σημαντικών τεχνολογιών και υπηρεσιών 5G, συμπεριλαμβανομένων (αλλά όχι περιοριστικά) μαζικών κεραιών πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO) στα 3.5GHz, από άκρο σε άκρο τεμαχισμό δικτύου, mobile edge computing για υπηρεσίες χαμηλών καθυστερήσεων και (Vehicle to Everything - V2X), δίκτυα SDN για τη μεταφορά και τον πυρήνα του δικτύου, καθώς και ασφάλεια δικτύου και τερματικών.
- Ανάπτυξη και δοκιμές τεχνικών διαμοιρασμού δικτύων μεταξύ τομέων σε δύο περιοχές για νέες υπηρεσίες.
- Παρουσίαση υπηρεσιών Διαδικτύου Οχημάτων (Internet of Vehicles – IoV) χρησιμοποιώντας τις επικοινωνίες οχήματος προς δίκτυο (Vehicle to Network - V2N) και οχήματος προς οχήματα (Vehicle to Vehicle - V2V) που λειτουργούν στα 3.5GHz και 5.9GHz, αντίστοιχα.
- Ανάλυση πιθανών ζητημάτων διαλειτουργικότητας του συστήματος τα οποία εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών και στις δύο ζώνες (ΕΕ και Κίνα) και παροχή κοινών εκθέσεων, white papers και συστάσεων για την κατάλληλη αντιμετώπισή τους.
- Υποβολή κοινών συμβολών στη 3GPP και άλλους φορείς τυποποίησης 5G σχετικά με τις βασικές τεχνολογίες 5G που αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν στο έργο.

Ρυθμιστικοί στόχοι

- Αξιολόγηση της χρήσης του ραδιοφάσματος σε 3.5GHz για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους σε επιλεγμένες δοκιμαστικές εγκαταστάσεις και για παρουσίαση κοινών εκθέσεων αξιολόγησης και συστάσεων σχετικά με τις βασικές ζώνες φάσματος 5G στην Ευρώπη και στην Κίνα.
- Διερεύνηση ζητημάτων κανονιστικής ρύθμισης σχετικά με την ανάπτυξη τεχνολογιών V2X, δηλαδή συνύπαρξης στη ζώνη των 5.9GHz και την παροχή κοινών αναφορών.

Επιχειρηματικοί στόχοι

- Διερεύνηση και προώθηση επιχειρηματικού δυναμικού του 5G μέσω της από κοινού ανάπτυξης περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών 5G.
- Ενίσχυση της βιομηχανικής συνεργασίας 5G μεταξύ της ΕΕ και της Κίνας.
- Προώθηση έγκαιρης υιοθέτησης της αγοράς 5G μέσω κοινών παρουσιάσεων σε μεγάλες διοργανώσεις.

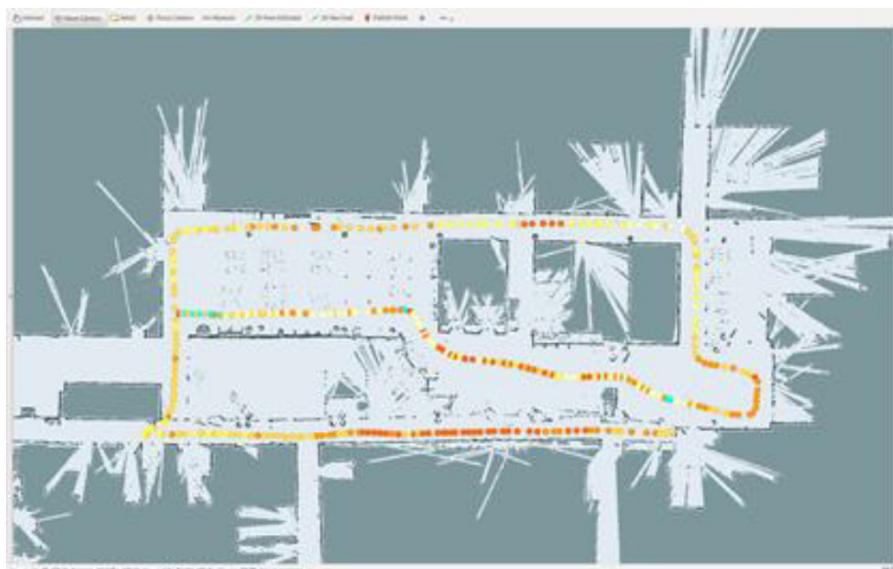
Μελέτη Περίπτωσης

Ακολουθεί μια ενδεικτική μελέτη περίπτωσης ανίχνευσης θέσης σε εσωτερικό χώρο:

Οι πληροφορίες για την εσωτερική θέση υποστηρίζουν προφανώς την πλοήγηση εντός των χώρων των κτιρίων. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες τοποθεσίας αποτελούν επίσης ένα πολύτιμο στοιχείο για την παροχή και διατήρηση υπηρεσιών υψηλής ποιότητας eMBB σε συσκευές τελικών χρηστών. Τα πλεονεκτήματα των πληροφοριών θέσης μας οδηγούν στη βελτίωση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας δικτύου, τη μείωση της καθυστέρησης και την εξισορρόπηση των φορτίων δεδομένων.

Δεδομένου ότι τα περισσότερα στοιχεία ελέγχου δικτύου καθορίζονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, οι υπηρεσίες eMBB σε κινητές συσκευές τελικού χρήστη απαιτούν επίσης υποστήριξη για κινητικότητα. Πρώτον, το κινητό τερματικό λαμβάνει το σήμα υπηρεσίας eMBB από ένα σταθμό βάσης και στη συνέχεια μεταβαίνει σταδιακά στην περιοχή κάλυψης άλλου σταθμού βάσης, έτσι εκτελείται παράδοση στο εσωτερικό δίκτυο.

Η κινητικότητα έρχεται με κόστος όσον αφορά τα πρόσθετα μηνύματα σηματοδότησης, τους πόρους επεξεργασίας και την καθυστέρηση των ρυθμίσεων και των συναλλαγών μηνυμάτων δεδομένων. Λόγω της φύσης του ελέγχου και της παρακολούθησης του δικτύου, δημιουργείται επιπλέον επιβάρυνση σηματοδότησης από την αποστολή σπάνιων μικρών πακέτων. Από την πλευρά του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, αυτό απαιτεί ανακατανομή και προγραμματισμό ραδιοπόρων με αυξημένη καθυστέρηση. Οι πληροφορίες τοποθεσίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το δίκτυο και τις συσκευές για τη βελτιστοποίηση της επικοινωνίας και την εξοικονόμηση ενέργειας με τη μείωση της σηματοδότησης. Συνδυάζοντας τις πληροφορίες θέσης με άλλες επικείμενες λειτουργίες, μπορεί να είναι δυνατή η δυναμική προσαρμογή των φορτίων δεδομένων και της δρομολόγησης και ο έλεγχος της καθυστέρησης και της απόκλισης. Επομένως, οι διαμοιραζόμενες πληροφορίες θέσης αποτελούν πολύτιμο στοιχείο τόσο για τους τελικούς κινητούς χρήστες όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών eMBB για τη συντήρηση και τη λειτουργία των συσκευών τους.



Εικόνα 13: Μέτρηση δρόμου από κινητό ρομπότ για την παροχή σχετικής θέσης και εσωτερικών χαρτών.

Σχετικά KPIs για αυτή την περίπτωση χρήσης:

- Μέγιστοι ρυθμοί δεδομένων: αυτή η μετρική υποδηλώνει τη μέγιστη απόδοση του φυσικού επιπέδου που μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ του 5G gNB και του τελικού χρήστη, σε Gbps.
- Jitter: αυτό το KPI δηλώνει τη διαφορά στην καθυστέρηση που παρατηρείται από τα ληφθέντα πακέτα (σε ms).
- Καθυστέρηση: συμβολή του δικτύου ασύρματης πρόσβασης στη συνολική καθυστέρηση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, εκφρασμένη σε ms.

Σύνοψη έργου:

Το έργο 5G - Drive συγχρηματοδοτείται από την Ε.Ε. μέσω του προγράμματος Horizon 2020, στο πλαίσιο 5G-PPP Φάση 3 και έχει συνολική διάρκεια 2,5 χρόνια, ενώ συμμετέχουν 17 εταιροι-φορείς από 9 χώρες (Ελλάδα, Γερμανία, Φιλανδία, Βέλγιο, Ελβετία, Πολωνία, Πορτογαλία, Λουξεμβούργο, Ηνωμένο Βασίλειο).

3.4 Πρόοδος εθνικών στρατηγικών και σχεδίων

Τα περισσότερα κράτη μέλη της ΕΕ άρχισαν να εξετάζουν στρατηγικά θέματα 5G μέσω δημόσιων διαβουλεύσεων, εκδίδοντας για αυτές συχνά έγγραφα στρατηγικής 5G το 2016 ή το 2017. Οι στρατηγικές 5G γενικά απορρέουν από μια εθνική ευρυζωνική στρατηγική που καθορίστηκε νωρίτερα, το 2015 – 2016, και διαρκεί μέχρι το 2020.

Προκειμένου να οριστεί μια συνεπής προσέγγιση σε ολόκληρη την Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον Νοέμβριο του 2018 μια έκθεση που συνοψίζει τις βέλτιστες πρακτικές και τα κοινά στοιχεία που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη για τις εθνικές στρατηγικές 5G. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν με εμπειρογνώμονες από τα κράτη μέλη της ΕΕ, καλύπτοντας βασικά θέματα όπως: στόχους ανάπτυξης, το φάσμα και μικρές κυψέλες, προγράμματα δημόσιας χρηματοδότησης και την υποστήριξη καινοτομίας 5G κ.ά., [35].

3.4.1 Διαβουλεύσεις: 18 μέλη της ΕΕ εκπόνησαν δημόσιες διαβουλεύσεις στο 5G

Μέχρι τα τέλη Μαρτίου 2019, δεκαεπτά κράτη μέλη της ΕΕ ολοκλήρωσαν δημόσιες διαβουλεύσεις σχετικά με το φάσμα/ στρατηγική 5G: Αυστρία (2017), Βέλγιο (2018), Βουλγαρία (Δεκέμβριος 2018), Τσεχική Δημοκρατία (αρχές 2019), Φινλανδία (2018) (2018), Ελλάδα (2018), Ιρλανδία, Ιταλία (2017), Λιθουανία (2018), Πολωνία (2018), Πορτογαλία (2018), Ρουμανία (Δεκέμβριος 2018)), Σλοβενία (2017) και Ηνωμένο Βασίλειο. Κατά τη διάρκεια του Α΄ τριμήνου του 2019 διεξήχθη μία δημόσια διαβούλευση για το φάσμα 5G στη Σουηδία (Φεβρουάριος 2019) σχετικά με την επικείμενη απονομή των ζωνών των 2.3 και 3.5GHz.

Σε άλλα κράτη μέλη ο προβληματισμός μόλις ξεκίνησε: η Κροατία δε δημοσίευσε έναν ψηφιακό χάρτη 5G/ δημόσια διαβούλευση, αλλά απέδωσε άδειες δοκιμής και οργάνωσε συνέδρια. Τα υπόλοιπα κράτη μέλη βρίσκονται ακόμη στην εσωτερική φάση προβληματισμού: Κύπρος, Δανία, Εσθονία, Ουγγαρία, Λετονία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία και Ισπανία, [35].

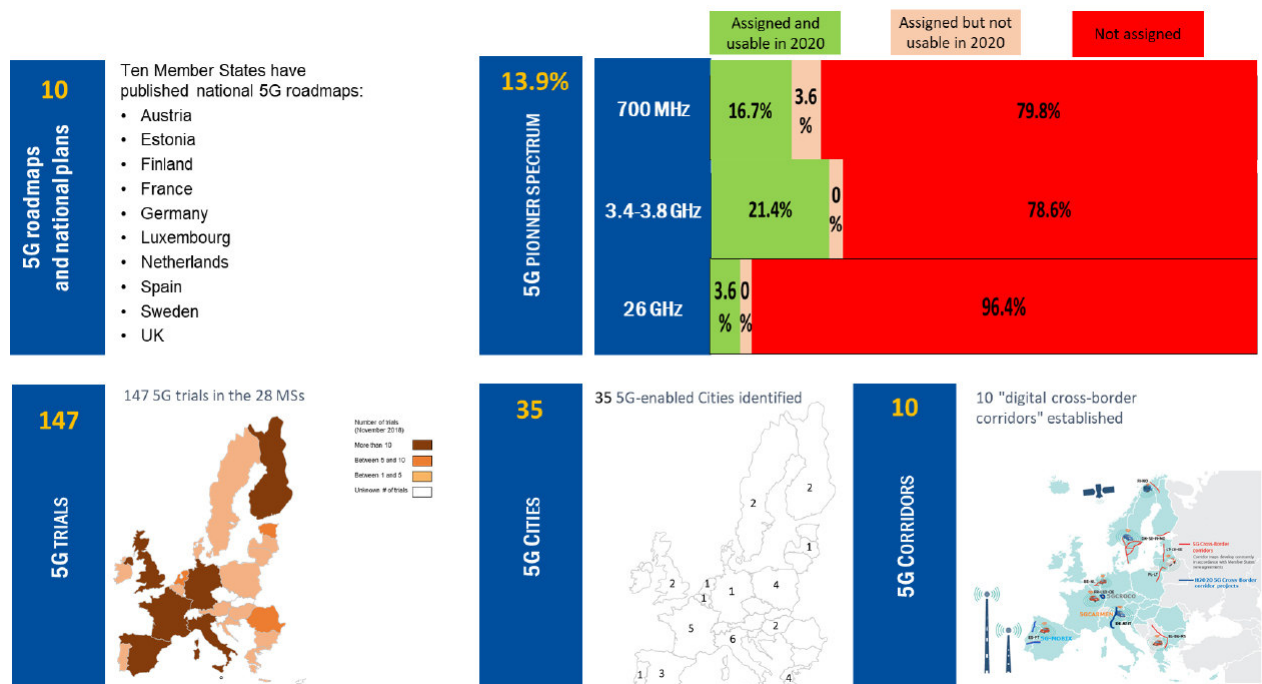
3.4.2 Εθνικές Στρατηγικές

Οι εθνικές στρατηγικές 5G που έχουν υιοθετηθεί μέχρι σήμερα έχουν πολλές πτυχές, καθώς οι ψηφιακοί χάρτες 5G καθορίζουν συγκεκριμένους στόχους, τομείς προτεραιότητας και καθοριστικά χρονικά σημεία (milestones). Επόμενη ενότητα που αναφέρεται στο φάσμα, παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με τις δυνητικές δημοπρασίες 5G που θα διεξαχθούν σε διαφορετικές ζώνες και εξετάζονται δοκιμαστικές άδειες. Σημαντικά θέματα επίσης που προκύπτουν είναι οι μέθοδοι χρηματοδότησης και εξετάζονται επίσης μέτρα για την τόνωση και την κινητοποίηση βασικών φορέων από τις βιομηχανίες τηλεπικοινωνιών και κάθετες αγορές.

Η ανασκόπηση της προόδου που σημειώθηκε στην εισαγωγή του 5G στην αγορά παρουσιάζει διάφορα στάδια. Δέκα κράτη μέλη δημοσίευσαν ακριβείς εθνικούς ψηφιακούς χάρτες 5G: Αυστρία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Λουξεμβούργο, Ισπανία, Σουηδία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ δεκατέσσερα κράτη μέλη έχουν δημοσιεύσει ψηφιακούς χάρτες 5G ή έγγραφα παγκόσμιας στρατηγικής: Αυστρία, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Πολωνία, Ρουμανία, Ισπανία, Σουηδία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο.

Όπως σχεδιάστηκε, η Δανία δημοσίευσε τη στρατηγική της για το 5G το Φεβρουάριο του 2019. Στην Εσθονία, ο Υπουργός Επιχειρηματικότητας και Πληροφορικής υπέγραψε σχέδιο κανονισμού που καθορίζει τη βάση, έτσι ώστε οι πάροχοι επικοινωνιών να μπορέσουν να αναπτύξουν δίκτυα 5G στη ζώνη των 3.6GHz (Ιανουάριος 2019). Τον Ιανουάριο του 2019, η Ελληνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) στην Ελλάδα εξέδωσε την Τεχνική Ανακοίνωση με τίτλο "Ανασκόπηση Συστημάτων Συχνότητας για την Ανάπτυξη Δικτύων 5G" με στόχο την ενημέρωση όλων των ενδιαφερόμενων μερών (υφιστάμενοι και νέοι πάροχοι δικτύων επικοινωνιών, κατασκευαστές εξοπλισμού, χρήστες ραδιοφάσματος γενικά, κάθετες αγορές) σε σχέση με τις ζώνες ραδιοσυχνοτήτων που εξετάζονται επί του παρόντος από την ΕΕΤΤ και αναμένεται να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) στο εγγύς μέλλον, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις σχετικές εξελίξεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Το 2019 έξι κράτη μέλη θα δημοσιεύσουν τις στρατηγικές τους για το 5G: Κύπρος, Μάλτα (3/19, δεν έχει ακόμα δημοσιευθεί), Ουγγαρία (4/19), Πορτογαλία (7/19), Κροατία (τέταρτο τρίμηνο του 2019) και Λιθουανία (μέχρι το τέλος του 19), [35].



Εικόνα 15: 5G Scoreboard στην ΕΕ - 28.

Από την Εικόνα 15, εξάγονται τα εξής στοιχεία, [35]:

- Δέκα μέλη της ΕΕ έχουν δημοσιεύσει ψηφιακό χάρτη για το 5G:
 - Αυστρία
 - Εσθονία
 - Φινλανδία
 - Γαλλία
 - Γερμανία
 - Λουξεμβούργο
 - Ολλανδία
 - Ισπανία
 - Σουηδία
 - Ηνωμένο Βασίλειο
- Ανατέθηκε φάσμα και θα χρησιμοποιηθεί το 2020:
 - 700MHz: 16.7%
 - 3.4 - 3.8GHz: 21.4%
 - 26GHz: 3.6%
- Ανατέθηκε φάσμα αλλά δε θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 2020:
 - 700MHz: 3.6%
 - 3.4 - 3.8GHz: 0%
 - 26GHz: 0%
- Δεν έχει ανατεθεί φάσμα:
 - 700MHz: 79.8%

- 3.4 - 3.8GHz: 78.6%
- 26GHz: 96.4%
- Συνολικά έγιναν 147 δοκιμές 5G στα 28 κράτη μέλη της ΕΕ.
- Καθορίστηκαν 35 5G πόλεις.
- Καθορίστηκαν 10 "ψηφιακοί διασυνοριακοί διάδρομοι".

3.5 Πόλεις με 5G

Ορισμένες ευρωπαϊκές πόλεις έχουν ήδη ανακοινώσει τα σχέδιά τους για να γίνουν "δοκιμαστικές πόλεις 5G", κάνοντας δοκιμές 5G και χρησιμοποιώντας πιλοτικά προγράμματα.

Η λίστα των "δοκιμαστικών πόλεων 5G" είναι αρκετά μεγάλη και περιλαμβάνει το Άμστερνταμ, το Αβέιρο, τη Βαρκελώνη, το Μπάρι, το Βερολίνο, το Μπρίστολ, το Έσποο, τη Γάνδη, την Λ' Άκουιλα, το Λονδίνο, τη Μαδρίτη, τη Μάλαγα, τη Ματέρα, το Μιλάνο, το Ουλού και το Τορίνο. Αυτές οι πόλεις στοχεύουν στην παροχή υποστήριξης για διάφορες παρουσιάσεις τεχνολογίας και υπηρεσιών που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής φάσης 5G. Επίσης, παρέχουν πολύτιμες περιπτώσεις κάθετης χρήσης, όσον αφορά την έννοια του Smart City με δοκιμές σε περιβάλλοντα πραγματικών χρηστών. Οι οντότητες του δημόσιου τομέα, όπως οι πόλεις, έχουν συνήθως διαφορετικούς στόχους από τον ιδιωτικό τομέα, ακόμη και σε παρόμοιες περιπτώσεις χρήσης - π.χ. όταν εστιάζουμε στην ηλεκτρονική υγεία, την ενέργεια, τις μεταφορές, τα έξυπνα κτίρια ή τις ψηφιακές υπηρεσίες. Σε όλους αυτούς τους τομείς, οι διαμοιραζόμενες τεχνολογικές πλατφόρμες, η ελεύθερη πρόσβαση, τα ανοιχτά δεδομένα και οι διεπαφές, καθώς και η μέγιστη συμμετοχή των τοπικών οικοσυστημάτων και κατοίκων αποτελούν κοινούς πρωταρχικούς στόχους, [13].

3.5.1 Βαρκελώνη

Για παράδειγμα, η πόλη της Βαρκελώνης έχει ως στόχο να ξεπεράσει την απλή έννοια της "έξυπνης πόλης" και να αναπτύξει ένα πρόγραμμα που θα ενσωματώνει και θα συντονίζει τις τοπικές πρωτοβουλίες, προκειμένου να επιτευχθεί ένας πραγματικά ψηφιακός μετασχηματισμός των υπηρεσιών που παρέχει η πόλη στους πολίτες της. Πιο συγκεκριμένα, το 5G θα λειτουργήσει ως έναυσμα για τεχνολογική αλλαγή και δημιουργία σε έξυπνα περιβάλλοντα αλλά και σε προηγμένες βιομηχανίες που εξυπηρετούν τους δημόσιους και οικονομικούς τομείς. Η ιδέα είναι να διευκολυνθεί η πρόσβαση στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), ανοίγοντας το δρόμο για μια νέα γενιά πρωτοποριακών υπηρεσιών, όπως μηχανοκίνητα και συνδεδεμένα οχήματα, υπηρεσίες βασισμένες σε drones, βιομηχανία 4.0 και υπηρεσίες απομακρυσμένης ηλεκτρονικής υγείας, υπηρεσίες που όλες βελτιώνουν την εμπειρία των χρηστών. Η ανάπτυξη του 5G θα επιφέρει έναν τεχνολογικό μετασχηματισμό στις υπηρεσίες και τις υποδομές, θα μειώσει το ψηφιακό χάσμα και θα δημιουργήσει ευκαιρίες για τις νέες γενιές.

Η πρωτοβουλία αυτή θα καταστεί λειτουργική, μέσω μιας ανοιχτής πειραματικής μητροπολιτικής περιοχής που θα λειτουργεί ως αστικό, δημόσιο και τεχνολογικό εργαστήριο για τον έλεγχο της τεχνολογίας και των υπηρεσιών 5G. Αυτό το ανοιχτό και καινοτόμο περιβάλλον θα βασίζεται σε δημόσιες και ιδιωτικές συνεργασίες. Ιδιαίτερα θα κάνει συνεργασίες με το οικοσύστημα που δημιουργήθηκε από το Παγκόσμιο Συνέδριο Κινητής Τηλεφωνίας (Mobile World Congress - MWC) και τις υπόλοιπες εκθέσεις τεχνολογίας που πραγματοποιήθηκαν στη Βαρκελώνη. Η Βαρκελώνη ξεκίνησε

πρόσφατα τη "στρατηγική 5G της Βαρκελώνης" με στόχο τη διευκόλυνση δοκιμών και εφαρμογή πιλοτικών εφαρμογών σε όλη την πόλη, για να γίνει μια έξυπνη πόλη 5G.

Στο πλαίσιο των επόμενων σταδίων του προγράμματος 5G-PPP, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα επιλέξει λίγα έργα φέτος, τα οποία αποσκοπούν στη δημιουργία χώρων δοκιμών και ελέγχου του 5G, και το 5GBarcelona θέλει να είναι ένας από αυτά. Η Βαρκελώνη λειτουργεί ήδη ως μια δημόσια δοκιμαστική πλατφόρμα για το νέο μοντέλο 5G μέσω του έργου 5GCity. Το Συμβούλιο της Βαρκελώνης, το i2CAT, το Betevé, το CellNex και άλλοι συμμετέχουν σε αυτή την πρωτοβουλία, για την ανάπτυξη ενός πιλοτικού σχεδίου που θα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός ουδέτερου δικτύου 5G, [14].

3.5.2 Βερολίνο

Η πόλη του Βερολίνου στοχεύει στην τόνωση της έρευνας και της ανάπτυξης τεχνολογιών 5G και ένας από τους κύριους στρατηγικούς στόχους της πόλης είναι να δημιουργήσει ένα περιβάλλον με τεχνολογική υποδομή που θα επιτρέψει με καινοτόμο τρόπο μια εμπειρία 5G στους δρόμους του Βερολίνου. Μια διαφορετική επίδειξη πλατφόρμας 5G σε συνδυασμό με δορυφορικές υπηρεσίες, έγινε από την ESA (European Space Agency) το Νοέμβριο του 2018 στο Βερολίνο, καθώς μια έξυπνη διάταξη ευρωπαϊκών διαστημικών και επίγειων κόμβων έδειξε πλήθος τρόπων με τους οποίους μπορεί να βοηθήσει τη σύνδεση των συσκευών στο IoT.

Ο σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να αποδείξει ότι το διάστημα μπορεί να αναπτύξει υπηρεσίες 5G οπουδήποτε στη Γη, ανεξάρτητα από το πόσο απομονωμένη είναι η περιοχή ή η κινητή εφαρμογή. Περιλάμβανε δύο παρουσιάσεις ενεργοποιητών για πολλαπλά τεμάχια, με κόμβους συνδεδεμένους δορυφορικά από άκρη σε άκρη με 5G. Η πρώτη αφορούσε τη συνδεσιμότητα 5G σε κίνηση με ένα φορητό με εξοπλισμό satcom, που δείχνει πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές όπως η ηλεκτρονική υγεία, η ταχεία αντίδραση έκτακτης ανάγκης και οι προσωρινές εφαρμογές για δημόσιες εκδηλώσεις. Η δεύτερη ήταν η "παράδοση στο άκρο" περιεχομένου μέσω ενός σταθερού, δικτύου επεκτεινόμενο από δορυφόρους. Και οι δύο παρουσιάσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της εβδομάδας του Βερολίνου 5G στο Fraunhofer FOKUS χρησιμοποιώντας μια διαμοιρασμένη ζωντανή πλατφόρμα επίδειξης που ονομάζεται SATis5.

Η Δοκιμαστική Μονάδα SATis5 περιλαμβάνει σταθερούς "κόμβους" του εξοπλισμού δρομολόγησης 5G που χρηματοδοτείται από την ESA στη Γερμανία, την Ιρλανδία και το Λουξεμβούργο, έναν "φορητό" κόμβο όπως το φορητό και το σύνολο των γεωστατικών και μεσαίων δορυφόρων SES, παράλληλα παρέχοντας δορυφορικό 5G και κυψελοειδείς επιλογές συνδεσιμότητας. Οι συμμετέχοντες παρακολουθούσαν καθώς οι χειριστές του SATis5 έδειξαν δεδομένα από πέντε αισθητήρες σε μια οθόνη, που αντιστοιχούσαν σε ενεργές συσκευές όπως το τηλέφωνο, ένα φορητό αντικείμενο, το αυτοκίνητο ή ένα σταθερό συγκεντρωτή αισθητήρων IoT. Όλα αυτά συνδέονται και ανταλλάσσουν πληροφορίες καθώς δρομολογούνται μέσω του δικτύου εδάφους - διαστήματος στο δίκτυο 5G του Fraunhofer· μια ειδική υποδομή δοκιμών 5G. Το SATis5 αναπτύσσεται στο πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ της ESA και μιας ευρωπαϊκής κοινοπραξίας που ξεκίνησε από την Eurescom, με τις εταιρείες Fraunhofer-FOKUS, Fraunhofer-IIS, SES, Newtec GmbH, VT iDirect, το Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Βερολίνου και το Πανεπιστήμιο του Bundeswehr.

Το έργο αυτό αποτελεί μέρος των προσπαθειών της ESA να παρουσιάσει την αξία των δορυφόρων στο μελλοντικό περιβάλλον 5G, στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Satellite for 5G. Το 5G είναι κάτι περισσότερο από την επόμενη γενιά κινητών υπηρεσιών: δε θα

είναι μόνο ταχύτερο από τις τρέχουσες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, αλλά θα μπορεί επίσης να συνδέει αξιόπιστα άτομα και συσκευές οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε με αυξημένη ασφάλεια. Ένα πραγματικά παγκόσμιο, δίκτυο πρέπει να φτάσει σε κάθε μέρος του κόσμου, κάτι που ωστόσο, τα σημερινά επίγεια μέσα δεν το κάνουν. Για αυτό το λόγο χρειαζόμαστε και τους δορυφόρους. Για παράδειγμα, θα χρειαστεί η βοήθεια του διαστήματος για τη σύνδεση των μελλοντικών δικτύων IoT, όπως αποδείχθηκε στο Βερολίνο.

Κατά τη διάρκεια του 2019, η πλατφόρμα θα προσομοιώνει διαφορετικά σενάρια στα οποία οι δορυφόροι μπορούν να εξυπηρετήσουν το 5G, όπως η ευρυζωνική σύνδεση σε απομακρυσμένες περιοχές, η μαζική επικοινωνία μεταξύ μηχανής/ IoT, οι επικοινωνίες εν κινήσει και η ρύθμιση της υψηλής κίνησης.

Για όλες τις περιπτώσεις, η πλατφόρμα δοκιμών σχεδιάζει να δείξει ότι ένα ολοκληρωμένο δορυφορικό και επίγειο δίκτυο μπορεί να συμπληρώνει το ένα το άλλο ώστε να προσφέρει μεγαλύτερη εμβέλεια, αξιοπιστία, χωρητικότητα και ασφάλεια. Το SATIS5 θα συνεχίσει να εκτελεί πειράματα μέχρι το τέλος του 2019, ενώ μετά το πέρας του, η δοκιμαστική πλατφόρμα θα παραμείνει λειτουργική και θα μπορούσε να διατεθεί σε άλλες επιδείξεις δορυφορικών υπηρεσιών 5G που χρηματοδοτούνται από την ESA.

Ωστόσο, στο Βερολίνο, οι δοκιμαστικές πλατφόρμες δεν περιορίστηκαν μόνο στο συνδυασμό με τις δορυφορικές επικοινωνίες, αλλά και εφαρμόστηκαν και στο αστικό περιβάλλον, π.χ. τα φώτα του δρόμου έχουν 5G τεχνολογία (millimeter wave) και είναι δικτυωμένα, [15].

3.5.3 Πάτρα

Ομοίως, ο Δήμος Πατρών εργάζεται για να οργανώσει, να μετασχηματίσει και τελικά να επεκτείνει την τρέχουσα ψηφιακή του υποδομή σε μια ανοιχτή πλατφόρμα που θα διασυνδέει τις τεχνολογίες που σχετίζονται με το 5G. Αυτός ο ψηφιακός μετασχηματισμός επιδιώκει επίσης να αντιμετωπίσει τα ζητήματα της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης της πόλης και να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των πολιτών της.

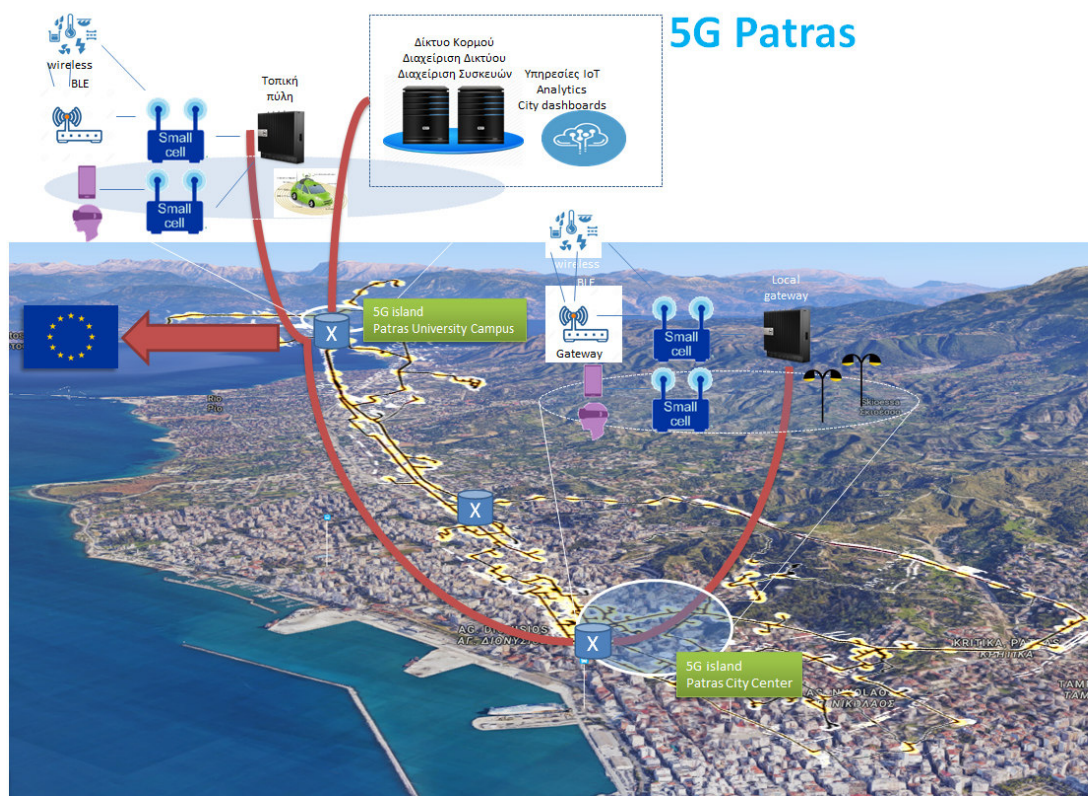
Πιο συγκεκριμένα, η πόλη της Πάτρας έχει αναπτύξει ένα σχέδιο ψηφιακής στρατηγικής "Πάτρα – Έξυπνη Πόλη", το οποίο στοχεύει να μετατρέψει την Πάτρα σε μια έξυπνη πόλη. Αυτό το σχέδιο έχει 4 κύριους στόχους:

- Υποστήριξη καινοτόμων πρωτοβουλιών για τη δημιουργία βιώσιμων γειτονιών.
- Εξασφάλιση ενεργούς συμμετοχής των πολιτών και των ενδιαφερόμενων μερών.
- Μετατροπή της πόλης της Πάτρας σε μια οικολογικά αποδοτική, ενεργειακά αυτοδύναμη, πλήρως διασυνδεδεμένη πόλη χωρίς εκπομπές ρύπων.
- Χρήση τεχνολογίας για τη βελτίωση της καθημερινής ζωής και της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Το σχέδιο έχει θέσει τις προτεραιότητές του με βάση εννέα άξονες: φυσικό και δομημένο περιβάλλον, εξοικονόμηση ενέργειας, ΤΠΕ και ηλεκτρονική διακυβέρνηση, κινητικότητα και μεταφορές, διαχείριση των υδάτων και των αποβλήτων, υγεία και πρόνοια, αθλητισμός και εκπαίδευση, επιχειρηματικότητα, τουρισμός και πολιτισμός. Η περιοχή της Πάτρας διαθέτει ένα πολύ μορφωμένο εργατικό δυναμικό αποτελούμενο από επιστήμονες, μηχανικούς και προγραμματιστές. Γι' αυτό το λόγο, στην Πάτρα ακμάζει μια ευρεία κοινότητα νεοσύστατων επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται κυρίως στον τομέα της αεροδιαστημικής, της βιοτεχνολογίας, του σύννεφου και των κινητών εφαρμογών.

Ταυτόχρονα, στην Πάτρα αναπτύσσεται μια υποδομή 5G, που κυμαίνεται σε όλο το εύρος της πόλης, με στόχο να υποστηρίξει τις startups, αλλά και τις κοινότητες που την απαρτίζουν. Σε αυτό το πλαίσιο, η Cosmote, ο κυρίαρχος πάροχος δικτύων και υπηρεσιών στην Ελλάδα, σε συνεργασία με την Huawei, εφαρμόζει ένα από τα πρώτα Narrow - Band IoT στην ΕΕ, τα οποία αργότερα θα επιτρέπουν πρόσθετες καινοτομίες όπως το Smart Parking και το Smart Lighting.

Η πόλη διαθέτει πολλούς συμβουλευτικούς οργανισμούς και κόμβους καινοτομίας για επιχειρήσεις και startups, όπως: το Corallia, το Επιστημονικό Πάρκο Πάτρας, το "Patras Smart Cities Innovation Hub", η Ένωση Τεχνολογικών Επιχειρήσεων Δυτικής Ελλάδας, που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ψηφιακής τεχνολογίας, της καινοτομίας και της τεχνολογίας. Εδώ και 4 χρόνια, γίνεται κάθε χρόνο έκθεση για την καινοτομία (Patras Innovation Quest), που στοχεύει στην ανάπτυξη και ενίσχυση της συνεργασίας της ερευνητικής κοινότητας στην Πάτρα. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ένα ενδεικτικό μελλοντικό σχέδιο πώς θα μπορούσε να γίνει εγκατάσταση βασικής ψηφιακής υποδομής, η οποία θα είναι ανοιχτή για όλους τους ερευνητές και τις καινοτόμες μικρομεσαίες επιχειρήσεις, [16].



Εικόνα 16: Πρωτοβουλία 5G Patras.

3.5.4 Ουλού

Η πόλη του Ουλού αντιμετωπίζει την πρόκληση του εκσυγχρονισμού της δημοτικής διακυβέρνησης, που οδηγεί στην ψηφιοποίηση, στην αυτοματοποίηση και ρομποτικοποίηση της παροχής δημόσιων υπηρεσιών, ενάντια στις περικοπές του δημόσιου προϋπολογισμού. Μία από τις κύριες στρατηγικές προτεραιότητες είναι η ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης με γνώμονα την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα της τοπικής οικονομίας και των επιχειρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργηθούν ευκαιρίες απασχόλησης για τους κατοίκους του Ουλού και έτσι θα εξασφαλιστεί ένα βιώσιμο και υγιές περιβάλλον διαβίωσης. Η δημιουργία ευρυζωνικής

σύνδεσης και η παροχή ενός δωρεάν τοπικού δικτύου υπηρεσιών 5G για δοκιμές κινητής τηλεφωνίας βασισμένες στο IoT, είναι τα πρώτα βήματα προς την υιοθέτηση τεχνολογιών 5G από τους πολίτες και την κυβέρνηση. Επίσης, η πόλη επικεντρώνεται σε δοκιμές κινητών υπηρεσιών και καθιστά διαθέσιμες πληροφορίες όπως τα δεδομένα των φαναριών κίνησης ως ανοιχτά αρχεία δεδομένων για την ανάπτυξη σχετικών υπηρεσιών.

Πιο συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός του δικτύου 5G παρέχεται από τη Nokia και χρησιμοποιείται από κοινού από τη Nokia και τις πανεπιστημιακές ομάδες. Η ανοικτή σύνδεση 5G παρέχεται τώρα ως μέρος του οικοσυστήματος δικτύου δοκιμών 5G της Φινλανδίας, το οποίο αποτελεί μέρος του δικτύου Ουλού. Τα εμπορικά τερματικά θα είναι διαθέσιμα φέτος, τα δίκτυα των παρόχων θα επεκταθούν και οι υπηρεσίες θα εξελιχθούν πιο γρήγορα. *"Ήταν υπέροχο να δούμε ότι η ενσωμάτωση του 5G στο ίδιο δίκτυο με το 4G ήταν μια επιτυχία. Τώρα είναι πιο εύκολο να προσφέρουμε τη σύνδεση 5G στα πλαίσια των αναγκών των διαφόρων ερευνητικών έργων ή εταιρειών. Αυτό είναι ένα σημαντικό ορόσημο για τα φινλανδικά δοκιμαστικά δίκτυα 5G"*, λέει ο Olli Liinamaa, ο υπεύθυνος δοκιμών δικτύου στο πανεπιστήμιο του Ουλού, [17].

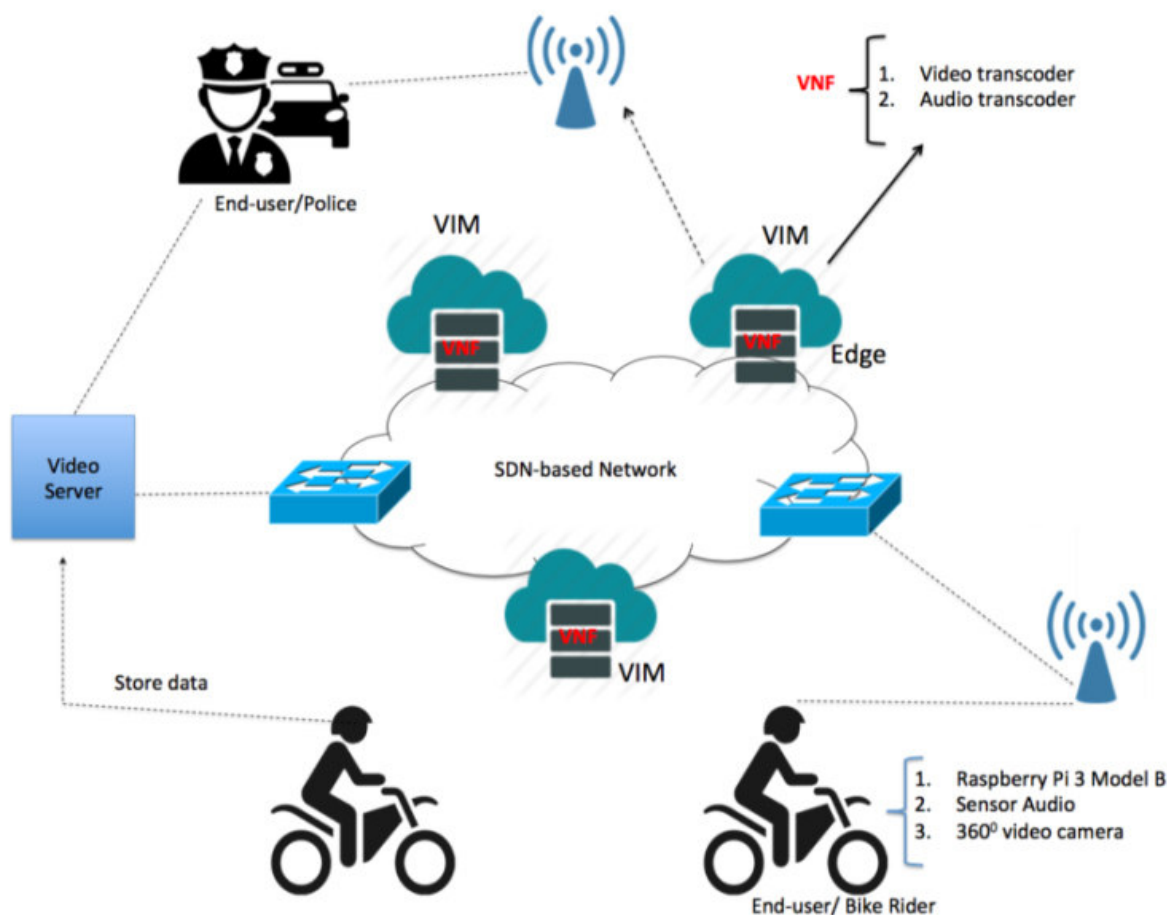
3.5.5 Μπρίστολ

Ως ένας από τους κύριους βρετανικούς κόμβους 5G σταθμών, η πόλη του Μπρίστολ, μαζί με το Πανεπιστήμιο του Μπρίστολ, επιδιώκει να παρουσιάσει τις 5G τεχνολογίες στο κοινό. Ο πρωταρχικός στόχος του Μπρίστολ ήταν να δείξει τις δυνατότητες του 5G και να διαμορφώσει το μέλλον της κοινωνικής αλληλεπίδρασης, της διασκέδασης, του πολεοδομικού σχεδιασμού και της δημόσιας ασφάλειας. Μαζί, το Bristol και το Bath θα προσφέρουν βελτιωμένες οπτικές εμπειρίες για τους τουρίστες, χρησιμοποιώντας την επαυξημένη εικονική πραγματικότητα σε σημαντικά τοπικά αξιοθέατα, στο πλαίσιο του προγράμματος Smart Tourism 5G, για το οποίο δόθηκαν 5 εκατομμύρια αγγλικές λίρες το Μάρτιο του 2018.

Ένας άλλος τομέας των έξυπνων πόλεων στον οποίο εστίασε το Πανεπιστήμιο του Μπρίστολ, είναι η ασφάλεια. Δεδομένης της κρίσιμης σημασίας της ασφάλειας στις πόλεις, η καινοτόμος πρόοδος στο σύστημα ασύρματων επικοινωνιών βελτιώνει όλο και περισσότερο την ασφάλεια των κατοίκων της πόλης. Οι νέες υπηρεσίες, όπως η παρακολούθηση ήχου και εικόνας των δημόσιων χώρων και η αυτοματοποιημένη ανίχνευση παραβίασης των δημοτικών αρχών, επιτρέπουν την ταχύτερη αντίδραση σε απειλές και ανωμαλίες, προκειμένου να αποφευχθεί η επανεμφάνιση τέτοιων φαινομένων. Το Πανεπιστήμιο του Μπρίστολ έχει αναπτύξει μια περίπτωση χρήσης "Smart City Safety". Τα βασικά στοιχεία αυτής της περιπτώσιολογικής μελέτης παρατίθενται παρακάτω και συνδέονται στο Διαδίκτυο μέσω μιας διεπαφής WiFi:

- Ποδηλατικό κράνος
- Υλικό και λογισμικό Raspberry Pi
- Κάμερα 360 μοιρών με ήχο

Η Εικόνα 17 δείχνει μια αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου της περίπτωσης χρήσης της ασφάλειας της έξυπνης πόλης. Ο ποδηλάτης φέρει το κράνος του, στο οποίο συνδέεται το Raspberry Pi με κάμερα 360 μοιρών. Η διαδρομή του ποδηλάτη καταγράφεται με βίντεο και ήχο και αποστέλλεται μέσω WiFi στο MEC ή στο σύννεφο, για επεξεργασία. Αφού γίνει η επεξεργασία του ήχου και του βίντεο και εντοπιστεί ύποπτη δραστηριότητα, δημιουργείται ένα μήνυμα ειδοποίησης και αποστέλλεται σε διαφορετικούς πράκτορες ασφαλείας.



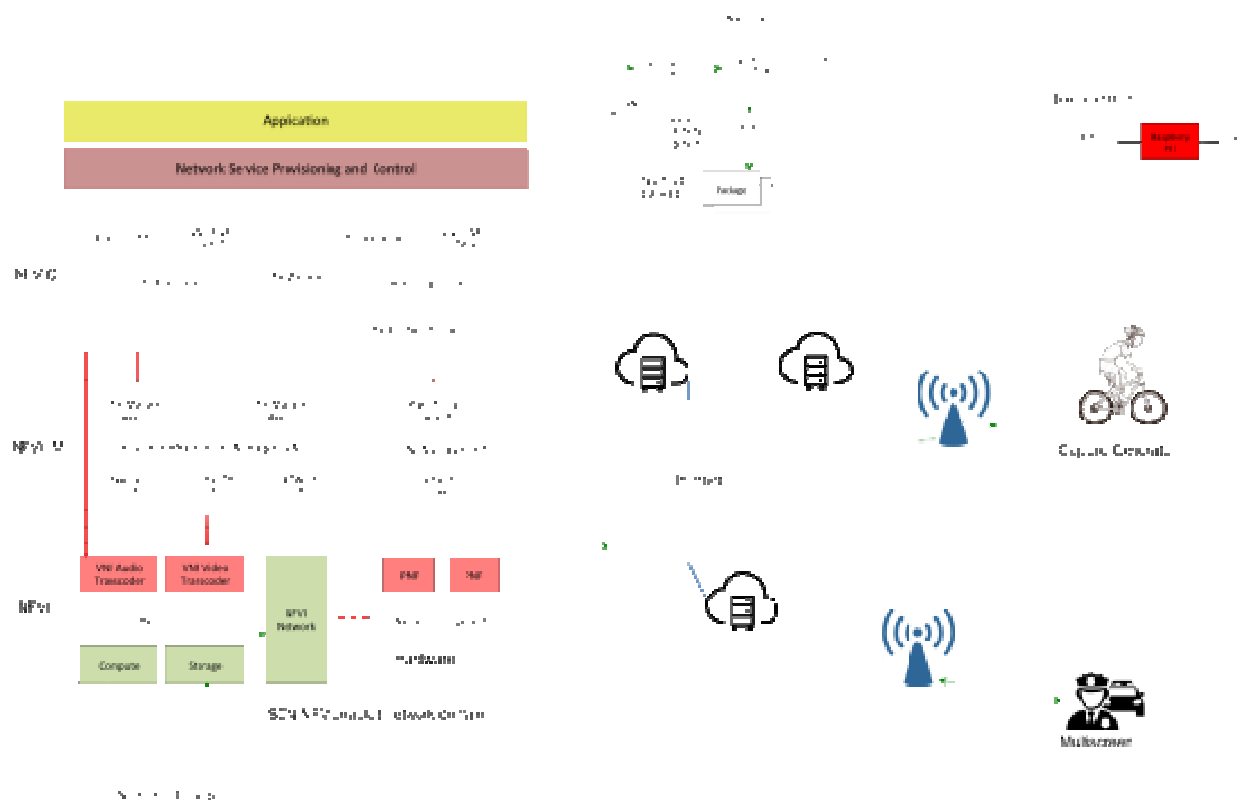
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική έξυπνης πόλης για την περίπτωση χρήσης της ασφάλειας.

Πολλοί από τους σημερινούς δήμους κάνουν δοκιμές στα πλαίσια πειραματισμού έξυπνων πόλεων, σε τομείς που ποικίλουν, όπως από τη στάθμευση μέχρι την επεξεργασία νερού και την αστική ασφάλεια. Το Πανεπιστήμιο του Μπρίστολ εργάζεται για να παρέχει, μέσω της πλατφόρμας 5GinFIRE, μια έξυπνη περίπτωση ασφάλειας πόλης που έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που φαίνεται στην Εικόνα 18.

Η Εικόνα 18 δείχνει τις κύριες δομικές μονάδες που καθιστούν την περίπτωση χρήσης για την ασφάλεια στην έξυπνη πόλη πραγματικότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούνται προγράμματα ανοιχτού κώδικα (OpenStack, OpenDayLight, κλπ.) για την ανάπτυξη της μελέτης περιπτώσεων. Για την επεξεργασία βίντεο χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικές τεχνολογίες:

- 1) Εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου: ένας οπτικός κωδικοποιητής βίντεο (VNF). Αυτό σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στην υποδομή εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου του Bristol (Network Function Virtualisation Infrastructure - NFVI).
- 2) Machine Learning: Πρόγραμμα ανίχνευσης προσώπου που έχει προσομοιωθεί και αναπτύχθηκε στο NFVI.

Ο μετασχηματιστής βίντεο VNF και το πρόγραμμα ανίχνευσης προσώπου μπορούν να μετακινηθούν κατά μήκος του δικτύου και στο απομακρυσμένο σύννεφο για να βελτιωθεί ο χρόνος απόκρισης. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η διαδικασία αναγνώρισης προσώπου, ο μετασχηματιστής ήχου και η αναγνώριση ήχου βρίσκονται στο στάδιο της σχεδίασης και η σταδιακή εφαρμογή μιας υπηρεσίας Smart City Safety βρίσκεται όλο και πιο κοντά στο να γίνει πραγματικότητα, [18].



Εικόνα 18: Δομικά στοιχεία που συνεισφέρουν στην ασφάλεια της έξυπνης πόλης.

3.6 Διάθεση φάσματος από τις δημόσιες αρχές

Οι καινούριες ζώνες 5G που προσδιορίζονται σε επίπεδο ΕΕ είναι οι συχνότητες 700MHz, 3.6GHz (3.4 - 3.8GHz) και 26GHz (24.25 – 27.5GHz). Ενώ η ζώνη των 700MHz έχει εναρμονιστεί με την απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2016 (687) της 28ης Απριλίου 2016, τον Ιανουάριο του 2019 υιοθετήθηκε η απόφαση για τη συχνότητα των 3.6GHz για χρήση στο 5G. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ετοιμάζεται να εγκρίνει και τη ζώνη των 26GHz το πρώτο τρίμηνο του 2019.

Τα κράτη μέλη έχουν υιοθετήσει μια κοινή προθεσμία για την αποτελεσματική χρήση του καινούριου φάσματος στον Ευρωπαϊκό Κώδικα Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών, δηλαδή τη ζώνη 3.6GHz και τουλάχιστον 1GHz εντός της ζώνης των 26GHz, σε όλα τα κράτη μέλη μέχρι το τέλος του 2020.

Όλα τα κράτη μέλη έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για σημαντικό εναρμονισμένο φάσμα για το 5G. Οι εργασίες συνεχίζονται και η επισκόπηση της προόδου προς την κατεύθυνση της διάθεσης του ραδιοφάσματος στο 5G παρουσιάζει διάφορα στάδια, [35].

3.6.1 Επισκόπηση της διαδικασίας ανάθεσης φάσματος

Τουλάχιστον μια δημοπρασία έχει ολοκληρωθεί ή είναι σε εξέλιξη για μία από τις τρεις συχνότητες μέχρι το Μάρτιο του 2019. Σε δεκατρία κράτη μέλη διεξάγεται τουλάχιστον μία δημοπρασία ραδιοφάσματος μέχρι το τέλος Μαρτίου 2019. Η σουηδική δημοπρασία για συχνότητες 700MHz πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2018. Η ζώνη των 700MHz έχει εκχωρηθεί σε έξι κράτη μέλη: Γερμανία (2015), Γαλλία (2015), Φινλανδία (Νοέμβριος 2016), Ιταλία (Οκτώβριος 2018), Σουηδία (Δεκέμβριος 2018) και Δανία (Μάρτιος 2019).

Η ακόλουθη λίστα παρουσιάζει τα κράτη μέλη που έχουν εκχωρήσει φάσμα 3.6GHz, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τις τεχνικές συνθήκες 5G, [35]:

- Αυστρία τον Μάρτιο του 2019
- Τσεχική Δημοκρατία: 3.6 - 3.8GHz το 2017
- Φινλανδία: 3.4 - 3.8GHz (390MHz), Σεπτέμβριος 2018
- Ουγγαρία: 3.4 - 3.8GHz (90MHz), 2016
- Ιρλανδία: 3.6 - 3.8GHz (360MHz), Μάιος 2017
- Ιταλία: 3.6 - 3.8GHz (200MHz), Σεπτέμβριος/ Οκτώβριος 2018
- Λετονία: 3.4 - 3.8GHz (400MHz) τον Νοέμβριο του 2017 και τον Σεπτέμβριο του 2018
- Ισπανία: 3.4 - 3.6 GHz (160MHz), 2016 και 3.6 - 3.8GHz (200MHz), Ιούλιος 2018
- Ηνωμένο Βασίλειο: 3.4 - 3.6GHz (150MHz), Απρίλιος 2018

Στις ζώνες mm - wave, μόνο η Ιταλία έχει μέχρι στιγμής αποδώσει φάσμα στη ζώνη των 26GHz.

Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία δημοπρασίας σε τουλάχιστον μία ζώνη φάσματος προγραμματίζεται για το 2019 σε δεκατέσσερα κράτη μέλη, [35]:

- Αυστρία: 3.4 - 3.8GHz, 190MHz σε 3.4 - 3.6GHz και 200MHz σε 3.6 - 3.8GHz, Μάρτιος 2019
- Βέλγιο, 700MHz το Q3 - Q4 2019, 3.6 - 3.8GHz το Q3 - Q4 2019, 400MHz το 2019, 1.5GHz το 2019
- Τσεχική Δημοκρατία, 700MHz και 3.5GHz το 2019
- Εσθονία, 3.6GHz, το Q2 2019
- Γαλλία, 3.6 - 3.8GHz, το Q4 2019
- Γερμανία, 2GHz/ 3.4 - 3.8GHz Μάρτιος/ Απρίλιος 2019
- Ελλάδα, 3.4 - 3.8GHz, Q4 2019. Οι δημόσιες διαβουλεύσεις σχετικά με τη ζώνη 3.6GHz θα πρέπει να πραγματοποιηθούν το 2019 και 26GHz το 2019/ 2020.
- Ουγγαρία, 700MHz/ 3.5GHz, το Q3 2019
- Ιρλανδία, 700MHz, 2019
- Λουξεμβούργο, 700MHz και 3.6GHz, 2019
- Ολλανδία, 700/ 1400/ 2100MHz, τέλη 2019. 700MHz τέλος 2019 ή αρχές 2020
- Λιθουανία, 3.8GHz, 2019
- Πορτογαλία, 700MHz, το Q4 2019
- Ρουμανία, 700MHz και 3.6GHz, 2019

Οι δημοπρασίες φάσματος προγραμματίζονται από το 2020, [35]:

- Δανία, 700MHz, 2020 (2x30MHz + 20MHz σε συχνότητες 700MHz, 2x30MHz σε συχνότητες 800 - 900MHz, συχνότητες 100MHz σε συχνότητες 2300 - 2400MHz, αρχικά προγραμματισμένες τον Σεπτέμβριο του 2018, αναβλήθηκαν). Η ζώνη των 3.5GHz θα δημοπρατηθεί από το 2020, και στη συνέχεια η ζώνη των 26GHz.
- Φινλανδία, 26GHz, άνοιξη 2020

- Γαλλία, 26GHz, 2020
- Λιθουανία, 700MHz πριν από το 2022
- Μάλτα, 700MHz, μέσα 2021
- Πολωνία, 700MHz, 2020
- Σλοβακία, 26GHz, μετά τις 7 Ιουλίου 2021
- Ισπανία, 700MHz, 1ο τρίμηνο του 2020
- Ηνωμένο Βασίλειο, 3.6 - 3.8GHz, 2020

3.6.2 Επιτρέποντας τη χρήση φάσματος για το 5G

Η δυνατότητα χρήσης φάσματος σε χαμηλές, μεσαίες και υψηλές ζώνες είναι σημαντικό χαρακτηριστικό για το 5G. Η αποτελεσματική χρησιμότητα του ραδιοφάσματος θα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη θέση των κρατών μελών της ΕΕ ως προς το 5G.

Το φάσμα μέσης ζώνης ορίζεται ως το βασικό επίπεδο χωρητικότητας, λόγω της ευελιξίας για πολλές περιπτώσεις χρήσης με υψηλή ρυθμαπόδοση, του ευρύτερου φάσματος και της πιθανής ανανέωσης του από το LTE. Η ζώνη 3.4 - 3.8GHz είναι η κύρια ζώνη στην Ευρώπη που είναι διαθέσιμη από νωρίς.

Το φάσμα υψηλών συχνοτήτων είναι γνωστό ως επίπεδο εξαιρετικής χωρητικότητας με μεγάλο φάσμα που είναι πιθανό να διατεθεί για πολύ υψηλή χωρητικότητα, πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, αλλά για περιορισμένη κάλυψη, μερικώς αντισταθμισμένη από το massive MIMO. Η ζώνη των 26GHz (24.25 - 27.5GHz) είναι η καινούρια υψηλή συχνότητα για 5G στην Ευρώπη.

Η Ιταλία ήταν το πρώτο κράτος μέλος που επέτρεψε τη χρήση του ραδιοφάσματος για 5G σε όλες τις καινούριες ζώνες τον Σεπτέμβριο του 2018, [35].

4. ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ (EVOLUTION AND REVOLUTION)

4.1 Εξέλιξη και Επανάσταση (Evolution and Revolution)

Σύμφωνα με την [1], υπάρχει το ρητό ότι "η καλύτερη πρόβλεψη του μέλλοντος γίνεται καλύτερα εκ των υστέρων". Παρόλα αυτά, η διερεύνηση του τι μπορεί να φέρει το μέλλον παραμένει καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή διαχείριση μιας επιχείρησης. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη να διερευνηθεί το μέλλον για τη διαχείριση επιτυχημένων κανόνων και πολιτικών, παρουσιάζοντας δύο αντίθετες εικόνες όσον αφορά τη χρονική περίοδο 2020-2025. Αυτές οι δύο όψεις αντιπροσωπεύουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις σεναρίων ως προς το ευρύτερο φάσμα μελλοντικών εφαρμογών του 5G. Το μέλλον μπορεί να εξελιχθεί ως ένας συνδυασμός αυτών των δύο εικόνων που μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο και τον τόπο. Οι δύο εικόνες αναδεικνύονται για να δοθεί έμφαση στο φάσμα των προκλήσεων του 5G που πιθανόν να χρειαστεί να αντιμετωπιστούν και να δοθεί έμφαση στις βασικές βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες επιλογές σχετικά με τη ρύθμιση πολιτικών και κανόνων που πρέπει να εφαρμοστούν για να εξασφαλιστεί η επιτυχής ανάπτυξη και αλλά και η ανάπτυξη του 5G στην Ευρώπη.

Οι εικόνες αυτές ονομάζονται "Εξέλιξη" και "Επανάσταση". Αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα μια συνέχεια της πορείας ανάπτυξης των κινητών επικοινωνιών, καθώς επηρεάζεται από την ανάπτυξη των προηγούμενων γενεών, δηλαδή 1G έως 4G, αλλά και από νέες τεχνολογίες, δηλαδή της εικονικοποίησης των δικτύων επικοινωνιών. Η αντίθεση μεταξύ των εικόνων βρίσκεται στις δύο διαφορετικές βιομηχανικές δομές που εκπροσωπούν. Από τη μία πλευρά, η συνέχιση μιας δομής ολιγοπωλιακής αγοράς των ήδη υπάρχοντων παρόχων δικτύου και υπηρεσιών και, αφετέρου, μιας αγοράς που καθοδηγείται από ένα ευρύ φάσμα εταιρειών που ειδικεύονται στην εξυπηρέτηση των απαιτήσεων διαφορετικών (κάθετων) αγορών μέσω εφαρμογών που εκτελούνται σε υποδομές δικτύων ανοικτής πρόσβασης, παρέχοντας άφογη εξυπηρέτηση σε τοπικό επίπεδο.

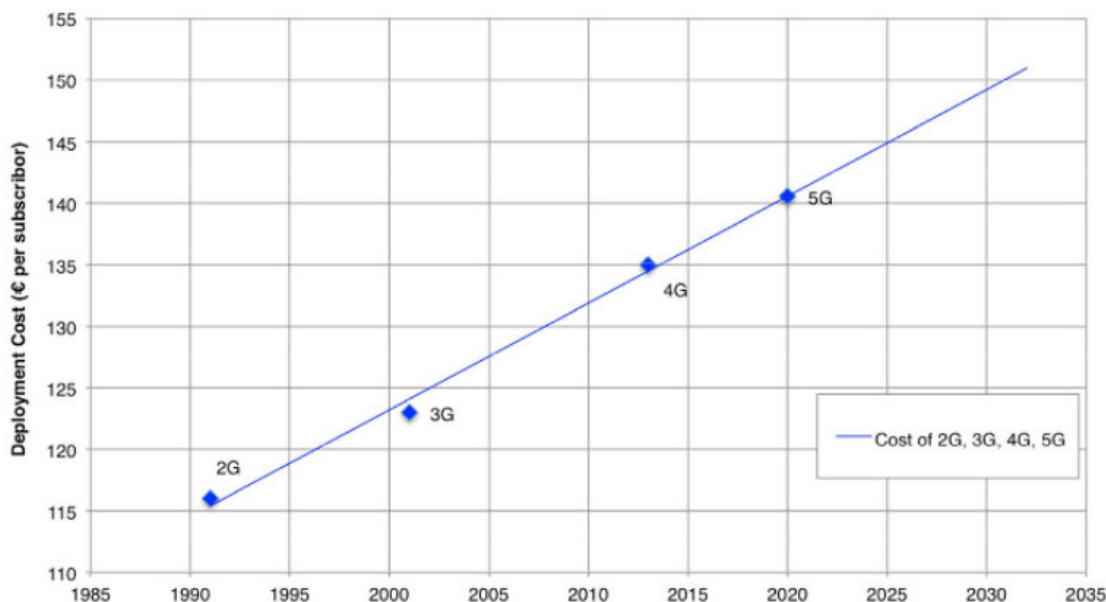
4.2 Η εικόνα της "εξέλιξης"

Στην εικόνα της "Εξέλιξης" οι ρυθμιστικοί κανόνες και οι τάσεις που παρατηρούνται από τις προηγούμενες γενιές κινητής επικοινωνίας, δηλαδή τις 1G έως 4G, θεωρούνται οι κύριοι παράγοντες που θα καθορίσουν το μέλλον του 5G. Οι ήδη υπάρχοντες πάροχοι θεωρούν το φάσμα, τα ενεργά τμήματα του δικτύου και τις πελατειακές σχέσεις ως το βασικό στρατηγικό κεφάλαιο - ενώ η παθητική υποδομή (πχ. πύργοι) πωλείται και εκμισθώνεται αλλά και συντηρείται όλο και περισσότερο από τρίτα μέρη. Παρέχει ευκαιρίες για κάθετη ολοκλήρωση δικτύων και υπηρεσιών και, γι' αυτό το λόγο, τη διαφοροποίηση από τους επονομαζόμενους Over the Top (OTT) παρόχους υπηρεσιών (π.χ. YouTube, Netflix κ.ά.). Οι ήδη υπάρχοντες πάροχοι αναπτύσσουν νέες τεχνολογίες για να ενισχύσουν τη θέση τους απέναντι στους ανταγωνιστές αλλά και να υποστηρίξουν τη σχέση με τους πελάτες τους. Βασική παραδοχή στη συγκεκριμένη εικόνα είναι ότι η κύρια δραστηριότητα των παρόχων κινητής τηλεφωνίας συνεχίζει να είναι η εξυπηρέτηση της αγοράς των καταναλωτών.

4.2.1 Προσδοκόμενα αποτελέσματα

Στην εικόνα της "Εξέλιξης" κυρίαρχο ρόλο έχουν οι υπάρχοντες πάροχοι κινητής τηλεφωνίας. Δεδομένης της ανταγωνιστικής αγοράς και των καταναλωτών που έχουν συνηθίσει να αποκτούν πρόσβαση σε όλο και μεγαλύτερο εύρος ζώνης με κάθε νέα γενιά κινητών επικοινωνιών σε περίπου στην ίδια τιμή, τα περιθώρια κέρδους

παραμένουν μικρά. Ως εκ τούτου, οι υπάρχοντες πάροχοι έχουν ισχυρό κίνητρο για να βελτιστοποιήσουν παλαιότερες επενδύσεις αλλά και να είναι προσεκτικοί σε νέες επενδύσεις. Η επιχειρηματική περίπτωση γίνεται όλο και πιο δύσκολη για κάθε νέα γενιά, καθώς αυξήθηκε το κόστος επένδυσης ανά συνδρομητή και τα έσοδα από κάθε συνδρομητή παρέμειναν αμετάβλητα, αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Εκτιμώμενο κόστος ανά συνδρομητή των επόμενων γενιών κινητής τηλεφωνίας.

Το LTE είναι ένα σύστημα All-IP υψηλής χωρητικότητας που απέλειψε τη συμφόρηση δεδομένων στο κομμάτι της υποδομής και παρέχει μια ελεγχόμενη ροή, με την εισαγωγή του LTE-Advanced, καθώς και αναβαθμίσεις στη λειτουργικότητα του δικτύου με τις νέες ετήσιες εκδόσεις του. Με τις σχετικά χαμηλές και σταθερές τιμές προς τους τελικούς χρήστες, ανεξάρτητα από τις αυξήσεις στους ρυθμούς δεδομένων, αυτή η εξελικτική εικόνα ταιριάζει στο στόχο για ένα σταθερό επιχειρηματικό μοντέλο με σχετικά χαμηλά επίπεδα επενδύσεων. Αυτό παρέχει σχετικά σταθερή και προβλέψιμη απόδοση.

Δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική 5G εξελίχθηκε με την προσθήκη νέων ραδιο-διεπαφών σε ζώνες άνω των 24GHz στο υφιστάμενο δίκτυο πυρήνα LTE, οι υπάρχοντες πάροχοι μπορούν να εξυπηρετήσουν τη ζήτηση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, ιδιαίτερα στις περιοχές υψηλής πυκνότητας κατοίκων στις πόλεις, όπου η ζήτηση είναι εμφανώς αυξημένη. Η αντικατάσταση του βασικού δικτύου LTE από ένα δίκτυο πυρήνα 5G θα μπορούσε να γίνει σταδιακά, με βάση τα νέα προϊόντα που θα καθιερώνονται στην αγορά σιγά σιγά και θα παρέχονται με χαμηλότερο κόστος.

Δεδομένου ότι η πρόσφατα διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων κάτω από 1GHz, για παράδειγμα η ζώνη των 700MHz, ήταν ήδη δημοπρατημένη για χρήση από το LTE και το LTE-Advanced, δεν υπήρχε άμεση διασύνδεση μεταξύ της έκδοσης αυτού του νέου φάσματος και της εισαγωγής της νέας τεχνολογίας 5G. Η εισαγωγή ζωνών ραδιοφάσματος άνω των 24GHz είχε και εξακολουθεί να έχει σημασία όσον αφορά την πυκνότητα του δικτύου για την παροχή υψηλότερων ρυθμών δεδομένων. Ωστόσο, αυτό δεν έδωσε την ευκαιρία για να μπει η αγορά των υποδομών στο 5G. Ως εκ τούτου, ο αυξημένος ανταγωνισμός που αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα επιτυχίας στο GSM, δεν υπάρχει στο πλαίσιο του 5G.

Η αγορά του IoT παρείχε ευκαιρίες ανάπτυξης, αλλά η αγορά αυτή είναι πολύ διαφορετική και χρησιμοποιεί ανταγωνιστικές τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένες ζώνες, όπως το LoRa. Αυτές οι εναλλακτικές τεχνολογίες σχεδιάστηκαν

από την αρχή για το IoT, με στόχο τη μεγάλη εμβέλεια και τη χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Τα συστήματα αυτά φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικά από τα κυψελοειδή συστήματα μεγάλης χωρητικότητας. Επιπλέον, οι πρώιμες υλοποιήσεις του IoT χρησιμοποιούσαν το LTE και ακόμη και το GSM (GPRS) μέσω λειτουργικών αναβαθμίσεων αυτών των συστημάτων. Έτσι, το IoT ως οδηγός ανάπτυξης για το 5G είχε ήδη χρησιμοποιήσει πολλές άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Επιπλέον, ήταν και είναι στο χέρι των ήδη υπάρχοντων παρόχων για το πότε πρέπει να μετακινηθούν από τις προηγούμενες γενιές στο 5G, γεγονός το οποίο οδήγησε σε πιο αργή υιοθέτηση του 5G.

Με μια καλά λειτουργική ανταγωνιστική αγορά, και σύμφωνα με τις πολιτικές για το 3G και το 4G, εφαρμόστηκε μια λιγότερο αυστηρή πολιτική για την εισαγωγή του 5G, συμπεριλαμβανομένου ενός σχεδίου δράσης με στόχο τον έγκαιρο πειραματισμό και την ομαλή εισαγωγή του. Την εποχή του GSM, οι σχετικοί κανόνες γι' αυτό ήταν ισχυρότεροι, συμπεριλαμβανομένων των οδηγιών για μια ομαλή και συντονισμένη εισαγωγή του.

Η προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα κλιμακούμενο δίκτυο στην αρχή μιας νέας γενιάς με τουλάχιστον τρεις μεγάλες αγορές ταυτόχρονα, απέτυχε. Αυτό οφείλεται στις διαφορές στις επιχειρηματικές προτεραιότητες στους σημαντικότερους παρόχους στις κυριότερες αγορές: το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία, τη Γαλλία και την Ιταλία. Οι προσπάθειες εξισορρόπησης σε ευρωπαϊκό επίπεδο δεν ήταν επιτυχείς, εν μέρει οφειλόμενο στο Brexit.

Τα πρότυπα 4G και 5G είναι παγκόσμια και επομένως δεν μπορεί να επιτευχθεί πρόσθετη δυναμική της αγοράς, όπως συνέβη τότε με το GSM όταν προστέθηκε η δυνατότητα της διεθνούς περιαγωγής, δημιουργώντας μια νέα πηγή εσόδων.

Με ένα παγκόσμιο πρότυπο, ο εφοδιασμός του εξοπλισμού γίνεται ολοένα και πιο παγκόσμιος, με την Κίνα να αναλαμβάνει τα ηνία, αξιοποιώντας τη μεγάλη εγχώρια αγορά της. Ως εκ τούτου, η συμβολή των ευρωπαϊκών ενδιαφερόμενων μερών ως αποτέλεσμα της διαμεσολάβησης μεταξύ αγοραστών και προμηθευτών στη διαδικασία τυποποίησης ήταν ακόμα εμφανής αλλά με την πάροδο του χρόνου η συνεισφορά τους μειώθηκε.

Δεδομένης της κανονικότητας των διαδοχικών γενεών κινητής τηλεφωνίας, οι προμηθευτές εξοπλισμού είναι εξοικειωμένοι με το δεκαετή κύκλο όσον αφορά το κομμάτι του R&D (Research and Development), την εκβιομηχάνιση και την ανάπτυξη. Υπάρχει ένα ισχυρό κίνητρο για να επεκταθεί η αγορά, και αυτό γίνεται με τις πρώτες τεχνολογικές δοκιμές από τους παρόχους και τις χρήσεις της νέας τεχνολογίας σε σημαντικά γεγονότα, όπως οι Ολυμπιακοί Αγώνες.

Συνοψίζοντας, τα χαρακτηριστικά που διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην εισαγωγή του GSM ήταν αντίστοιχα σημαντικά και για την εισαγωγή του 5G, ωστόσο, δείχνουν να ακολουθούν μια εξελικτική παρά μια επαναστατική πορεία· η δυναμική του 5G είναι περισσότερο παρόμοια με το 4G από το 2G.

4.2.2 Τακτικές και ρυθμιστικές ενέργειες για την εικόνα της "Εξέλιξης"

Από τη σκοπιά πλευράς ρύθμισης κανόνων, η εικόνα της "Εξέλιξης" θεωρεί δεδομένο ότι το 5G θα συμμορφωθεί με τους κανόνες για τις κινητές επικοινωνίες, όπως προτείνονται σήμερα στο νέο κώδικα ηλεκτρονικών επικοινωνιών, [9].

Παρ' όλα αυτά, η εικόνα της "Εξέλιξης" εγείρει ζητήματα σημαντικά για εξέταση. Πέραν των κανονιστικών θεμάτων, θέματα συντονισμού ενδέχεται επίσης να χρειαστεί να μελετηθούν για την επιτυχημένη εισαγωγή του 5G. Υπάρχουν διαθέσιμοι ρυθμιστικοί και συντονιστικοί φορείς για να διευκολύνουν την ορθή ανάπτυξη της αγοράς, όχι μόνο σε

περιφερειακό αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Επιπλέον, το υψηλό κόστος συναλλαγών επηρεάζει τη βέλτιστη λειτουργία της αγοράς.

Τα ζητήματα που θέτει η εικόνα της "Εξέλιξης" σε σχέση με τη ρύθμιση, το συντονισμό και τα έξοδα συναλλαγών πρέπει να αντιμετωπιστούν και να επιλυθούν· αυτά αναλύονται και παρακάτω:

- **Πρόσβαση στην αγορά:** Οι νέες συχνότητες που θα διατεθούν και θα εκχωρηθούν στο πλαίσιο του 5G είναι σε εύρος άνω των 6GHz, συγκεκριμένα στις ζώνες άνω των 24GHz. Αυτές οι συχνότητες θα συμβάλλουν στη συμπύκνωση του κινητού δικτύου με pico - κυψέλες και femto - κυψέλες, για χρήση εντός των εγκαταστάσεων του τελικού χρήστη. Γι' αυτό το λόγο, οι νέες συχνότητες δε διευκολύνουν την είσοδο στην αγορά των κινητών επικοινωνιών, καθώς απαιτούνται συχνότητες κάτω από 1GHz για κάλυψη και πάνω από 1GHz για υποστήριξη υψηλών ρυθμών δεδομένων. Επίσης, με τον νέο προτεινόμενο κώδικα, η διάρκεια της άδειας χρήσης φάσματος αυξάνεται από τυπικά 15-17 έτη στα 25 έτη. Αυτό επίσης συμβάλλει αποτελεσματικά στη διατήρηση των παρόχων ακόμα και με την είσοδο του 5G.
- **Κάθετη ολοκλήρωση:** Η αλληλεξάρτηση μεταξύ των ήδη υπαρχόντων παρόχων κινητής τηλεφωνίας και των παρόχων λογισμικού δικτύου που δεσμεύει τα δυο μέρη, μπορεί να επηρεάσει τις ισότιμες συνθήκες ανταγωνισμού, την ενίσχυση της θέσης των υπαρχόντων παρόχων στην αγορά σε βάρος των μικρότερων/ πιο αδύναμων παρόχων. Σε συνδυασμό με σερ από κλειστά API, αυτό μειώνει τον αποτελεσματικό ανταγωνισμό στην αγορά.
- **Αποκλειστικές εκχωρήσεις φάσματος:** Ξεκινώντας με 2G, συγκεκριμένες ζώνες φάσματος έχουν ανατεθεί μόνο σε συγκεκριμένες ομάδες χρηστών, όπως οι σιδηρόδρομοι - GSM-R. Επιπλέον, ο δημόσιος τομέας προστασίας ανάκαμψης από καταστροφές (αστυνομία, πυροσβεστική, ασθενοφόρο) έχει και αυτός τη δυνατότητα χρήσης αποκλειστικού φάσματος ως μέρος του TETRA. Στη μετάβαση προς την ευρυζωνικότητα, αυτοί οι χρήστες έχουν προσαρμόσει τα συμφέροντά τους με αυτά των χρηστών της μαζικής αγοράς για να επιτύχουν μείωση κόστους στο κομμάτι του εξοπλισμού. Αυτό συνέβη στο πλαίσιο του 4G - LTE, όπου οι αποκλειστικές αναθέσεις φάσματος διατηρήθηκαν. Ωστόσο, το 5G επιτρέπει οι πόροι του δικτύου να ανατεθούν σε συγκεκριμένες ομάδες χρηστών με βάση τις διαφορετικές απαιτήσεις και τη βέλτιστη ποιότητα υπηρεσίας. Αυτό όμως θα σήμαινε ότι δε θα υπήρχε πλέον δυνατότητα δέσμευσης αποκλειστικού φάσματος για τις παραπάνω ομάδες χρηστών. Προσπάθειες που ενδεχομένως θα προσπαθήσουν να μειώσουν αυτό το χάσμα μεταξύ ζήτησης και προσφοράς, θα βελτιώσουν σίγουρα και την αποτελεσματικότερη χρήση του ραδιοφάσματος.
- **Κοινή χρήση δικτύου:** Για τη μείωση των επενδύσεων και αντ' αυτού, την περαιτέρω ανάπτυξη, έχει αναδειχθεί η κοινή χρήση δικτύου. Η κοινή χρήση περιλαμβάνει από τον απλό διαμοιρασμό των αγωγών και των κυκλωμάτων μέχρι την κοινή χρήση της βασικής υποδομής. Ανάλογα με το ποσοστό διαμοιρασμού δικτύου, αντίστοιχα επηρεάζεται και ο ανταγωνισμός. Καθώς η επιτυχία του 5G εξαρτάται από τη γρήγορη ανάπτυξη για διαθεσιμότητα αλλά και παράλληλα με τις χαμηλές τιμές για αυξημένη διείσδυση, θα πρέπει να αρθούν τυχόν ρυθμιστικές αβεβαιότητες όσον αφορά το διαμοιρασμό δικτυακών στοιχείων εκ των προτέρων.
- **Τεχνολογική ουδετερότητα:** Μέχρι να εισαχθεί το 5G στην αγορά, όλες οι υπάρχουσες αναθέσεις ραδιοφάσματος θα έχουν γίνει τεχνολογικά ουδέτερες. Αυτό επιτρέπει οι υπάρχουσες ζώνες που προορίζονται για κινητή χρήση να χρησιμοποιούνται από διαφορετικές τεχνολογίες, και να καθορίζονται από τον

κάτοχο της άδειας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών λειτουργιών σε πολλαπλές γενιές επικοινωνιών. Θα μπορούσε να παρατείνει τον χρόνο ζωής των υπάρχοντων γενεών επικοινωνιών, αλλά επίσης να επιτρέψει τη γρήγορη ανάπτυξη του 5G, εάν είναι αυτό δυνατό. Επίσης, επιτρέπει τη χρήση των υπάρχουσών ασύρματων ραδιοεπαφών σε χαμηλότερες συχνότητες στο δίκτυο κορμού 5G και το νέο δίκτυο να έχει πρόσβαση σε υψηλότερες συχνότητες στο υπάρχον δίκτυο κορμού 4G. Αυτή η ευελιξία προσθέτει κόστος στην πολυπλοκότητα στην εισαγωγή της νέας λειτουργικότητας 5G, και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι της συμβατότητας προς τα πίσω.

- Εμπόριο, δευτερεύουσα αγορά: Υποστηρίχθηκε ότι το εμπόριο στα δικαιώματα χρήσης ραδιοφάσματος ήταν σαφώς μικρότερο από το προβλεπόμενο. Γίνονταν μερικές συναλλαγές αμέσως μετά τη διεξαγωγή δημοπρασίας. Οι περισσότερες άδειες που αλλάζουν πάροχο έγιναν μέρος μιας αγοραπωλησίας. Με το 5G, η πίεση για αποδοτικότερη χρήση ραδιοφάσματος αυξάνεται περαιτέρω. Πρέπει να ληφθούν μέτρα, όπως: διατήρηση μητρώου αδειών εκμετάλλευσης, διατήρηση βάσης δεδομένων για τις τιμές αγοράς, παροχή πλατφόρμας συναλλαγών.
- Κοινή χρήση ραδιοφάσματος: Με περιορισμένο διαθέσιμο ραδιοφάσμα και παράλληλα η ζήτηση για τη χρήση του να αυξάνεται συνεχώς, η κοινή χρήση ραδιοφάσματος αποτελεί λύση για τη βελτίωση της αποτελεσματικής του χρήσης. Συνιστάται ο διαμοιρασμός ραδιοσυχνοτήτων να γίνεται μεταξύ των χρηστών που είναι παρόμοιοι, π.χ. μεταξύ των κυβερνητικών χρηστών ή μεταξύ των χρηστών του ιδιωτικού τομέα.
- Υποχρεώσεις κάλυψης: Σε αγορές με υψηλό ανταγωνισμό, οι προδιαγραφές για κάλυψη μπορεί να μειωθούν. Ωστόσο, σε περιοχές που δεν καλύπτονται επαρκώς, ιδίως σε περιοχές με ελάχιστη ή καμία σταθερή κάλυψη δικτύου, ενδέχεται να απαιτηθούν υποχρεώσεις κάλυψης από κινητό τηλέφωνο για λόγους δημοσίου συμφέροντος.
- Εσωτερική πρόσβαση: Για να αποφευχθεί ο αθέμιτος ανταγωνισμός, η εσωτερική πρόσβαση απαιτεί κατανομημένα συστήματα κεραίας, τα οποία μπορεί να πρέπει να διανεμηθούν μέσω ρυθμιστικών κανόνων, εάν τα μέρη δεν μπορούν να συμφωνήσουν σε μια εμπορική συμφωνία.
- Ανοιχτό Διαδίκτυο: Το 5G θεωρείται ότι εξυπηρετεί τις ειδικές ανάγκες των κάθετων αγορών στα πλαίσια της ποιότητας υπηρεσίας, συμπεριλαμβανομένων: διαθεσιμότητας, αξιοπιστίας, ρυθμών δεδομένων και καθυστέρησης. Ο κανονισμός για την ουδετερότητα του δικτύου (Ανοιχτό Διαδίκτυο - Open Internet) που τέθηκε σε ισχύ από τον Απρίλιο του 2016 πρότεινε να παρέχει *"... βεβαιότητα για τους παρόχους πρόσβασης στο διαδίκτυο και τους παρόχους περιεχομένου και εφαρμογών για την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών με συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας, για να διασφαλιστεί ότι το ανοιχτό διαδίκτυο δεν επηρεάζει αρνητικά την παροχή αυτών των υπηρεσιών. Οι εξειδικευμένες υπηρεσίες δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τις υπηρεσίες πρόσβασης διαδικτύου· μπορούν μόνο να παρέχονται εάν υπάρχει επαρκής χωρητικότητα δικτύου για να παρέχονται επιπλέον από τις υπηρεσίες πρόσβασης στο διαδίκτυο και δεν πρέπει να είναι εις βάρος της διαθεσιμότητας ή της γενικής ποιότητας των υπηρεσιών πρόσβασης στο διαδίκτυο για τους τελικούς χρήστες"*. Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετείται το 5G μπορεί να μην αντιτίθεται σε αυτούς τους κανόνες, αλλά να εξετάζει περιπτώσεις υπέρβασης των προτεραιοτήτων (δημόσια ασφάλεια κλπ.), όπου τα εθνικά συμφέροντα μπορούν να υπερισχύσουν του κανόνα της ουδετερότητας του δικτύου. Πιθανές συγκρούσεις με άλλες εφαρμογές που μπορεί να προκύπτουν, όσον αφορά τη διαφοροποίηση στην ποιότητα της υπηρεσίας, πρέπει να

αποσαφηνιστεί εκ των προτέρων για να αποφευχθεί η περιττή αβεβαιότητα που παρεμποδίζει την υιοθέτηση του 5G. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα κράτη μέλη που έχουν εφαρμογή αυστηρότερου κανονισμού για την ουδετερότητα δικτύου, όπως η Ολλανδία.

- Εξυπηρέτηση κάθετων αγορών - κανονισμοί: Με τα δίκτυα βασισμένα στο λογισμικό, ως μέρος του 5G, διαφορετικές ανάγκες ως προς τις υπηρεσίες και την ποιότητα υπηρεσιών μπορούν ικανοποιούνται ενοποιημένα από ένα φορέα 5G. Αυτό επιτρέπει την εξυπηρέτηση των αναγκών συγκεκριμένων κάθετων αγορών και διευκολύνει τα ψηφιακά επιχειρηματικά τους μοντέλα. Κατά συνέπεια, οι συγκεκριμένοι κανονισμοί της βιομηχανίας και οι κανονισμοί για τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες συνδέονται άμεσα. Για την επιτυχημένη εφαρμογή του 5G που βασίζεται στην εξυπηρέτηση των κάθετων αγορών, επισημαίνεται η ανάγκη για αμοιβαία κατανόηση των κανονισμών, όσον αφορά το σκοπό και το περιεχόμενο. Αυτό περιλαμβάνει τις πιθανές επιπτώσεις στην προστασία των δεδομένων και στην ιδιωτικότητα.
- Εξυπηρέτηση του PPDR (Public Protection Disaster Relief) ως κάθετη αγορά - ελάχιστη απαίτηση: Ο τρόπος χρήσης των ΤΠΕ στην κοινωνία καθιστά την υποδομή ηλεκτρονικών επικοινωνιών "κρίσιμη υποδομή". Αν προσθέτουμε σε αυτό τη χρήση του δικτύου 5G για την παροχή υπηρεσιών PPDR, τότε τίθεται το ερώτημα καθορισμού ελάχιστης ποιότητας υπηρεσίας· την οποία η υποδομή του δικτύου πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Γι' αυτό το λόγο, αυτή η απαίτηση θα είναι απλά θέμα σωστής μηχανικής του δικτύου ή υπάρχουν επιπτώσεις στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του 5G; Αυτή η ελάχιστη απαίτηση θα προσφερθεί ως μέρος της ανταγωνιστικής αγοράς ή απαιτείται ρυθμιστική παρέμβαση;
- Δεδομένα χρήστη: Για την εξυπηρέτηση των κάθετων αγορών και με τη βοήθεια της εικονικοποίησης, μπορεί κανείς να δει την εκτεταμένη χρήση των δεδομένων χρήστη στη διαμόρφωση των υπηρεσιών που παρέχονται από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Οι ισχύοντες κανόνες κάνουν διάκριση μεταξύ των παρόχων δικτύων επικοινωνιών και των παρόχων υπηρεσιών ΟΤΤ (Over The Top) από πλευράς δεδομένων χρήστη. Αυτό αντιπροσωπεύει ένα άνισο πεδίο ανταγωνισμού και ένα εμπόδιο για την ανάπτυξη 5G όπως προβλέπεται στην εικόνα της "Εξέλιξης". Γι' αυτό το λόγο θεωρούνται απαραίτητες οι προσπάθειες για ευθυγράμμιση των ρυθμιστικών κανόνων.
- Προστασία δεδομένων και προστασία της ιδιωτικής ζωής: Το IoT αναμένεται να κωδικοποιήσει τα 50 έως 100 τρισεκατομμύρια αντικείμενα παγκοσμίως και να μπορέσει να ακολουθήσει αυτά τα αντικείμενα. Οι άνθρωποι στις πόλεις αναμένεται να περιβάλλονται από 1000-5000 ανιχνεύσιμα αντικείμενα. Αυτό εγείρει νέα ζητήματα γύρω από την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια, καθώς και την αυτονομία και τον έλεγχο.

4.3 Η εικόνα της "επανάστασης"

Η εικόνα της "επανάστασης" αντιπροσωπεύει μια σαφή διαφοροποίηση από τις τάσεις που παρατηρούνται στις προηγούμενες γενιές κινητής επικοινωνίας. Σε αυτήν την εικόνα, το μέλλον του 5G καθορίζεται από τις νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες που προσφέρει η εικονικοποίηση των δικτύων επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, αυτό περιλαμβάνει, τη διαμόρφωση συνόλου υπηρεσιών σε σχέση με τις ανάγκες συγκεκριμένων (κάθετων) αγορών ή οικονομικών κλάδων από εξειδικευμένους παρόχους, οι οποίοι λειτουργούν ως εικονικοί φορείς κινητής τηλεφωνίας (Mobile Virtual

Network Operator - MVNOs). Η Ευρώπη εστιάζει στις προηγμένες υπηρεσίες της βιομηχανίας, οι οποίες επιτρέπουν στις συγκεκριμένες βιομηχανίες να αναλάβουν ηγετικό ρόλο στην αγορά τους - συνήθως λειτουργούν παγκοσμίως.

Η δημιουργία κάθετων αγορών αποτελούνταν από σημαντικές προσπάθειες καινοτομίας από την πλευρά των παρόχων δικτύων επικοινωνιών, των εξειδικευμένων παρόχων και των (μελλοντικών) βιομηχανικών πελατών, που συχνά απαιτούν εξισορρόπηση μεταξύ των δύο βιομηχανιών, π.χ. μεταφορές και επικοινωνίες, υγεία και επικοινωνίες. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό απαιτούσε κοινές επενδύσεις, που περιλάμβαναν επενδύσεις από τις κυβερνήσεις, π.χ. στην υποδομή ΤΠΕ στους δρόμους.

Για να έχει επιτυχία το 5G σε αυτή την προσπάθεια, η στήριξη μέσω κανόνων και ρυθμιστικών περιορισμών ήταν απαραίτητη, δεδομένου ότι ο κλάδος των ηλεκτρονικών επικοινωνιών ήταν το αντικείμενο της αναδιαμόρφωσης προς ένα πιο δυνατό επίπεδο ανταγωνισμού σε επίπεδο λιανικής. Αυτός ο ανταγωνισμός βασίστηκε στη διαφοροποίηση των υπηρεσιών επικοινωνίας και στην ομαδοποίηση των επιχειρηματικών υπηρεσιών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι επιχειρηματικοί χρήστες να θέλουν να πληρώσουν για περισσότερα. Αυτό με τη σειρά του παρείχε τα οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις σε 5G στο επίπεδο δικτύου.

4.3.1 Προσδοκόμενα αποτελέσματα

Αυτή η ενότητα περιγράφει το αναμενόμενο αποτέλεσμα της μελλοντικής εικόνας της "Επανάστασης".

Ενώ στην εικόνα της "Εξέλιξης" οι δυνάμεις από πλευράς προσφοράς είναι αυτοί που καθοδηγούν την εξέλιξη των πραγμάτων, στην εικόνα της "Επανάστασης" οι δυνάμεις από πλευράς ζήτησης έχουν αυτό το ρόλο.

Στις πρόσφατες κινητές γενιές επικοινωνιών, η ζήτηση διαμορφώθηκε από τους καταναλωτές της μαζικής αγοράς που επιθυμούσαν να έχουν όλο και μεγαλύτερη πρόσβαση στο Internet, η οποία παρέχεται ουσιαστικά σε ίδια τιμή. Οι υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, όπως η τηλεφωνία και τα μηνύματα (SMS), αντικαταστάθηκαν από αντίστοιχες υπηρεσίες εφαρμογών (viber, messenger κλπ.) που τα παρείχαν δωρεάν. Γι' αυτό το λόγο, με το αυξανόμενο κόστος των υποδομών, η επιχειρηματική περίπτωση της επόμενης γενιάς κινητής υποδομής έγινε όλο και πιο δύσκολη.

Στην εικόνα της "Επανάστασης", η νέα ζήτηση προστιθέμενης αξίας από κάθετες αγορές οδηγεί στην ανάγκη νέων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι υπηρεσίες επικοινωνίας αποτελούν μέρος ενός συνόλου επιχειρηματικών υπηρεσιών και ως εκ τούτου δημιουργούν το κίνητρο στον επιχειρηματικό χρήστη να πληρώσει περισσότερα.

Η αρχιτεκτονική 5G επέτρεψε την προσαρμογή των υπηρεσιών, όσον αφορά τα σύνολα χαρακτηριστικών και τις ποιότητες υπηρεσιών. Αυτό με τη σειρά του επέτρεψε τη δημιουργία εικονικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας για συγκεκριμένες ομάδες χρηστών, για συγκεκριμένες κάθετες αγορές αλλά και για κρατικούς φορείς.

Με 4G-LTE, τα πρώτα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση είχαν ήδη γίνει, επιτρέποντας τον "τεμαχισμό του δικτύου". Αυτό επέτρεψε στην κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου να παρέχει υπηρεσίες στην αστυνομία, στην πυροσβεστική και στο ασθενοφόρο (τυπικά) μέσω της υπηρεσίας BT-EE as-a-service, αντί να χρειάζεται να αναπτυχθεί και να λειτουργήσει ένα αποκλειστικό δίκτυο PPDR.

Το PPDR αποτελεί ένα νέο τμήμα της αγοράς για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας αλλά και με μεγαλύτερη επίσης προθυμία να πληρώσει

για υψηλή ποιότητα και διαθεσιμότητα. Μόλις το δίκτυο κατέστη κατάλληλο για να εξυπηρετήσει το PPDR ως ένα πολύ απαιτητικό πελάτη, ήταν έτοιμο να εξυπηρετήσει και πελάτες για κρίσιμης σημασίας περιπτώσεις.

Για τους χρήστες PPDR, η εικονικοποίηση του 5G τους επέτρεψε να αναθέσουν την εργασία σε τρίτους, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο. Μέσω του 5G είχαν τα δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: παροχή υπηρεσιών και λειτουργία κάτω από το δικό τους έλεγχο. Αυτό ήταν, και εξακολουθεί να είναι, πολύ ελκυστική προοπτική για άλλους χρήστες υπηρεσιών κρίσιμης σημασίας αλλά και για τις επιχειρήσεις.

Επιπλέον, επέτρεψε την καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων καθώς η ανάγκη για αποκλειστικότητα στο φάσμα εξαλείφθηκε. Είναι επίσης ελκυστικό και από οικονομική άποψη, καθώς η κοινή χρήση της υποδομής δικτύου επιτρέπει καλύτερη αξιοποίηση και συνεπώς υψηλότερα περιθώρια κέρδους.

Επίσης, με το 5G, σύνολα υπηρεσιών μπορούν να προσαρμοστούν σε ποικίλες ανάγκες. Επιπλέον, μέσω της εικονικοποίησης της κινητής υποδομής, οι κάθετες αγορές μπορούν να διαχειρίζονται αυτά τα σύνολα υπηρεσιών οι ίδιοι, ως εικονικοί πάροχοι κινητών δικτύων, εφόσον το επιθυμούν. Με αυτόν τον τρόπο, έχουν πλήρη έλεγχο στη σχέση με τον πελάτη, καθώς και στη σχέση με τον προμηθευτή, χρησιμοποιώντας το δικό τους όνομα. Με αυτόν τον τρόπο δημιούργησαν μια ουσιαστική εμπειρία χρήστη, εκμεταλλευόμενη την ψηφιακή μετατροπή σε όλη την έκτασή της.

Μέσω της υιοθέτησης ενός ενιαίου συνόλου διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών ως μέρος του 5G σε όλη την Ευρώπη, η προσαρμογή των υπηρεσιών είναι "χωρίς όρια". Αυτό σημαίνει ότι οι κάθετες αγορές μπορούν να προσφέρουν την ίδια εμπειρία στους πελάτες σε ολόκληρη την Ευρώπη, υπό την προϋπόθεση ότι οι ειδικοί κανόνες για τη βιομηχανία θεσπίστηκαν επίσης σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Στο παράδειγμα της αυτόνομης και υποβοηθούμενης οδήγησης, αυτό σήμαινε, για παράδειγμα, ότι υπάρχουν κανόνες για τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Για τον τομέα της υγείας, αυτό σήμαινε ότι οι νέες εφαρμογές, αφού εγκριθούν από τους γιατρούς και το ιατρικό προσωπικό, θα μπορούσαν να εισαχθούν από τις ΤΠΕ με τα απαιτούμενα επίπεδα διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας. Με αυτόν τον τρόπο είναι ενσωματωμένο μέρος της υπηρεσίας της υγειονομικής περίθαλψης υπό την ευθύνη τους, ενώ παρέχεται και πέρα από τους τοίχους του νοσοκομείου. Αυτό βελτίωσε τα επίπεδα υγειονομικής περίθαλψης, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος. Εφόσον πρόκειται για μια ενσωματωμένη υπηρεσία, αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο από πλευράς ασφάλειας, επιτρέποντας τις απομακρυσμένες υπηρεσίες να χρηματοδοτηθούν μέσω σχεδίων υγειονομικής περίθαλψης. Για τις νεοσύστατες επιχειρήσεις, αυτό παρείχε μια πορεία καινοτομίας για να μετακινηθούν από το "ανοιχτό" στο "ελεγχόμενο" περιβάλλον, εάν το επιθυμούν.

Το 5G προσφέρει επίσης μια λύση σε ένα μακροχρόνιο επενδυτικό πρόβλημα ως αποτέλεσμα των πλεονεκτημάτων που προσφέρει σε έναν φορέα ενώ ένας άλλος φορέας φέρει το βάρος της επένδυσης και του μηχανισμού τιμολόγησης. Το τυπικό παράδειγμα αυτού είναι επενδύσεις σε ιδιωτικές υποδομές για την υποστήριξη των φορέων του δημόσιου τομέα, όπως αυτοί που σχετίζονται με την ηλεκτρονική υγεία, την ηλεκτρονική διακυβέρνηση και την ηλεκτρονική εκπαίδευση. Στο μοντέλο 5G οι MVNO λειτουργούν ως έμποροι λιανικής πώλησης, προμηθεύοντας υπηρεσίες διαχείρισης χονδρικής από παρόχους υποδομής, ενώ ελέγχουν την προσφορά υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες. Αυτό επιτρέπει τη διαφοροποίηση της αξίας και την αξία μεταφοράς μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού, όπου οι πάροχοι υπηρεσιών ΟΤΤ χρησιμοποιούν το κομμάτι της "βέλτιστης προσπάθειας" του Διαδικτύου ενώ οι MVNOs χρησιμοποιούν το κομμάτι της διαχείρισής του.

Το άνοιγμα του τομέα των κινητών υπηρεσιών σε MVNOs παρείχε την απαραίτητη ευρεία βάση για την υιοθέτηση του 5G στις κάθετες αγορές, με διαφορετικούς MVNOs να καθοδηγούν τις προσπάθειες σε διαφορετικές βιομηχανίες. Η εναλλακτική λύση της ύπαρξης μόνο των εμπλεκόμενων παρόχων MNOs θα είχε περιορίσει την ανάπτυξη για τρεις λόγους: (1) οι υπάρχοντες φορείς επικοινωνιών δε διέθεταν τις γνώσεις στον τομέα της βιομηχανίας που απαιτούνται για να προσαρμόσουν τις υπηρεσίες σε συγκεκριμένες βιομηχανίες ή ακόμη και σε μεμονωμένες επιχειρήσεις, (2) δεν θα ήταν σε θέση ή δεν θα μπορούσαν να επιτύχουν την απαραίτητη εναρμόνιση σε κάθε κατηγορία βιομηχανίας (λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης, περιορισμένων πόρων και έλλειψης εξειδικευμένων γνώσεων) και (3) δεν θα ήταν σε θέση να επιτύχουν όλα αυτά σε πολλές βιομηχανίες ταυτόχρονα και γρήγορα.

4.3.2 Τακτικές και ρυθμιστικές ενέργειες για την εικόνα της "Επανάστασης"

Αυτή η ενότητα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να δημιουργηθεί η εικόνα της "Επανάστασης" μέσω κανόνων και ρυθμιστικών δράσεων. Παρέχει μια μελλοντική προοπτική.

Παρ' όλα αυτά, η εικόνα της "επανάστασης» εγείρει σημαντικά ζητήματα προς εξέταση εντός του ρυθμιστικού τομέα με δύο τρόπους: (1) ζητήματα που σχετίζονται με την εισαγωγή του 5G ως "απλά μια άλλη" γενιά κινητής τεχνολογίας, και (2) ζητήματα που σχετίζονται με την εικονικοποίηση και επιτρέπουν την εμφάνιση νέων παρόχων εικονικών υπηρεσιών. Τα ζητήματα που αναφέρονται στο (1) είναι σε μεγάλο βαθμό τα ίδια με εκείνα που εντοπίζονται στην εικόνα της "Εξέλιξης", οπότε και θα αναφερθούν με συντομία.

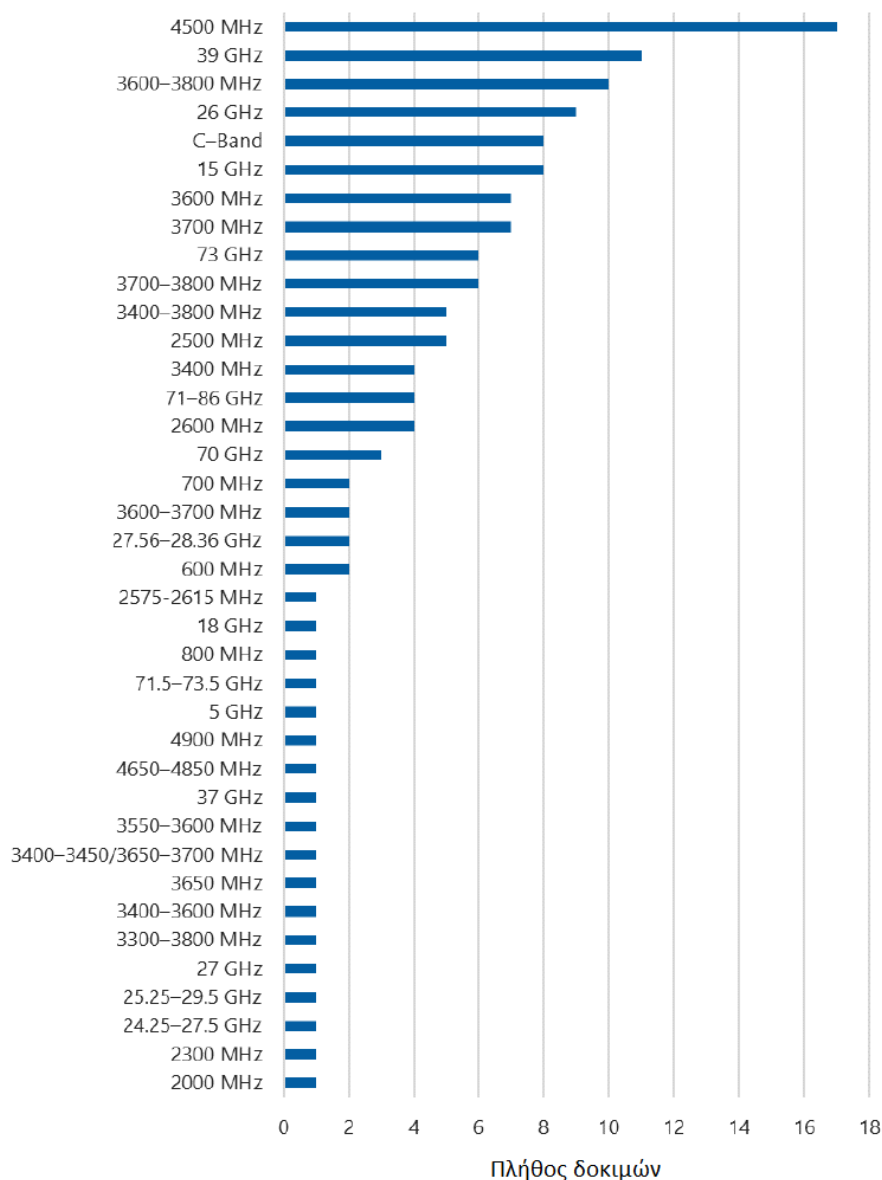
- Πρόσβαση στην αγορά - επίπεδο δικτύου: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Σημαντική δύναμη αγοράς στο επίπεδο δικτύου: Με μια άκρως ανταγωνιστική αγορά υπηρεσιών, η ενίσχυση της αγοράς σε επίπεδο δικτύου θεωρείται ότι δεν είναι σημαντική. Στην πραγματικότητα, η ενίσχυση αυτή βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των πόρων, ιδίως όσον αφορά τους πόρους ραδιοφάσματος.
- Πρόσβαση αγοράς – επίπεδο υπηρεσιών: Ο έντονος ανταγωνισμός μεταξύ των MVNOs αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της εικόνας της "Επανάστασης". Ο ανταγωνισμός, σε πρώτη φάση, ενδυναμώνεται από τις δυνάμεις της αγοράς, με στενή παρακολούθηση από την κυβέρνηση ώστε να είναι σε θέση να διευκολύνει την ανάπτυξη όταν και όπου είναι απαραίτητο και να παρεμβαίνει σε περίπτωση μη εναλλακτικών λύσεων.
- Πρόσβαση στην αγορά - Πρότυπο 5G με ανοιχτά API: Η διαθεσιμότητα ενός δικτύου 5G με API ανοικτής πρόσβασης αναμένεται να προκύψει από τις προσπάθειες τυποποίησης στο 3GPP. Σε περίπτωση που οι προσπάθειες από πλευράς βιομηχανικού τομέα, δεν στεφθούν με επιτυχία, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μπορεί να εκδώσει κάποιες επίσημες οδηγίες στον οργανισμό ETSI.
- Πρόσβαση στην αγορά - ομοιόμορφη εφαρμογή του προτύπου 5G: Δεδομένης της καθολικής υιοθέτησης του LTE, αναμένεται ότι οι πάροχοι θα εφαρμόσουν το πρότυπο 5G και τις εκδόσεις του ομοιόμορφα σε ολόκληρη την ΕΕ. Προκειμένου να διασφαλισθεί ένα τέτοιο αποτέλεσμα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ως έσχατη λύση την επιλογή να υποχρεώσει την εν λόγω ομοιόμορφη ανάπτυξη στους παρόχους εντός της ΕΕ.

- Πρόσβαση στην αγορά - Συμβατότητα και διαλειτουργικότητα συσκευών και εφαρμογών με API: Για να διασφαλιστεί ότι οι συσκευές και οι εφαρμογές που αναπτύσσονται από παρόχους υπηρεσιών ή τρίτα μέρη πληρούν τα ελάχιστα πρότυπα ποιότητας δικτύου και συμμορφώνονται με το πρότυπο 5G συμπεριλαμβανομένων των API, αναμένεται η βιομηχανία να φτιάξει μια οντότητα πιστοποίησης που θα αναλάβει να κάνει κάτι τέτοιο.
- Εθνική περιαγωγή: Καθίσταται δυνατή μέσω ιδιωτικών συμβάσεων μεταξύ των παρόχων. Αποτελεί ουσιώδη προϋπόθεση για την παροχή υπηρεσιών PPDR και ως μηχανισμό fall - back σε περίπτωση διακοπών δικτύου. Ο ρυθμιστικός φορέας θα πρέπει να διασφαλίσει μέσω κανονισμών ότι σε όλες τις περιστάσεις θα παρέχεται στους τελικούς χρήστες η καλύτερη δυνατή υπηρεσία, ιδίως για υπηρεσίες στο δημόσιο τομέα, όπως το PPDR.
- Αποκλειστικές εκχωρήσεις φάσματος: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Κοινή χρήση δικτύου: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Τεχνολογική Ουδετερότητα: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Εμπόριο, δευτερεύουσα αγορά: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Κοινή χρήση ραδιοφάσματος: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης". Από πλευράς ρυθμιστικών κανόνων, προϋποτίθεται η συνέχιση της χρήσης αποκλειστικών αδειών για πρόσβαση στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που προορίζεται για κινητή τηλεφωνία. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξασφαλιστούν μακροπρόθεσμες επενδύσεις στα δίκτυα αλλά και για πρόσβαση στο ραδιοφάσμα.
- Υποχρεώσεις κάλυψης: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Εσωτερική πρόσβαση: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Διαλειτουργικότητα: Η διαχείριση πόρων για ένα κομμάτι δικτύου μπορεί να αφορά περισσότερους από έναν παρόχους τηλεπικοινωνιών και συνεπώς χρειάζεται συνεργασία στο κομμάτι διαχείρισης πόρων για αποφυγή συγκρούσεων.
- Ανοιχτό Διαδίκτυο: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Εξυπηρέτηση κάθετων αγορών - κανονισμοί: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Εξυπηρέτηση του PPDR ως κάθετη αγορά - ελάχιστη απαίτηση: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".
- Σημαντική δύναμη αγοράς σε επίπεδο υπηρεσιών: Με την εισαγωγή του 5G, οι πάροχοι αναμένεται να υποστηρίξουν πολλούς MVNO και ιδιαίτερα αυτούς που έχουν σαν target πελατών επιχειρήσεις.
- Δεδομένα χρήστη: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης". Ωστόσο, πρέπει να εξεταστεί ο νέος ρόλος των MVNO. Οποιοδήποτε πιθανό εμπόδιο θα πρέπει να εντοπιστεί εκ των προτέρων και να εξαλειφθεί για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη 5G.
- Προστασία δεδομένων και προστασία της ιδιωτικής ζωής: Ίδια πρόβλεψη με την εικόνα της "Εξέλιξης".

4.4 Εκκίνηση του 5G και συσχέτιση με τις εικόνες "Εξέλιξης" και "Επανάστασης"

Σε όλο τον κόσμο, αλλά και στην Ευρώπη, οι ρυθμιστικές αρχές είτε βρίσκονται στη διαδικασία διεξαγωγής δημοπρασιών 5G είτε διαβουλεύονται και σχεδιάζουν την κατανομή των κατάλληλων 5G συχνοτήτων. Ταυτόχρονα, οι πάροχοι εργάζονται σε πολλές από τις υποψήφιες ζώνες φάσματος.

Στην Εικόνα 20 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** φαίνονται οι ζώνες φάσματος που έχουν χρησιμοποιηθεί από τους παρόχους σε παρουσιάσεις/ δοκιμές όπου ανακοινώθηκαν οι λεπτομέρειες για το φάσμα, [10].



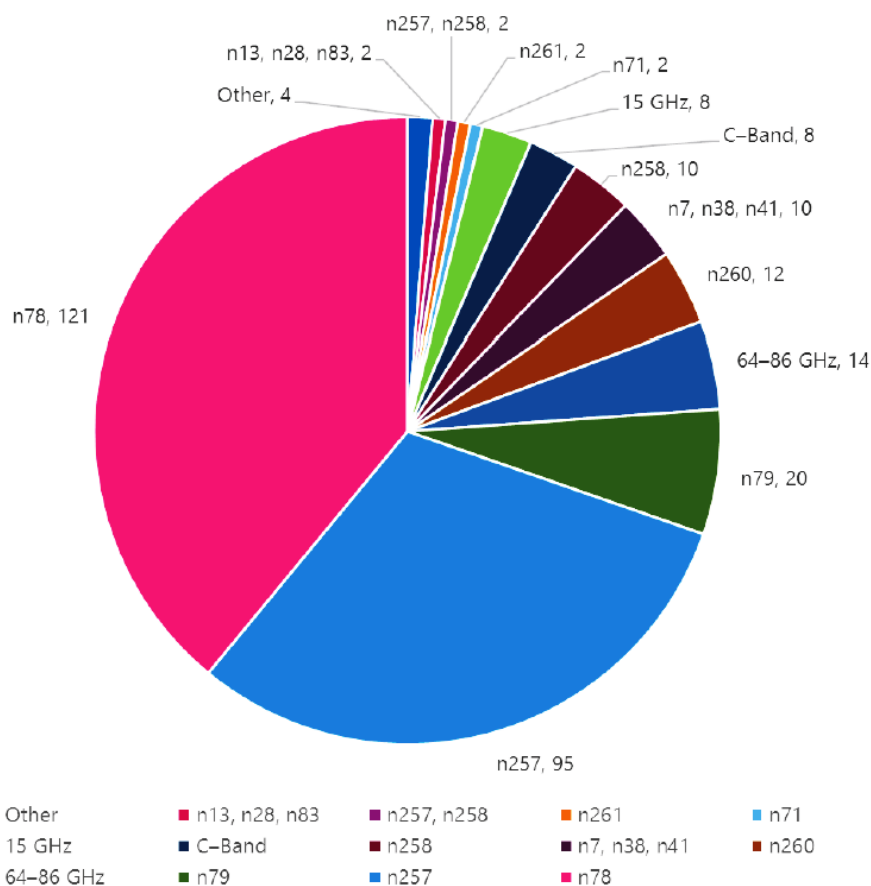
Εικόνα 20: Πλήθος παρουσιάσεων και δοκιμών 5G σύμφωνα με τις χρησιμοποιούμενες ζώνες φάσματος (συχνά πολλαπλές δοκιμές ανά πάροχο).

Αξίζει να σημειωθεί ότι:

- ορισμένες δοκιμές χρησιμοποίησαν περισσότερες από μία ζώνη φάσματος,
- υπάρχουν πολλαπλές επικαλυπτόμενες ζώνες φάσματος που έχουν αναφερθεί από διαφορετικούς παρόχους και

- ορισμένοι φορείς εκμετάλλευσης αναφέρουν απλώς «ζώνη C» ή ένα συγκεκριμένο σημείο συχνότητας (όπως 3,5GHz) χωρίς να πειράζουν τα άνω και κάτω όρια της χρησιμοποιούμενης ζώνης φάσματος.

Παρόλο που φαίνεται ότι η ζώνη των 4500MHz χρησιμοποιείται περισσότερο, όταν προστίθενται μαζί, οι διακυμάνσεις φάσματος μεταξύ 3300MHz και 3800MHz αποτελούν το συχνότερο χρησιμοποιούμενο φάσμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 21, [10].



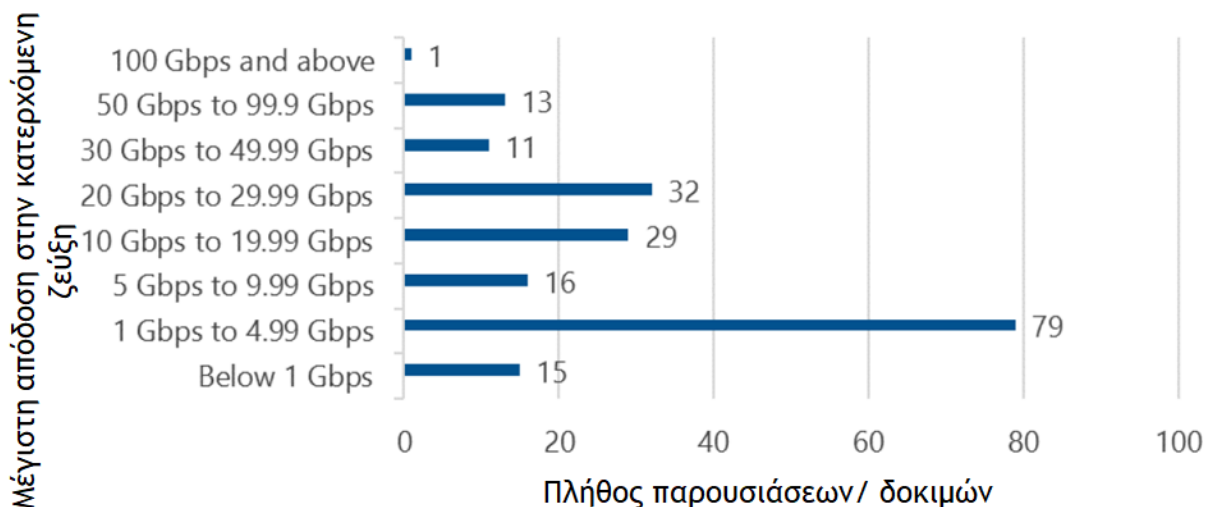
Εικόνα 21: Ζώνες φάσματος που χρησιμοποιούνται σε δοκιμές 5G, βασισμένες σε κατανομές ζώνης φάσματος 5G της 3GPP.

Στην εικόνα αυτή απεικονίζονται οι ζώνες φάσματος που χρησιμοποιούνται σε δοκιμές ομαδοποιημένες στους νέους ορισμούς της ζωνών 5G από τη 3GPP. Όταν είναι πιθανές να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία ζώνες (επειδή ο πάροχος δεν ήταν ακριβής στις δηλώσεις του), αναφέρονται όλες οι πιθανές ζώνες.

Η ζώνη n78 (που κυμαίνεται από 3300MHz έως 3800MHz) ήταν η συχνότερη χρησιμοποιημένη ζώνη σε όλες τις δοκιμές. Η ζώνη n257 (που κυμαίνεται από 26.5GHz έως 29.5GHz) είναι η επόμενη πιο χρησιμοποιούμενη.

Στην Εικόνα 22 παρατηρούμε την απόδοση του δικτύου στην κατερχόμενη ζεύξη, μετρική σημαντική για την απόδοση του δικτύου, που αναφέρθηκε κατά τις παρουσιάσεις και δοκιμές από τους παρόχους. Τα παραπάνω είναι αποτελέσματα από συνολικά 196 παρουσιάσεις/ δοκιμές. Παρατηρούμε ότι ένα μεγάλο πλήθος από αυτές, πιο συγκεκριμένα 79, κατάφερε να πετύχει ταχύτητες στο εύρος 1 έως 4.99Gbps, αλλά και το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος δοκιμών πέτυχε ταχύτητες στο εύρος 10-19,99Gbps, ταχύτητες συμβατές με τις προδιαγραφές του 5G και αρκετά μεγαλύτερες από τις σημερινές ταχύτητες που έχουμε στην κατερχόμενη ζεύξη, π.χ. στη φάση που

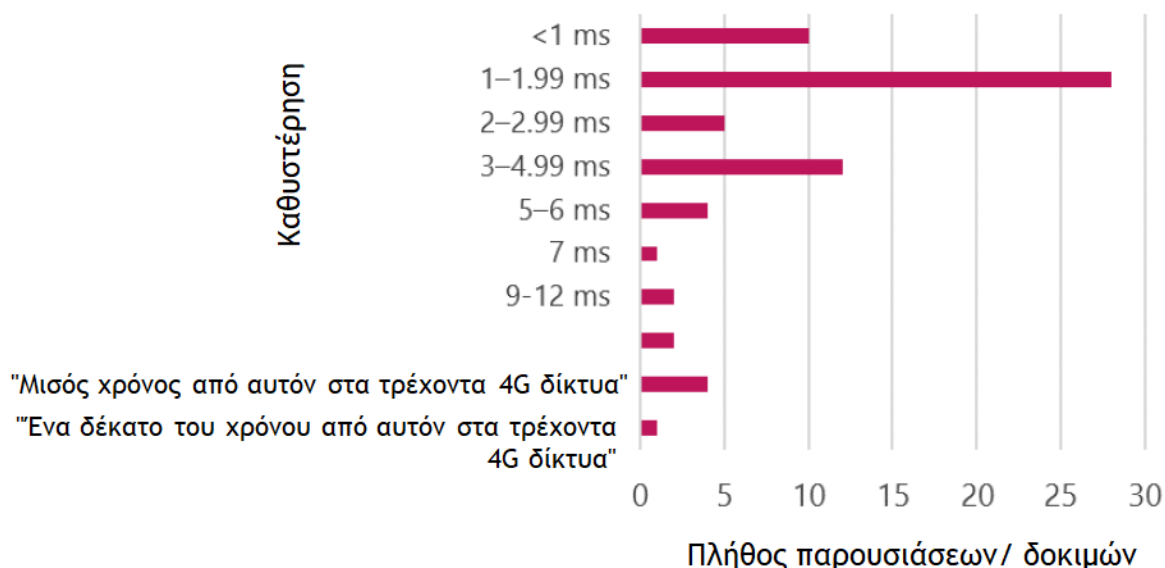
κατεβάζουμε ένα αρχείο. Ωστόσο, επειδή οι δοκιμές απέχουν αρκετά από τις πραγματικές συνθήκες, οι πάροχοι και όλοι οι εμπλεκόμενοι σε αυτές τις διαδικασίες είναι ακόμα αρκετά επιφυλακτικοί ως προς τα αποτελέσματα αυτά, [10].



Εικόνα 22: Απόδοση δικτύου, όπως μετρήθηκε στις δοκιμές 5G.

Μια βασική μετρική είναι οι καθυστερήσεις που υπόκεινται οι μεταδόσεις δεδομένων στο 5G, η οποία μελετάται στις παρουσιάσεις και δοκιμές, καθώς οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών και οι συνεργαζόμενοι φορείς επιδιώκουν να επιτύχουν τις βέλτιστες τιμές που υποδεικνύει το 5G. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις παρουσιάσεις και δοκιμές δεν είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους, καθώς κάθε περίπτωση λαμβάνει υπόψη της διαφορετικές παραμέτρους, π.χ. καθυστέρηση ραδιοεπαφής (ή αλλιώς air interface latency, καθυστέρηση δηλαδή μετάδοσης στο ασύρματο κανάλι, που είναι ο αέρας), καθυστέρηση "από άκρο σε άκρο" κ.λπ. Ακόμα και σε δοκιμές όσο κοντά γίνεται σε πραγματικές συνθήκες, ουσιαστικά δεν είναι οι κανονικές συνθήκες δικτύου, αλλά είναι ενδεικτικές προσπάθειες προσομοίωσης, και έτσι επιτυγχάνονται χαμηλές καθυστερήσεις.

Είναι ενδιαφέρον να επισημάνουμε ότι οι περισσότερες δοκιμές (για τις οποίες έχουν αναφερθεί δεδομένα από αυτές) έχουν αποδώσει καθυστερήσεις μεταξύ 1 και 1,99ms, όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 23. Αυτές οι καθυστερήσεις είναι "καλές", αλλά όχι αρκετά μειωμένες. Το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο πλήθος δοκιμών φαίνεται ότι πέτυχε καθυστερήσεις στο εύρος 3 έως 4,99ms, γεγονός που υποδεικνύει ότι ακόμα δεν έχει επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος. Ωστόσο, παρόλο που φαίνονται βελτιωμένες καθυστερήσεις με βάση τα τρέχοντα 4G δίκτυα, οι ιδανικές καθυστερήσεις που επιδιώκουμε είναι της τάξης μικρότερες του 1ms, που όπως φαίνονται και από τις δοκιμές, που δεν πλησιάζουν απόλυτα τα πραγματικά δεδομένα, μόνο 10 από αυτές, κατάφεραν να το πετύχουν, από τις συνολικά 69 παρουσιάσεις/ δοκιμές που εκπονήθηκαν, [10].



Εικόνα 23: Καθυστέρηση δικτύου από τις δοκιμές 5G].

4.4.1 Στατιστικά

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, [10]:

- Είκοσι τρεις πάροχοι σε 13 χώρες έχουν πλέον ανακοινώσει ότι έχουν εφαρμόσει 5G τεχνολογία σε σταθμούς βάσης τους στα τρέχοντά τους δίκτυα. Δύο από αυτούς διαθέτουν εγκαταστάσεις μη συμβατές με τη 3GPP: αυτοί οι πάροχοι είναι οι Verizon και C Spire.
- Έντεκα από αυτούς τους παρόχους ισχυρίζονται ότι έχουν ξεκινήσει περιορισμένη διαθεσιμότητα 5G ασύρματης πρόσβασης και οκτώ από αυτούς ισχυρίζονται ότι έχουν ξεκινήσει περιορισμένες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας 5G.
- Σε όλες τις περιπτώσεις, ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη είναι εξαιρετικά περιορισμένος (τόσο όσον αφορά τους τύπους συσκευών όσο και το πλήθος των συσκευών αυτών).
- Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών περιορίζεται σε επιλεγμένες ομάδες πελατών: στην περίπτωση της εγκατάστασης του Fastweb από την TIM στο Bari και στο Matera – που υπολογίζεται ως ένα ενιαίο δίκτυο - η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών περιορίζεται σε λύσεις με δοκιμαστικές συσκευές για επιλεγμένους συνεργάτες.
- Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η γεωγραφική διαθεσιμότητα περιορίζεται σε μερικές βασικές περιοχές όπως σημεία πόλεων, όχι τόσο πυκνοκατοικημένα για ελεγχόμενη κίνηση δεδομένων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στατιστικά και δοκιμές που μελετήθηκαν στην ενότητα, οι εικόνες της "Εξέλιξης" και της "Επανάστασης", μπορεί να καθυστερήσουν λίγο ακόμα, καθώς η τεχνικό - υλική υποδομή, άρα και οι αντίστοιχοι ρυθμιστικές κανόνες δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν στη μαζική αγορά των καταναλωτών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς αναμένεται να συμβάλλουν θετικά σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, θα υπάρξει σημαντική βελτίωση στον τομέα της ενέργειας καθώς και θα υπάρχει δυναμικός καταμερισμός των πόρων ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Ακόμα η εξέλιξη του λογισμικού θα επιτρέπει την ευέλικτη διαχείριση και τον έλεγχο του δικτύου (π.χ. cloud based). Όσον αφορά τον τομέα της ασφάλειας αναμένεται εξέλιξη καθώς θα υπάρχουν μηχανισμοί αποφυγής παραβίασης της ιδιωτικής ζωής, μέσω κωδικοποίησης από άκρο σε άκρο. Εξαιρετική πρόοδος θα υπάρξει και στην κατεύθυνση της μείωσης των καθυστερήσεων του δικτύου. Τα δίκτυα παράδοσης περιεχομένου (Content Delivery Networks - CDN) θα υπάρχουν σε διάφορα σημεία του δικτύου ώστε να εξοικονομούνται πόροι μεταφοράς και να μειώνονται οι καθυστερήσεις κατά την μετάδοση. Αυτή η εξέλιξη στα δίκτυα και η αλλαγή στις δυνατότητες του δικτύου 5G, μελετήθηκε στα κεφάλαια 1 και 2. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 1 έγινε μια σύντομη αναδρομή ώστε ο αναγνώστης να έχει μια αρχική εικόνα των ασύρματων δικτύων μέχρι σήμερα και αναδεικνύεται ο λόγος για τον οποίο τα 4G συστήματα δεν είναι πλέον αρκετά.

Στο κεφάλαιο 2, έγινε αναλυτική περιγραφή και μελέτη των απαιτήσεων του 5G, μέσω των περιπτώσεων χρήσης/ απαιτήσεων από την πλευρά του χρήστη. Σε αυτό το πλαίσιο, θα υπάρχει βελτίωση στον τομέα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ειδικότερα, η σύνδεση με τους τελικούς εξυπηρετητές θα είναι πιο "σταθερή" όταν θα παρέχεται η υπηρεσία της βιντεοκλήσης και της αναπαραγωγής βίντεο χωρίς παύσεις. Ακόμα, σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου η ζήτηση του δικτύου είναι αρκετά υψηλή, θα διευκολυνθεί η εξυπηρέτηση των χρηστών μέσω της αυξημένης χωρητικότητας που θα παρέχεται. Από την πλευρά του δικτύου, οι βασικές προτεινόμενες τεχνολογίες είναι η SDN για το λογισμικό, η NFV για την εικονικοποίηση του δικτύου και η χρήση mmWave στο φυσικό επίπεδο, τεχνολογίες που μελετήθηκαν εκτενώς στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής του δικτύου 5G. Στο ίδιο κεφάλαιο, μελετήθηκαν και απαιτήσεις που οδηγούν σε λειτουργικές αλλαγές και σε νέα μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται η διαθεσιμότητα του δικτύου να φτάσει σχεδόν το 100% όπως και η γεωγραφική κάλυψη. Αυτό είναι εφικτό, ανάλογα με τη θέση των κυψελών η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από το κόστος συνυπολογίζοντας το κέρδος κάλυψης μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Αυτή είναι σημαντική πρόκληση του ανερχόμενου δικτύου κυρίως για τις αγροτικές περιοχές. Εξίσου μεγάλη πρόκληση είναι η πυκνότητα της σύνδεσης που αναμένεται να φτάσει 1000 φορές το εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας, και ο αριθμός των συνδέσεων να γίνει 10-100 φορές μεγαλύτερος.

Μέσω πρωτοβουλιών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής όπως η 5G-PPP, η Ευρώπη θέλει να έχει ηγετικό ρόλο στην επερχόμενη "εποχή του 5G". Με αυτόν τον γνώμονα η παρούσα εργασία συνέλεξε και αποτύπωσε τα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή έργα που αφορούν το 5G και υλοποιούνται υπό την αιγίδα της 5G-PPP. Στο κεφάλαιο 3, μελετήθηκαν εκτενώς προηγούμενα έργα της 5G-PPP (1^η και 2^η Φάση) και αναλύθηκε περισσότερο η 3^η Φάση της 5G-PPP με τα έργα υποδομής, automotive, για κάθετες αγορές και συμπληρωματικά έργα. Τα προσδοκώμενα αποτελέσματα και οι στόχοι αυτών των έργων μας βοηθούν να καταλάβουμε πρακτικά το μέγεθος της αλλαγής που πραγματοποιείται με την έλευση του 5G. Μελετώνται μέσω αυτών και τα κίνητρα που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών, κάποια χαρακτηριστικά τους, τη σχεδίαση και τα πρότυπα που ακολουθούν.

Τέλος, στο κεφάλαιο 4 συγκρίνονται οι εικόνες της "εξέλιξης" και "επανάστασης", εκ των οποίων η πρώτη αφορά το μοτίβο των διαρκώς εξελισσόμενων τεχνολογιών κινητής επικοινωνίας και η δεύτερη μια ανατρεπτική αλλαγή σε αυτό το μοτίβο. Και οι δύο

αποτελούν σενάρια στο πώς το 5G θα υιοθετηθεί μελλοντικά και δεν αποκλείουν τη συνδυαστική εμφανισή τους στο μέλλον.

5.1 Πλάνα για το μέλλον

Ο αριθμός των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με 5G συστήματα, εφαρμογές και δοκιμές στον κόσμο αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τους επόμενους μήνες καθώς οι πρώτες συσκευές που θα υποστηρίζουν 5G εμφανίζονται στην αγορά σιγά σιγά από διάφορες εταιρείες. Δεδομένου ότι πολλοί πάροχοι τηλεπικοινωνιών σκοπεύουν να προσφέρουν υπηρεσία 5G το επόμενο έτος, ολόκληρη η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών εργάζεται σκληρά για να επωφεληθεί από τη στροφή προς υψηλότερες συχνότητες ραδιοκυμάτων, [10]:

- Η Qualcomm πρόσφατα παρουσίασε το chipset Snapdragon 855, το οποίο παρέχει δυνατότητες για smartphone 5G. Το Snapdragon 855 αναμένεται να κυκλοφορήσει στις αρχές του 2019.
- Η Verizon ξεκίνησε τα πρώτα δίκτυα ευρυζωνικού δικτύου 5G σε 4 πόλεις στα τέλη του 2018 και σχεδιάζει να βγάλει στην αγορά την ασύρματη υπηρεσία 5G το 2019, αφού τα πρώτα τηλέφωνα που υποστηρίζουν 5G βγήκαν στην αγορά.
- Η AT & T ξεκίνησε 5G κινητά hotspots σε δώδεκα πόλεις το 2018 και θα προσθέσει τουλάχιστον 9 ακόμα το 2019.
- Η Sprint και η LG σχεδιάζουν να κυκλοφορήσουν το πρώτο smartphone 5G το πρώτο εξάμηνο του 2019. Η Sprint θα έχει το δικό της δίκτυο 5G σε λειτουργία σε τουλάχιστον 9 πόλεις κατά τη διάρκεια της εξαγωγής στην αγορά του smartphone.
- Η Motorola παρουσίασε τη νέα της συσκευή Moto Mod 5G το 2018. Το συγκεκριμένο μοντέλο τοποθετείται στη συσκευή Moto Z3 και τη μετατρέπει σε συσκευή με δυνατότητα 5G. Το Mod 5G θα είναι διαθέσιμο για αγορά το 2019.
- Εταιρείες όπως η Zayo βοηθούν να τοποθετηθούν οι απαραίτητες ίνες για να υποστηρίξουν τα δίκτυα 5G, ενώ άλλες όπως η Siklu παρέχουν σταθερές ασύρματες κεραίες και μικρές κυψέλες.

Οι κατασκευαστές συσκευών 5G διαδραματίζουν συνεπώς έναν από τους σημαντικότερους ρόλους στην υιοθέτηση του 5G. Ταυτόχρονα, χρειάζονται αυξανόμενη κάλυψη δικτύου, ενώ τα ασύρματα δίκτυα χρειάζονται όλο και μεγαλύτερο αριθμό συμβατών συσκευών. Η νέα τεχνολογία 5G επηρεάζει επιπρόσθετα το σχεδιασμό της συσκευής. Ορισμένα πρωτότυπα υπάρχουν ήδη σήμερα, αλλά θα χρειαστεί λίγος χρόνος ώστε να μπορέσουν οι κατασκευαστές να ενσωματώσουν σωστά - και αισθητικά - νέες κεραίες 5G σε κινητές συσκευές.

Μερικές προκλήσεις στην υλοποίηση του 5G είναι οι εξής:

- Ασφάλεια: Αναμένεται ότι ένα ευρύ φάσμα ζητημάτων ασφάλειας θα εμφανιστεί σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G, λόγω πολλών παραγόντων, όπως: (i) η ανοικτή αρχιτεκτονική του συστήματος 5G με βάση την IP, (ii) η ποικιλομορφία της βασικής πρόσβασης (iii) η πληθώρα των διασυνδεδεμένων συσκευών επικοινωνίας, οι οποίες θα είναι επίσης εξαιρετικά κινητές και δυναμικές, (iv) η ετερογένεια των τύπων συσκευών όσον αφορά τις δυνατότητες υπολογιστικής, ισχύος και αποθήκευσης μνήμης, (v) τα ανοικτά λειτουργικά συστήματα των συσκευών και (vi) το γεγονός ότι οι διασυνδεδεμένες συσκευές πρόκειται να λειτουργούν συνήθως από μη επαγγελματίες χρήστες σε θέματα ασφάλειας. Κατά συνέπεια, τα συστήματα επικοινωνιών 5G θα πρέπει να αντιμετωπίζουν περισσότερες και πολύ πιο έντονες απειλές από τα υφιστάμενα υπάρχοντα συστήματα κινητών επικοινωνιών.

- Η κοινή χρήση ραδιοσυχνοτήτων, η διαχείριση παρεμβολών, οι επικοινωνίες πολλαπλών αλμάτων και η ενεργειακή απόδοση είναι μείζονες προκλήσεις στο υπερβολικά πυκνό κινητό περιβάλλον 5G και απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.
- Ανάγκη νέων τερματικών: Οι χρήστες κινητών τηλεφώνων θα πρέπει να προμηθευτούν τηλέφωνα και συσκευές συμβατά με το 5G, γεγονός που ενδεχομένως να καθυστερήσει τη διείσδυση του 5G. Η εμφάνιση συσκευών 5G, σιγά σιγά έχει αρχίσει με πολύ αργά βήματα.
- Κοστοβόρο υλικό και διαδικασίες ανάπτυξης δικτύου 5G, καθώς τα περισσότερα συστήματα θα πρέπει να στηθούν εκ νέου. Επιπλέον, αυτό οφείλεται αφενός μεν στην χρησιμοποίηση νέων ζωνών φάσματος που πρέπει να αποκτηθεί αλλά και από την μεγάλη πύκνωση των νέων σταθμών βάσης που πρέπει να εγκατασταθούν.
- Οι διαδικασίες αδειοδότησης και εγκατάστασης των δικτύων μπορεί να αποτελέσουν χρονοβόρες διαδικασίες και να απαιτήσουν σωστό συντονισμό και εργασία για να βγει στην αγορά το 5G στο χρονοδιαγράμμα που έχει προβλεφθεί.

Παρόλο που η υπηρεσία 5G μπορεί να αρχίσει να διατίθεται ευρύτερα κατά το επόμενο έτος, η τεχνολογία 4G θα εξακολουθήσει να αποτελεί την προεπιλεγμένη υπηρεσία σε ορισμένες περιοχές. Όσον αφορά τις προαναφερθείσες προκλήσεις, γίνεται συνεχής προσπάθεια αντιμετώπισής τους μέσω δοκιμών που θα συνεχίζονται μέχρι αυτές να εξαλειφθούν. Η εκτεταμένη κάλυψη των 5G υπηρεσιών θα μπορούσε να διαρκέσει μια δεκαετία - αλλά όσον αφορά τις ευρύτερες βιομηχανικές εφαρμογές 5G, οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η υιοθέτηση θα ξεκινήσει στις αρχές της δεκαετίας του 2020.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Air Interface Latency	Καθυστέρηση Μετάδοσης στο Κανάλι
Application Programming Interface	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
Capex	Κεφαλαιουχικά Έξοδα
Control Plane	Επίπεδο Ελέγχου
Cyber - Bullying	Διαδικτυακή Παρενόχληση
Discretionary Spending	Προαιρετικές Δαπάνες
Downlink	Κατερχόμενη Ζεύξη
electronic Health	Ηλεκτρονική Υγεία
Handover	Μεταπομπή
Hotspot	Ασύρματο Δίκτυο
Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Milestone	Καθοριστικό Χρονικό Σημείο
Mobile Edge Computing	Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου
Network Function Virtualisation	Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου
Neutral Host Model	Μοντέλο Ουδέτερου Κεντρικού Υπολογιστή
Opex	Λειτουργικά Έξοδα
Smart Grid	Έξυπνο Δίκτυο Ενέργειας
Smart Wearables	Έξυπνα Φορετά Αντικείμενα
Social Media	Κοινωνικά Μέσα
Software Defined Networks	Δικτύωση Βασισμένη στο Λογισμικό
Tactile Internet	Απτό Διαδίκτυο
Throughput	Ρυθμαπόδοση
Uplink	Ανερχόμενη Ζεύξη
User Plane	Επίπεδο Χρήστη

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
5G NR	5G New Radio
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
ARPU	Average Revenue Per User
CCAM	Connected and Automated Mobility
CDMA	Code Division Multiple Access
CoMP	Coordinated Multi Point
CDN	Content Delivery Networks
C-V2X	Cellular Vehicle - To – Everything
EBU	European Broadcasting Union
eHealth	Electronic Health
eMBB	enhanced Mobile Broadband
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
ESA	European Space Agency
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FC	Fog Computing
gNB	next Generation Node B
GPRS	Global Positioning System
HTC	Human Type Communication
IETF	Internet Engineering Task Force
IoE	Internet of Everything
IoV	Internet of Vehicles
IT	Information Technology
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector
KPI	Key Performance Indicators
LAA	License Assisted Access
LoRa	Long Range
LoraWAN	LoRA WirelessAccess Network
LPWA	Low Power Wide Area
LTE	Long Term Evolution
MANO	Management and Orchestration

MEC	Mobile Edge Computing
MIMO	Multiple Input, Multiple Output
mMTC	Massive Machine Type Communications
MNO	Mobile Network Operator
MTC	Machine Type Communication
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
MWC	Mobile World Congress
NFV	Network Function Virtualisation
NFVI	Network Function Virtualisation Infrastructure
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NSA	Non Stand Alone
ONF	Open Networking Foundation
PaaS	Platform as a Service
PoP	Point of Presence
PPDR	Public Protection Disaster Relief
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
R&D	Research and Development
RAN	Radio Access Network
RIA	Research and Innovation Action
RRM	Radio Resource Management
SA	Stand Alone
SCAsS	Small Cell-as-a-Service
SDN	Software Defined Networks
SDO	Standard's Development Organization
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio
SLA	Service Level Agreement
SMS	Short Message
TDMA	Time Division Multiple Access
TWDM - PON	Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network
UAS TM	Unmanned Aerial System Traffic Management
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
URLLC	Ultra - Reliable - Low - Latency - Communication
V2N	Vehicle to Network

V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VNF	Virtual Network Functions
VR	Virtual Reality
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν
E2E	End to End
ΕΕΤΤ	Ελληνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων
IoT	Internet of Things
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] W. Lemstra, "Towards the successful deployment of 5G in Europe: Two contrasting scenarios", Sept. 2017; <https://bit.ly/2UGp0Mm> [Προσπελάστηκε 15/3/19]
- [2] J. Papiewski, "What Are The Advantages of Wireless Communication?", [itstillworks.com](https://itstillworks.com/advantages-wireless-communication-1121.html); <https://itstillworks.com/advantages-wireless-communication-1121.html> [Προσπελάστηκε 15/3/19]
- [3] Joseph C., "How Wireless Communication Changed the World", Small Business - Chron.com Oct. 2019; <https://smallbusiness.chron.com/wireless-communication-changed-world-33596.html> [Προσπελάστηκε 16/3/19]
- [4] Ν. Γουδρουμανίδης, "Μελέτη και Έρευνα για Δίκτυα 5^{ης} Γενιάς", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λαμία, 2017.
- [5] IMT – 2020 White Paper 2015 5G Network Architecture: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> [Προσπελάστηκε 25/3/19]
- [6] NGMN Alliance (2015). 5G White Paper. Frankfurt am Main, Germany.
- [7] Ericsson, "Mobility Report", November 2018.
- [8] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper", 2019.
- [9] Council of the European Union, "Electronic Communications Code": <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/electronic-communications-code/> [Προσπελάστηκε 25/4/19]
- [10] GSA Report, "Global Progress to 5G - Trials, Deployments and Launches", February 2019.
- [11] 5G-PPP, "The 5G Infrastructure Public Private Partnership": <https://5g-ppp.eu/> [Προσπελάστηκε 30/5/19]
- [12] 5G-PPP, "5G Infrastructure Association": <https://5g-ppp.eu/5g-infrastructure-association/> [Προσπελάστηκε 30/5/19]
- [13] European 5G Observatory, "5G Cities": <https://5gobservatory.eu/info-deployments/5g-cities/> [Προσπελάστηκε 1/6/19]
- [14] Barcelona.cat, "Barcelona gears up to become the European 5G lab": https://ajuntament.barcelona.cat/digital/en/noticia/barcelona-gears-up-to-become-the-european-5g-lab_599278 [Προσπελάστηκε 1/6/19]
- [15] ESA, "Space - enabled Internet of Things in Berlin": https://m.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Space-enabled_Internet_of_Things_shown_in_Berlin [Προσπελάστηκε 2/6/19]
- [16] Patras Smart City Innovation Hub, "Οραματικός Χάρτης για Ανοιχτές Ψηφιακές Υποδομές": https://www.forumanaptixis.gr/images/Forum_Anaptixis_2018/Eisigiseis/eleftheria%20makrigenni/epistimoniko%20parko/Patras_Smart_City_Innovation_Hub_Presentation_gr_2311.pptx [Προσπελάστηκε 2/6/19]
- [17] University of Oulu, "Open 5G connection in Finland's test network now in use": <https://www.oulu.fi/university/news/open-5g-connection> [Προσπελάστηκε 2/6/19]
- [18] University of Bristol, "Smart City Safety": <https://www.bristol.ac.uk/engineering/research/smart/5g-demonstrations/smart-city-safety/> [Προσπελάστηκε 3/6/19]
- [19] 5G Infrastructure Association, "5G Pan - European Trials Roadmap version 4.0", 2018.
- [20] 5G CroCo, "5G Cross Border Control": <https://5gcroco.eu/> [Προσπελάστηκε 5/6/19]
- [21] 5G Carmen, "5G dor Connected and Automated Road Mobility in the European Union": <https://www.5gcarmen.eu/> [Προσπελάστηκε 5/6/19]
- [22] 5G - Mobix, "Driving forward Connected and Automated Mobility": <https://www.5g-mobix.com/> [Προσπελάστηκε 5/6/19]
- [23] 5Genesis, "5th Generation End - to - End Network, Experimentation, System Integration, and Showcasing": <https://5genesis.eu/> [Προσπελάστηκε 3/6/19]
- [24] 5G - Vinni, "5G Verticals innovation infrastructure": <https://www.5g-vinni.eu/> [Προσπελάστηκε 3/6/19]
- [25] 5G - Eve, "5G European Validation platform for Extensive trials": <https://5g-ppp.eu/5g-eve/> [Προσπελάστηκε 3/6/19]
- [26] 5G Solutions, "5G Solutions for European Citizens": <https://www.5gsolutionsproject.eu/> [Προσπελάστηκε 5/6/19]
- [27] 5Growth, "5G-enabled Growth in Vertical Industries": <http://5growth.eu/> [Προσπελάστηκε 7/6/19]
- [28] 5G - Tours, "SmarT mObility, media and e-health for toURists and citizenS": <http://5gtours.eu/> [Προσπελάστηκε 7/6/19]
- [29] 5G-PPP, The 5G Infrastructure Public Private Partnership, "5G Smart": <https://5g-ppp.eu/5g-smart/> [Προσπελάστηκε 7/6/19]
- [30] 5G-PPP, The 5G Infrastructure Public Private Partnership, "5G - VICTORI!": <https://5g-ppp.eu/5g-victori/> [Προσπελάστηκε 7/6/19]
- [31] 5G!Drones, "Drones in the 5G era!": <https://5gdrones.eu> [Προσπελάστηκε 8/6/19]

- [32] 5G - HEART, "5G Health, Aquaculture and Transport validation trials": <http://5gheart.org/>
[Προσπελάστηκε 8/6/19]
- [33] 5G-PPP, The 5G Infrastructure Public Private Partnership, "Full5G": <https://5g-ppp.eu/full-5g/>
[Προσπελάστηκε 8/6/19]
- [34] 5G – Drive: <https://5g-drive.eu/> [Προσπελάστηκε 8/6/19]
- [35] European 5G Observatory, "5G Observatory Quarterly Report 3 Up to March 2019", Απρίλιος 2019.
- [36] The 5G Infrastructure Public Private Partnership, "5G PPP Phase 1 Projects": <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-1-projects/> [Προσπελάστηκε 10/6/19]
- [37] The 5G Infrastructure Public Private Partnership, "5G PPP Phase 2 Projects": <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-2-projects/> [Προσπελάστηκε 10/6/19]