



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### «Επικοινωνίες 5ης Γενιάς (5G) Εφαρμογές, Τεχνολογίες και Πρότυπα»

Του φοιτητή

Μίντη Δημήτρη

Αρ. Μητρώου: 11/2016

Επιβλέπων μέλος ΔΕΠ

Δρ. Περικλής Χατζημίσιος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΑΤΕΙΘ

Οκτώβριος 2018

Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έρευνα για το δίκτυο 5ης γενιάς (5G) έχει βρεθεί στο κέντρο του ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια. Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, η αξιοπιστία, η ενεργειακή απόδοση αλλά και η δυνατότητα διασύνδεσης πολλών και ετερογενών συσκευών σε ένα ενιαίο δίκτυο αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 5G. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι είναι ανάγκη να δημιουργηθούν ευέλικτα δίκτυα που θα μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις του νέου συστήματος τηλεπικοινωνιών. Όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς, όπως τα ρυθμιστικά όργανα, οι αρχές τυποποίησης, τα βιομηχανικά φόρουμ, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών και οι εταιρείες πωλήσεων εξοπλισμού, πρέπει να εργαστούν από κοινού για να φέρουν εις πέρας το 5G. Η διαδικασία προτυποποίησης βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2020 όπου και θα ξεκινήσει η εμπορική διάθεση. Η Πέμπτη γενιά τηλεπικοινωνιών θα δημιουργήσει ένα οικοσύστημα για τεχνική και επιχειρηματική καινοτομία που θα αλλάξει θεμελιωδώς ολόκληρες κάθετες αγορές όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ενέργεια, η γεωργία, η διαχείριση της πόλης, η υγειονομική περίθαλψη, η μεταποίηση και θα ανοίξει νέα σύνορα για υπηρεσίες και εφαρμογές.



## **ABSTRACT**

Research on the 5th generation (5G) network has been at the center of interest in recent years. High transmission rates, reliability, energy efficiency and the ability to interconnect multiple and heterogeneous devices into a single network are key features of 5G technology. In order to achieve these objectives, it is necessary to create flexible networks that can meet the requirements of the new telecommunications system. All stakeholders, such as regulators, standardization authorities, industrial fora, mobile operators and equipment sales companies must work together to complete the 5G. The standardization process is in full growth and is expected to be completed in 2020. The fifth generation of telecommunications will create an ecosystem of technical and business innovation that will fundamentally change entire vertical markets such as automotive, energy, agriculture, city management, health care and manufacturing and will open new frontiers for services and applications.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους εκείνους που με τον δικό του τρόπο ο καθένας ξεχωριστά μπόρεσε να με βοηθήσει στην περάτωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Περικλή Χατζημίσιο, για τη συνεχή καθοδήγηση αλλά και ενθάρρυνση του. Τα σχόλια αλλά και οι παρατηρήσεις του αποτέλεσαν πολύτιμα εφόδια για την ολοκλήρωση αυτής.

Επίσης ευχαριστώ όλους τους καθηγητές που συνεργάστηκα κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στο τμήμα Πληροφορικής του Αριστοτελείου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ευχαριστώ ακόμα, τους συναδέλφους του μεταπτυχιακού αυτού προγράμματος με τους οποίους μέσα από συζητήσεις και τις συνεργασίες για την υλοποίηση αρκετών κοινών εργασιών μας, καταφέραμε να διευρύνουμε το γνωστικό μας πεδίο στις τρέχουσες τεχνολογίες.

Πέραν και πάνω από όλους όμως, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στην οικογένεια μου, η οποία με στηρίζει όλα τα χρόνια σε κάθε μου βήμα.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ABSTRACT .....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
Ευρετήριο εικόνων .....	13
Ευρετήριο πινάκων.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Εισαγωγή.....	17
1.1 – Εισαγωγή.....	17
1.2 – Στόχοι και σκοποί της διπλωματικής εργασίας .....	18
1.3 – Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....	20
2.1 – Εισαγωγή.....	20
2.2 – Χαρακτηριστικά και σύγκριση .....	21
2.2.1 – 1G.....	22
2.2.2 – 2G.....	22
2.2.3 – 3G.....	23
2.2.4 – 4G.....	23
2.2.5 – 5G.....	25
2.3 – Τεχνολογίες 5G.....	28
2.3.1 – Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR .....	28
2.3.2 – Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV).....	29
2.3.3 – Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN) .....	30
2.3.4 – Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing) .....	30
2.3.5 – Συνάθροιση φορέων και χιλιοστό-μετρικά κύματος (mm Wave).....	31
2.3.6 – Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων.....	31
2.4 – Αρχιτεκτονική 5G.....	32
2.4.1 – Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής 5G .....	33
2.4.2 – Αρχιτεκτονική βασισμένη στην υπηρεσία .....	35
2.4.3 – Κοινό δίκτυο πυρήνα .....	37
2.4.4 – Τεμαχισμός Δικτύου .....	38
2.4.5 – Υποστήριξη εφαρμογών.....	41



2.5 – Επίλογος κεφαλαίου.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ .....	44
3.1 – Εισαγωγή.....	44
3.2 – Περιπτώσεις Χρήσης.....	44
3.2.1 – Ενισχυμένη κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας.....	45
3.2.2 – Συνδεδεμένα οχήματα.....	45
3.2.3 – Ενισχυμένα πολυμέσα .....	46
3.2.4 – Μαζικό Διαδίκτυο των πραγμάτων .....	46
3.2.5 – Εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης.....	48
3.3 – Κλάδος υγείας .....	48
3.3.1 – Τηλεϊατρική .....	48
3.3.2 – Συσκευές ελέγχου υγείας (wearables).....	49
3.3.3 – Τηλεχειρουργική.....	50
3.3.4 – Διαχείριση νοσοκομειακού υλικού .....	50
3.4 – Κλάδος Αυτοκινητοβιομηχανίας .....	50
3.4.1 – Έλεγχος κυκλοφορίας και αυτοματοποιημένη οδήγηση.....	50
3.4.2 – Ανίχνευση σύγκρουσης.....	52
3.4.3 – Υπηρεσίες Διαδικτύου εν κινήσει.....	52
3.4.4 – Ψηφιοποίηση των μεταφορών και των logistics.....	52
3.5 – Κλάδος Ενέργειας .....	53
3.5.1 – Έξυπνο δίκτυο (Smart grid) .....	53
3.5.2 – Έξυπνοι μετρητές.....	54
3.5.3 – Ηλεκτρικά οχήματα.....	55
3.6 – Κλάδος Βιομηχανίας.....	56
3.6.1 – Βιομηχανικός αυτοματισμός.....	56
3.6.2 – Επαυξημένη πραγματικότητα .....	57
3.6.3 – Συνεργατικά ρομπότ.....	57
3.7 – Κλάδος Ψυχαγωγίας και ενημέρωσης.....	58
3.7.1 – Έξυπνο γραφείο (Smart office).....	58
3.7.2 – Διάχυτο βίντεο.....	59
3.7.3 – Μαζική συγκέντρωση .....	59
3.7.4 – Εικονική πραγματικότητα .....	60

3.7.5 – Παραγωγές ενημέρωσης.....	60
3.7.6 – Βίντεο υψηλής ευκρίνειας .....	60
3.8– Επίλογος κεφαλαίου .....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4– Διαδικασίες Προτυποποίησης .....	62
4.1 – Εισαγωγή.....	62
4.2– Φορείς Προτυποποίησης.....	62
4.3 – Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU).....	63
4.3.1 – ITU-R .....	64
4.3.2 – ITU-T.....	65
4.4– 3rd Generation Partnership Project (3GPP).....	66
4.5– Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE .....	72
4.5.1 – IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee.....	72
4.5.2 – Πρότυπα κοινωνίας των επικοινωνιών (ComSoc Standards For 5G and Beyond) .....	77
4.6– Internet Engineering Task Force-IETF.....	83
4.7– Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI-European Telecommunications Standards Institute).....	85
4.8– Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology-NIST) .....	88
4.9– 5G AMERICA.....	93
4.10– Chinese Evaluation Group IMT2020 .....	95
4.11– Συμμαχία για λύσεις στην Βιομηχανία των Τηλεπικοινωνιών (Alliance for Telecommunications Industry Solutions -ATIS) .....	97
4.12– GSMA .....	98
4.13– 5GPP .....	99
4.14– Συμμαχίας Νέων Γενεών Κινητών Δικτύων (Next Generation Mobile Networks-NGMN) .....	102
4.15– Τεχνική Συμβουλευτική Ομάδα της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (Federal Communications Commission Technical Advise Council-FCC TAC ACTIVITIES).....	103
4.16– Ακαδημαϊκή κοινότητα.....	104
4.16.1 – Πανεπιστήμιο του Surrey.....	104
4.16.2 Πανεπιστήμιο του Τέξας .....	105
4.16.3 – Πανεπιστήμιο της Νέα Υόρκης (NYU) .....	106

4.16.4– Ερευνητικό Κέντρο Ασύρματης Τεχνολογίας του Μπέρκλεϋ (UC Berkeley Wireless Research Center-Berkeley) .....	106
4.16.5 – Τεχνικό πανεπιστήμιο της Δρέσδης (TU DRESDEN) .....	107
4.16.6 – Tokyo Institute of Technology .....	108
4.16.7 – Κέντρου Τηλεπικοινωνιακών Ερευνών (CTR) King’s College.....	108
4.17– Επίλογος κεφαλαίου.....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5– Δοκιμές .....	110
5.1 – Εισαγωγή.....	110
5.2 – Δοκιμές στην Ευρώπη.....	110
5.2.1 – Δημιουργία της ετοιμότητας της Ευρώπης στο 5G μέσω ιδιωτικών δοκιμών-Βιομηχανίας.....	112
5.2.2 – Το 5G στο UEFA EURO 2020 .....	113
5.2.3 – 5G Trials Cities .....	114
5.2.4 – 5G Δοκιμές ιδιωτικής πρωτοβουλίας .....	115
5.3 – Δοκιμές στην Αμερική.....	117
5.3.1 – Δοκιμές σε νέες δυνατότητες στη διαχείριση της ζώνης φάσματος.....	117
5.3.2 – Δοκιμές ιδιωτικού τομέα της Αμερικής .....	118
5.4– Δοκιμές στην Ασία.....	122
5.4.1 – Κίνα .....	122
5.4.2 – Ιαπωνία .....	124
5.4.3 – Νότια Κορέα .....	128
5.5 – Επίλογος κεφαλαίου.....	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 –ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (PROJECT) 5G .....	135
6.1 – Εισαγωγή.....	135
6.2 – 5G-XHaul .....	137
6.3 – 5G-ESSENCE.....	138
6.4 – 5GCAR/ Αυτοκινητοβιομηχανία Έρευνα και καινοτομία Πέμπτης Γενιάς.....	140
6.5 – 5G-City .....	140
6.6 – 5G-MEDIA.....	141
6.7 – 5G-MonArch.....	141
6.8 – 5G- PICTURE .....	142
6.9 – 5G Transformer .....	144

6.10 – 5G-Xcast .....	144
6.11 – IoRL (Internet of Radio Light) .....	145
6.12 – MATILDA .....	146
6.13 – METRO-HAUL .....	147
6.14 – NRG-5 / Enabling Smart Energy as a Service via 5G Mobile Network advances .....	148
6.15 – SLICENET .....	149
6.16 – To-Euro-5G .....	149
6.17 – 5G EVE.....	151
6.18 – 5G-VINNI .....	152
6.19 – 5GENESIS.....	152
6.17 – Επίλογος κεφαλαίου.....	153
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7– Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα (ή μελλοντικές επεκτάσεις) .....	154
7.1 – Ανασκόπηση.....	154
7.2 – Συμπεράσματα (και προτάσεις).....	154
7.3 – Μελλοντική έρευνα (ή Μελλοντικές επεκτάσεις).....	155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	157

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 – Εξέλιξη Τηλεπικοινωνιών [8].....	26
Εικόνα 2 – Κυτταρική διάταξη με συνύπαρξη σε κάλυψη NR και LTE [11] .....	29
Εικόνα 3 – Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων [17] .....	32
Εικόνα 4 – 5G Αρχιτεκτονική [18].....	34
Εικόνα 5-Τοπικό Σενάριο [11] .....	36
Εικόνα 6-Παράδειγμα κατακερματισμού δικτύου 4 φετών [22] .....	39
Εικόνα 7-Κατακερματισμός δικτύου [22] .....	40
Εικόνα 8-Επίπεδο Υπηρεσιών [22] .....	42
Εικόνα 9 –Σενάρια σύνδεσης κόμβων περιαγωγής [22].....	43
Εικόνα 10 –Ταξινόμηση περιπτώσεων χρήσης [26] .....	45
Εικόνα 11 –Μαζικό IoT [27].....	47
Εικόνα 12 -5G και Ιατρική [29] .....	49
Εικόνα 13 –Έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας [33].....	51
Εικόνα 14- Αυτόνομη οδήγηση [35] .....	53
Εικόνα 15 – Έξυπνη διαχείριση ενέργειας [37] .....	55
Εικόνα 16 – Industry 4.0 [40] .....	57
Εικόνα 17 – Χρονοδιάγραμμα Προτυποποίησης ITU (48).....	65
Εικόνα 18 –Χρονοδιάγραμμα ομάδων τεχνικών προδιαγραφών 5G 3GPP [56] .....	67
Εικόνα 19 –Ομάδες τεχνικών προδιαγραφών 5G 3GPP [57].....	68
Εικόνα 20 –Χρονοδιάγραμμα προτυποποίησης 5G 3GPP [5].....	72
Εικόνα 21 –Διασύνδεση έξυπνων συσκευών [64] .....	73
Εικόνα 22 – Αρχιτεκτονική NFV [75].....	86
Εικόνα 23 – Αρχιτεκτονική MEC [76] .....	87
Εικόνα 24 – Σύστημα MIMO [82].....	89
Εικόνα 25 – Παράδειγμα MIMO [83].....	90
Εικόνα 26 – δομή του IMT-2020 (5G) PG [89] .....	95
Εικόνα 27 – Κέντρο Έρευνας 5GIC Surrey (5G) PG [102].....	105
Εικόνα 28 – Απτικό Διαδίκτυο (Tactile Internet) [106].....	108
Εικόνα 29 – Οδικός Χάρτης Δοκιμών 5G PG [110].....	111
Εικόνα 30 – Δοκιμές στο EURO 2020 [111] .....	114
Εικόνα 31 – Έξυπνες Πόλεις [113].....	115
Εικόνα 32 – Δοκιμές Sprint’s σε διάφορες πόλεις [121].....	120
Εικόνα 33 – Verizon Κέντρο Τεχνολογίας [123].....	121
Εικόνα 34 – 5G DOCOMO [128].....	127
Εικόνα 35 – Δοκιμές SK Telecom [132] .....	129
Εικόνα 36 – ΚΤ Δοκιμές [133] .....	130
Εικόνα 37 – ΚΤ Δοκιμές στην Ganghwamun and PyeongChang [134].....	131
Εικόνα 38 – ΚΤ 5G CAR [135] .....	132
Εικόνα 39 – 5G Ολυμπιακοί Αγώνες Τοκιο 2020 [136].....	133
Εικόνα 40 – Αρχιτεκτονική 5G-ΧHaul [139] .....	138

Εικόνα 41 – Αρχιτεκτονική 5G ESSENCE [140]] .....	139
Εικόνα 42 – Αρχιτεκτονική 5G PICTURE [145] .....	143
Εικόνα 43 – Αρχιτεκτονική 5G XCAST [147].....	145
Εικόνα 44 – MATILDA [149].....	147

## **Ευρετήριο πινάκων**

Πίνακας 1 – Πίνακας Σύγκρισης Ασύρματων Τεχνολογιών [4] .....	21
Πίνακας 2 –Οι ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης IMT2020 [9] .....	27
Πίνακας 3 –Πίνακας Ερευνητικών Προγραμμάτων Φάση 1 5GPPP [138] .....	135
Πίνακας 4 –Πίνακας Ερευνητικών Προγραμμάτων Φάση 2 5GPPP [154] .....	150





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Εισαγωγή

### 1.1 – Εισαγωγή

Η χρήση των συσκευών επεκτείνεται όλο και περισσότερο, ενώ οι σύγχρονες ανάγκες για επικοινωνία και πρόσβαση στο διαδίκτυο δημιουργούν την ανάγκη για την προέκταση των δικτύων επικοινωνιών. Σκοπός είναι η αύξηση των δυνατοτήτων που διαθέτουν τα κινητά τερματικά και κατ' επέκταση την βελτίωση των υπηρεσιών που παρέχονται στον τελικό χρήστη. Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων, βοήθησε στην παροχή επιπλέον υπηρεσιών στους χρήστες πέραν από αυτές που μπορούσαν να προσφέρουν οι προηγούμενες. Εκτός από τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που υπόσχονται, αποσκοπούν στη δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου, το οποίο θα ενσωματώνει όλα τα προϋπάρχοντα δίκτυα και θα εξυπηρετεί έναν ακόμα μεγαλύτερο αριθμό χρηστών.

Οι κινητές επικοινωνίες έχουν αλλάξει από ένα σύστημα ικανό να μεταδίδει φωνητικές συνομιλίες για εκατομμύρια χρήστες σε ένα σύστημα που υποστηρίζει τρισεκατομμύρια συσκευές, μεταφέροντας κυρίως δεδομένα παρά φωνή. Θα χρειαστούν νέες τεχνολογίες και νέες αρχιτεκτονικές δικτύων για να καλύψουν τις ανάγκες των μελλοντικών χρηστών.

Τα πρότυπα χρήσης του 5G (IMT 2020) προβλέπεται να υποστηρίξουν μια ποικιλία σεναρίων χρήσης / περιπτώσεων χρήσης. Αναμένεται η ανάπτυξη νέων περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών, όπως της επαυξημένης πραγματικότητας, της εικονικής πραγματικότητας, της απομακρυσμένης επικοινωνίας, των υπηρεσιών ηλεκτρονικής υγείας, της αυτοματοποιημένης οδήγησης και πολλών άλλων .

Η ανάγκη για ένα ενιαίο δίκτυο πολλών και ετερογενών συσκευών φανερώνει και τη σπουδαιότητα της διαδικασίας προτυποποίησης. Πολλοί οργανισμοί τυποποίησης, φόρουμ της βιομηχανίας ανεξάρτητες εργασίες, ευρωπαϊκά

προγράμματα συμμετέχουν στην προτυποποίηση του 5G που αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2020.

Παράλληλα με τη διαδικασία προτυποποίησης πραγματοποιούνται και οι πρώτες εφαρμογές και δοκιμές με βάση τις δυνατότητες που θα φέρει η ανάπτυξη του 5G. Σκοπός τους είναι να δείξουν τις δυνατότητες του 5G και την εξέλιξη που θα φέρει σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας. Επίσης είναι σημαντική και η εμπειρία που πρέπει να αποκτηθεί από τους φορείς, τους παρόχους και τις εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακού υλικού που συμμετέχουν στις πρώιμες αυτές δοκιμές.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 2015 στο πλαίσιο του 5GPP έχουν εγκριθεί διάφορες εργασίες που χρηματοδοτούνται με σκοπό να μελετήσουν τεχνολογίες που θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του 5G.

## 1.2 – Στόχοι και σκοποί της διπλωματικής εργασίας

Οι απαιτήσεις της σημερινής εποχής στις τηλεπικοινωνίες ωθούν τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό της πέμπτης γενιάς κινητής τεχνολογίας. Το 5G αναμένεται να παρέχει δυνατότητες για τεράστια χωρητικότητα, μαζική συνδεσιμότητα και κινητικότητα με αποτέλεσμα να υποστηρίζει διαφορετικούς ετερογενείς τύπους συσκευών, εφαρμογών και χρηστών. Στα τέλη του 2017 η ερευνητική κοινότητα κατέληξε στις προδιαγραφές που απαιτούνται για την ανάπτυξη της νέα γενιάς τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Με βάση τις προδιαγραφές αυτές παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και η αρχιτεκτονική που πρέπει να εξελιχτούν για να κάνουν εφικτό το όραμα του 5G. Έγινε η σχετική ανασκόπηση των περιπτώσεων χρήσης οι οποίες φανερώνουν και τα οφέλη της νέας τεχνολογίας σε τομείς της βιομηχανίας αλλά και της καθημερινότητας. Μελετήθηκαν οι διαδικασίες προτυποποίησης και οι προσπάθειες των φορέων ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ολοκλήρωσης του προτύπου το 2020. Καταγράφονται επίσης οι πρώιμες δοκιμές που ανακοινώθηκαν και σχεδιάζονται παγκοσμίως από φορείς αλλά και ιδιωτικές εταιρείες που θέλουν να γίνουν οι πρωτοπόροι στην ανάπτυξη του 5G. Τονίζεται

επίσης και η προσπάθεια της ακαδημαϊκής κοινότητας με τη δημιουργία ερευνητικών κέντρων που παρουσιάζουν ήδη σημαντικό έργο που αφορά το νέο τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Τέλος παρουσιάζονται τα ερευνητικά έργα που έχει εγκρίνει και χρηματοδοτεί η Ευρωπαϊκή επιτροπή από το 2015 και ήδη έχουν παράγει σημαντικά αποτελέσματα ερευνών.

### **1.3 – Δομή της διπλωματικής εργασίας**

Το πρώτο κεφάλαιο κάνει μια εισαγωγή και καθορίζει τους στόχους της διπλωματικής. Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τις νέες τεχνολογίες στις οποίες θα βασιστεί το 5G και την αρχιτεκτονική του. Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις περιπτώσεις χρήσης και τις εφαρμογές των δικτύων 5G. Το επόμενο κεφάλαιο ασχολείται με τη διαδικασία προτυποποίησης και το χρονοδιάγραμμα ολοκλήρωσης που ορίζεται το 2020. Το κεφάλαιο πέντε ασχολείται με τις πρώιμες δοκιμές που πραγματοποιούνται και προγραμματίζονται στον ορίζοντα του IMT2020. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τα ερευνητικά έργα που έχουν εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπεύθυνη για την εξέλιξη του 5G στην Ευρώπη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

### 2.1 – Εισαγωγή

Καθημερινά όλο και περισσότεροι άνθρωποι και συσκευές είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα. Η ανάπτυξη κυρίως των ασύρματων επικοινωνιών ήταν εκείνη που οδήγησε στην ραγδαία ανάπτυξη στις επικοινωνίες. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 που ξεκίνησε φτάσαμε σήμερα στην τεχνολογία των έξυπνων συσκευών και στα ασύρματα συστήματα Τέταρτης Γενιάς (4G). Σήμερα οι εφαρμογές που αναπτύσσονται απαιτούν κινητικότητα, υψηλό εύρος ζώνης και χαμηλή καθυστέρηση. Τα χαρακτηριστικά προσφέρονται από τα ασύρματα συστήματα κινητής επικοινωνίας πέμπτης γενιάς [1]. Παρατηρείται ότι σχεδόν κάθε δέκα χρόνια η κυβελοειδής ασύρματη γενιά αλλάζει κυρίως όσον αφορά την τεχνολογία μετάδοσης και τις ζώνες συχνοτήτων.

Ξεκινώντας από το 1G έως το 2G και αναλογικά δίκτυα από το 1981 μέχρι το 1995 οδηγηθήκαμε στην τρίτη γενιά που υποστήριζε τη μετάδοση πολυμέσων, την ποιότητα καθώς και την αύξηση στην χωρητικότητα των συστημάτων. Έτσι φτάνοντας στην κινητή τεχνολογία Τέταρτης Γενιάς τα δίκτυα μεταγωγής υποστηρίζουν πλέον το πρωτόκολλο του διαδικτύου (IP), είναι σύμφωνα με το πρότυπο της 3GPP Μακροπρόθεσμης Εξέλιξης (3GPP Long Term Evolution-LTE) ενώ υποστηρίζουν επίσης και τη διασύνδεση αισθητήρων και του προσωπικού δικτύου πρόσβασης (Personal access network-PAN). Η βιομηχανία ασύρματης επικοινωνίας παρουσιάζει πολύ μεγάλη ανάπτυξη τόσο στον τομέα της κινητής τεχνολογίας όσο και του αριθμού των χρηστών της.

Η μελλοντική γενιά κινητής ασύρματης επικοινωνίας, κοινώς αναφερόμενη ως 5G, θα είναι πιο έξυπνη, ευέλικτη με σκοπό την σύνδεση πολλών και ετερογενών συστημάτων διαφορετικών απαιτήσεων [2]. Οι τεχνολογίες 5G θα δώσουν ώθηση σε νέες τεχνολογίες όπως η νανοτεχνολογία, η τεχνολογίες νέφους (Cloud Computing-CT) καθώς επίσης και στη διασύνδεση όλων των συσκευών του κόσμου δημιουργώντας ένα παγκόσμιο δίκτυο ετερογενών συσκευών.

## 2.2 – Χαρακτηριστικά και σύγκριση

Το 5G είναι η επόμενη γενιά τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας που υποστηρίζει τη δικτύωση ενός μεγάλου αριθμού συσκευών διαφορετικών απαιτήσεων. Οι υποδομές της 5G θα είναι ευέλικτες και θα ικανοποιούν εύκολα την αυξανόμενη ζήτηση και θα παρέχουν συνδεσιμότητα για πολλαπλές τεχνολογίες όπως η νανοτεχνολογία, η τεχνολογία νέφους (Cloud Technology-CT) και το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Internet Of Things-IoT). Ο κύριος στόχος του 5G θα είναι η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων που θα μεταδίδουν υψηλό αριθμό δεδομένων με ταχύτερο δίκτυο και με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση [3].

Το 5G πρόκειται να είναι μια νέα τεχνολογία που ενεργοποιεί και διασύνδεει το μεγαλύτερο μέρος της υφιστάμενης υποδομής επικοινωνίας. Η πρόοδος των ασύρματων και κυψελοειδών συστημάτων απεικονίζονται στον πίνακα. Ο πίνακας 1 [4] δείχνει τη σύγκριση όλων των γενεών κινητών τεχνολογιών.

Πίνακας 1 – Πίνακας Σύγκρισης Ασύρματων Τεχνολογιών [4]

Τεχνολογία	1G	2G	3G	4G	5G
Ημερομηνία	1970-1984	1980-1999	1990-2002	2000-2010	2014/2020
Εύρος Ζώνης	2Kbps	14-64kbps	2mbps	200mbps	>1gbps
Τεχνολογία	Αναλογική	Ψηφιακή Κυψέλη	CDMA/ Ip	Ip/LAN/WAN/WLAN/PAN	4G WWW
Υπηρεσία	Κινητή Τηλεφωνία	Ψηφιακός ήχος	Υψηλής ανάλυσης εικόνα και βίντεο	Πρόσβαση σε δεδομένα από κινητές συσκευές	Πρόσβαση από κινητές συσκευές με απεριόριστες δυνατότητες
Πολυπλεξία	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Μετάδοση	Circuit	Circuit for access network	Packet except air interface	All packet	All packet
Δίκτυο Πυρήνα	PSTN	PSTN	Packet Network	Internet	Internet

### 2.2.1 – 1G

Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980. Το σύστημα για την επικοινωνία σήματος ομιλίας ήταν αναλογικό. Η Nippon Telephone and Telegraph χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το κυψελοειδές σύστημα στον κόσμο το 1979. Τα Nordic κινητά τηλέφωνα (Nordic mobile telephones-NMT) και τα συστήματα επικοινωνίας συνολικής πρόσβασης (Total Access Communication System-TACS) ήταν τα πιο δημοφιλή αναλογικά συστήματα που χρησιμοποιούνταν εκείνη τη στιγμή. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της πρώτης γενιάς (1G) ήταν ότι όλα αυτά τα συστήματα προσέφεραν δυνατότητες μετάδοσης και περιαγωγής, αλλά τα κυψελοειδή δίκτυα δεν ήταν σε θέση να διαλειτουργούν μεταξύ των διαφορετικών χωρών. Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας (Advanced Mobile Phone System-AMPS) ξεκίνησε το 1982. Το 1G χρησιμοποιούσε πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiple Access-FDMA) και είχε εύρος ζώνης καναλιού μέχρι 30 KHz [5].

### 2.2.2 – 2G

Η δεύτερη γενιά εκτός από σήμα ομιλίας παρέχει νέες υπηρεσίες όπως μηνύματα κειμένου, εικονομηνύματα και μηνύματα πολυμέσων (Multimedia Messaging Service-MMS) για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το 1991, αναπτύχθηκε το πρότυπο του Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global system for mobile communications-GSM). Οι τηλεφωνικές συνομιλίες δικτύου δεύτερης γενιάς πρώτη φορά κρυπτογραφήθηκαν ψηφιακά. Τα συστήματα 2G παρείχαν και υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, ξεκινώντας με μηνύματα κειμένου, εκτός από την παραδοσιακή ομιλία. Το 2G χρησιμοποιεί δύο πρότυπα για πολλαπλή πρόσβαση. Αυτό που βασίζεται στο χρόνο (Time-Division Multiple Access-TDMA) και τη πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code-Division Multiple Access-CDMA). Στο 2G, η τεχνολογία GSM χρησιμοποιεί οκτώ κανάλια ανά φορέα με ρυθμό δεδομένων 22,8 kbps (καθαρός ρυθμός 13 kbps) στο κανάλι. Στο 2.5G αναπτύχθηκε η γενική υπηρεσία πακέτων ραδιοσυχνοτήτων (General Packet Radio Service-GPRS) που θα μπορούσε να επιτρέψει πολύ ταχύτερη επικοινωνία και να παρέχει ταχύτητα δεδομένων μέχρι 144kbps [6].

### 2.2.3 – 3G

Η τεχνολογία τρίτης γενιάς αναπτύχθηκε από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU) το 1980. Το φάσμα συχνοτήτων επικοινωνίας 3G κυμαίνεται μεταξύ 400 MHz και 3 GHz. Αντιπροσωπεύει τη σύγκλιση διαφόρων ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 2G σε ένα ενιαίο παγκόσμιο σύστημα που περιλαμβάνει τόσο χειραία όσο και δορυφορικά στοιχεία. Μία από τις σημαντικότερες πτυχές των ασύρματων τεχνολογιών 3G είναι η ικανότητά της να ενοποιεί υπάρχοντα πρότυπα κυψελών, όπως η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA), το παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών (GSM) και η πολλαπλή πρόσβαση με κατανομή χρόνου (TDMA) [5].

### 2.2.4 – 4G

Αναπτύχθηκε το 2010. Η εταιρική σχέση τρίτης γενιάς έργου (3GPP) τυποποίησε το 4G ως προηγμένο LTE (LTE Advanced). Η κύρια διαφορά μεταξύ 3G και 4G είναι η μεθοδολογία πρόσβασης, ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, η ορολογία μετάδοσης και η ασφάλεια. Ο χρήστης “πάντα” και “παντού” μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα πολυμέσων όπως τα βίντεο και οι φωνητικές κλήσεις με ασφάλεια. Το 4G προσφέρει ταχύτητα λήψης 100Mbps, παρέχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το 3G και πρόσθετες υπηρεσίες που απαιτούν μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από τις προηγούμενες γενιές. Το 4G αναπτύσσεται για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της ποιότητας μιας υπηρεσίας (Quality of service-QoS) και των απαιτήσεων που καθορίζονται από μελλοντικές εφαρμογές όπως ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση, η υπηρεσία πολυμέσων (MMS), η συνομιλία μέσω βίντεο, η τηλεοπτική μετάδοση υψηλής ανάλυσης, η ψηφιακή μετάδοση βίντεο (Digital Video Broadcasting-DVB) και άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν υψηλό εύρος ζώνης [7].

Στο 4G αναπτύχθηκε η ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access –OFDMA) επιτυγχάνοντας υψηλή φασματική απόδοση, υποστηριζόμενη από σχήμα κατανομής καναλιών. Αυτή η

τεχνική χρησιμοποιείται για τη διάσπαση των δεδομένων που πρέπει να μεταδίδονται κατά μήκος των ορθογώνιων φορέων. Το 4G μέσω OFDM με Wi-Max, επιτυγχάνει ροή δεδομένων έως 70 Mbps μέσω ασύρματης τεχνολογίας περιαγωγής ενώ ο τοπικός χρήστης μπορεί να λάβει δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης ακόμα και έως 1Gbps. Το 4G έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει δεδομένα όπως ήχο, βίντεο και εικόνες κατά τη διάρκεια της φωνητικής κλήσης. Το 4G πέτυχε τη διαλειπτικότητα του δικτύου και οδήγησε στην εξατομικευμένη χρήση εργαλείων από τη συσκευή του χρήστη καθώς και υπηρεσιών επικοινωνίας πολυμέσων. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα χαρακτηριστικά της Τέταρτης γενιάς.

- Φιλικό προς το χρήστη: Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται είναι φιλικές προς το χρήστη έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η χρήση στη καθημερινότητα του.
- Προσωποποιημένη χρήση: Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και η συνεχής κάλυψη βοηθούν στην δημιουργία μιας εξατομικευμένης αποθήκης δεδομένων και υπηρεσιών που θα ανακτώνται με βάση την ανάγκη του κάθε χρήστη.
- Ετερογενή δίκτυα και τερματικά: Το 4G έδωσε τη δυνατότητα της λειτουργικότητας πολλών και ετερογενών συσκευών σε διάφορα δίκτυα κατά την περιήγηση.
- Υψηλές αποδόσεις: Οι ρυθμοί μετάδοσης του 4G παρέχουν ασύρματη σύνδεση λήψης περίπου 1Gbps σε τοπικό δίκτυο (LAN) και 100 Mbps σε δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN), περίπου 260 φορές μεγαλύτερο από το ασύρματο δίκτυο 3G.
- Διαλειπτικότητα – Επεκτασιμότητα: Τα 4G δίκτυα βασίζονται σε αρχιτεκτονική ώστε όλες οι συσκευές να λειτουργούν σε όλα τα δίκτυα.



### 2.2.5 – 5G

Καθώς όλο και περισσότεροι χρήστες ασχολούνται με το στο διαδίκτυο, το 4G φτάνει στα όρια του κάνοντας αναγκαία την ανάπτυξη του 5G. Η μαζικότητα των χρηστών, η ταχύτητα και η λειτουργικότητα παράλληλα με την ασφάλεια και την αξιοπιστία θα φέρουν την ανάπτυξη σε πολλούς τομείς της ζωής και της βιομηχανίας.

Η μετάβαση στην Πέμπτη Γενιά θα προσφέρει:

- **Εξατομίκευση χρήστη:** Οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και η πανταχού παρούσα κάλυψη των δικτύων 5G θα παρέχουν στους χρήστες πρόσβαση σε μεγάλο χώρο αποθήκευσης δεδομένων και υπηρεσιών. Οι χρήστες θα έχουν την ευελιξία να φιλτράρουν αυτά τα δεδομένα και τις υπηρεσίες σύμφωνα με τις προτιμήσεις του, διαμορφώνοντας τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών τους, έτσι ώστε να μπορεί να προεπιλέξει την υπηρεσία χαρακτηριστικά που θέλει να χρησιμοποιήσει.
- **Ετερογένεια τερματικών και δικτύων:** Η ετερογένεια των τερματικών αναφέρεται στους διάφορους τύπους τερματικών από άποψη μεγέθους, βάρους, χαρακτηριστικών προβολής, κατανάλωσης ενέργειας κλπ. Στο 5G, όλα αυτά τα τερματικά και τα δίκτυα θα παρέχουν κοινές υπηρεσίες ανεξάρτητες από τις δυνατότητές τους.
- **Υψηλή απόδοση:** Το 5G αναμένεται να παρέχει ασύρματες ταχύτητες λήψης πάνω από 1Gbps σε τοπικό δίκτυο (LAN) και 500 Mbps σε δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN), περίπου 260 φορές μεγαλύτερη από τα ασύρματα δίκτυα 3G.
- **Διαλειτουργικότητα:** Πολλαπλά πρότυπα 4G περιορίζουν την κινητικότητα και τη διαλειτουργικότητα του χρήστη σε διάφορα δίκτυα. Τα 5G συστήματα στοχεύουν στην παροχή ενιαίου παγκόσμιου προτύπου που θα διευκολύνει την παγκόσμια κινητικότητα και τη φορητότητα των υπηρεσιών [8].

1G	2G	3G	4G	5G
1981	1992	2001	2010	2020(?)
2 Kbps	64 Kbps	2 Mbps	100 Mbps	10 Gbps
Basic voice service using analog protocols	Designed primarily for voice using the digital standards (GSM/CDMA)	First mobile broadband utilizing IP protocols (WCDMA / CDMA2000)	True mobile broadband on a unified standard (LTE)	'Tactile Internet' with service-aware devices and fiber-like speeds
				

Εικόνα 1 – Εξέλιξη Τηλεπικοινωνιών [8]

Οι ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης για το 5G όπως εγκρίθηκαν από την IMT2020 δίνονται στον πίνακα 2 [9] και χωρίζονται με βάση τις απαιτήσεις των εφαρμογών:

- Βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας (enhanced Mobile Broadband-eMMB). Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις χρήσης που θα βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη όπως την πρόσβαση σε περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, υπηρεσίες και δεδομένα.
- Αξιοπίστευτες επικοινωνίες με χαμηλή καθυστέρηση (Ultra Reliable Low Latency Communications-URLLC). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν περιπτώσεις χρήσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε ρυθμοαπόδοση, καθυστέρηση και διαθεσιμότητα.
- Επικοινωνίες μεταξύ τύπου μηχανής (mMTC): Η συγκεκριμένη κατηγορία χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο αριθμό συσκευών και αισθητήρων για τη μετάδοση μικρού όγκου ευαίσθητων δεδομένων

Δίνονται επίσης ορισμένοι βασικοί παράμετροι απόδοσης καθώς επίσης και οι τιμές τους μαζί με την περίπτωση χρήσης για την οποία είναι σχετικές [10].

Πίνακας 2 –Οι ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης IMT2020 [9]

Βασικός δείκτης απόδοσης	Περιπτώσεις Χρήσης	Απαιτήσεις
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	eMBB	Downlink peak data rate: 20 Gbit/s. Uplink peak data rate: 10 Gbit/s.
Μέγιστη φασματική απόδοση	eMBB	Downlink peak spectral efficiency: 30 bit/s/Hz. Uplink peak spectral efficiency: 15 bit/s/Hz.
Ρυθμός δεδομένων χρήστη	eMBB	Downlink user experienced data rate: 100 Mbit/s. Uplink user experienced data rate: 50 Mbit/s.
Φασματική απόδοση χρήστη	eMBB	Indoor hotspot: DL: 0.3 / UL: 0.21 Dense Urban: DL: 0.225 / UL: 0.15 Rural: DL: 0.12 / UL: 0.045 (all figures in bit/s/Hz)
Μέσος όρος φασματικής απόδοσης	eMBB	Indoor hotspot: DL: 9 / UL: 6.75 Dense Urban: DL: 7.8 / UL: 5.4 Rural: DL: 3.3 / UL: 1.6 (all figures in bit/s/Hz/TRxP)
Χωρητικότητα Περιοχής	eMBB	Downlink: 10 Mbit/s/m <sup>2</sup> in the Indoor Hotspot – eMBB test environment.
Καθυστέρηση στο επίπεδο του χρήστη	eMBB,U RLLC	4 ms for eMBB 1 ms for URLLC
Καθυστέρηση στο πλάνο έλεγχου	eMBBUR LLC	20 ms (10 ms encouraged)
Πυκνότητα συσκευών	eMBB	1 000 000 devices per km <sup>2</sup>
Ενεργειακή απόδοση	URLLC	a) Efficient data transmission in a loaded case: demonstrated by the average spectral efficiency b) Low energy consumption when there is no data: should support a high sleep ratio and long sleep duration
Αξιοπιστία	eMBB	1-10 <sup>-5</sup> success probability of transmitting a layer 2 PDU of 32 bytes within 1 ms in channel quality of coverage edge for Urban Macro-URLLC test environment, assuming small application data
Κινητικότητα	eMBB	Indoor hotspot: Stationary, Pedestrian* Dense Urban: Stationary, Pedestrian,
Διακοπή σύνδεσης	eMBB,U RLLC	0 ms

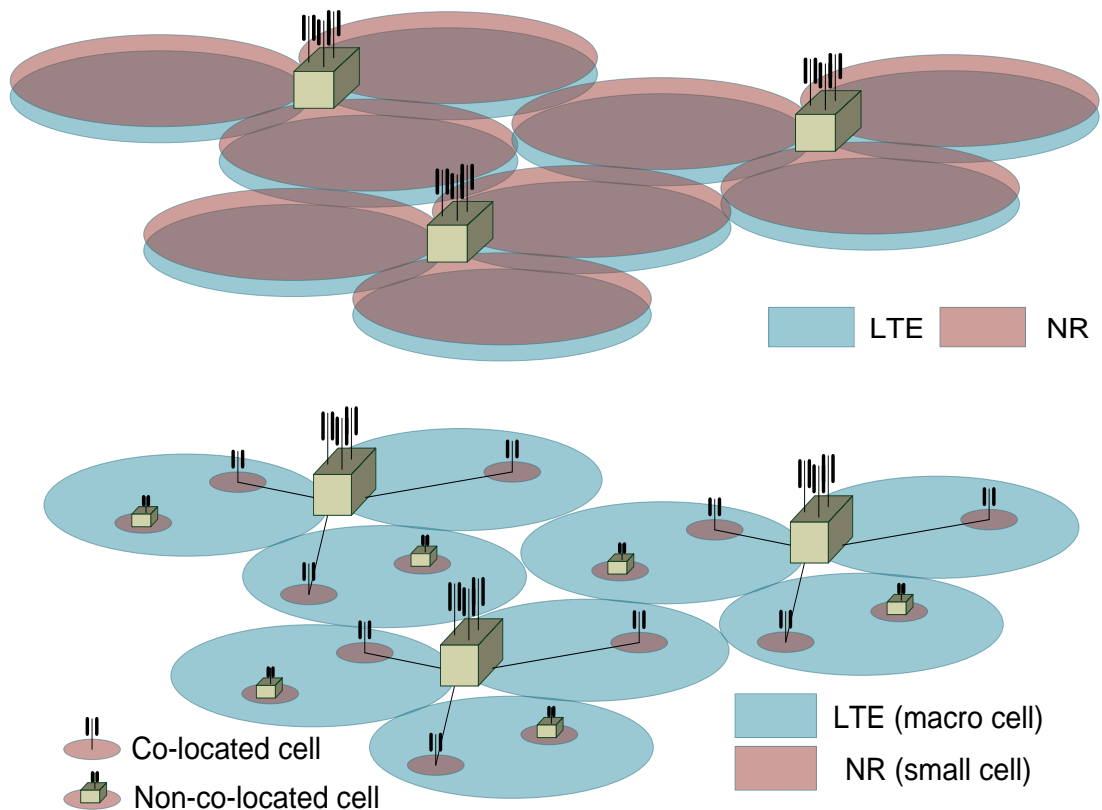
Όλες αυτές οι γενιές διαφοροποιούνται μεταξύ τους μέσω των διαφορετικών ικανοτήτων τους, της κινητικότητας των χρηστών, της φορητότητας των συσκευών, της συμβατότητας, της συνδεσιμότητας και πολλών άλλων χαρακτηριστικών.

## 2.3 – Τεχνολογίες 5G

Η δημιουργία μια κοινωνίας συνδεδεμένης στο διαδίκτυο με συνεχής πρόσβαση στην πληροφορία και στο διαμοιρασμό της μας οδηγεί σε νέες τεχνολογίες. Οι έρευνες στρέφονται στην βελτίωση των υφιστάμενων τεχνολογιών αλλά και στην ανάπτυξη νέων ώστε να ανταποκριθούν στις μελλοντικές απαιτήσεις.

### 2.3.1 – Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR

Η έννοια της διπλής συνδεσιμότητας εισήχθη στο LTE, επιτρέποντας στη συσκευή του χρήστη να λαμβάνει δεδομένα από πολλαπλά κελιά. Στο 5G, η υποστήριξη διπλής συνδεσιμότητας είναι μεταξύ LTE και 5G New Radio (NR). Αυτό αναφέρεται ως διπλή συνδεσιμότητα (Dual Connectivity) LTE-NR. Η διπλή συνδεσιμότητα εξαρτάται από το γεγονός ότι θα υπάρχει κάλυψη LTE και NR σε μια γεωγραφική περιοχή. Παρόλο που αυτή επικαλύπτεται, τα LTE και τα NR κελιά (επομένως οι σταθμοί βάσης) μπορεί να είναι συντονισμένα ή μη. Η εικόνα 2 [10] δείχνει τρία σενάρια: στην κορυφή του σχήματος, το σενάριο 1) τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συν-τοποθετούνται παρέχοντας παρόμοια κάλυψη (τόσο τα LTE όσο και τα NR είναι μακρό-κύτταρα (macro cell)). Στο κάτω σχήμα, είναι τα σενάρια 2 και 3, με το NR να είναι ένα μικρό κύτταρο (small cell) και το LTE ένα μακρό-κύτταρο (macro cell). Στο σενάριο 2) τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συνυπάρχουν, αλλά παρέχουν διαφορετική κάλυψη και στο σενάριο 3) τα LTE και τα NR κύτταρα δεν συνδέονται με κάποιο κέντρο. Η τεχνολογία LTE-NR διπλής συνδεσιμότητας (DC) υποστηρίζει τόσο τα συνεργαζόμενα όσο και τα μη συνεργαζόμενα σενάρια.



Εικόνα 2 – Κυτταρική διάταξη με συνύπαρξη σε κάλυψη NR και LTE [11]

Η διπλή συνδεσιμότητα σημαίνει ότι ο χρήστης (User equipment-UE) είναι συνδεδεμένος ταυτόχρονα με τα δύο κελιά (LTE-NR) οπότε λαμβάνει και μεταδίδει δεδομένα σε καθένα από αυτά, επιτυγχάνοντας αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στο δίκτυο [11].

### 2.3.2 – Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV)

Τα παραδοσιακά δίκτυα εκτελούνται μέσα από δρομολογητές και διακόπτες και είναι οι βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την παροχή πληροφοριών, με τη μορφή ψηφιακών πακέτων, σε όλο τον κόσμο. Αν και χρησιμοποιούνται ευρέως τα παραδοσιακά δίκτυα IP είναι περίπλοκα και δύσκολα διαχωρίσιμα. η Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (NFV) είναι αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων δικτύων σε δομικά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν μαζί για να

δημιουργήσουν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Οι οικονομικοποιημένες πλατφόρμες προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα επέκτασης, σε σχέση με το παραδοσιακό εξειδικευμένο υλικό που χρησιμοποιείται σε προηγούμενες γενεές δικτύων. Οι λειτουργίες δικτύου μπορούν να εκτελεστούν σε οποιοδήποτε φυσικό υλικό και ως εκ τούτου η φυσική θέση μπορεί να μεταβληθεί δυναμικά με βάση την τρέχουσα ζήτηση και επίσης τις απαιτήσεις υπηρεσίας πχ την καθυστέρηση. Το γεγονός αυτό αναπτύσσει και την υπηρεσία νέφους, όπου οι κόμβοι δικτύου μοιράζονται υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, δυναμικά και ανεξάρτητα από τη φυσική τους θέση [12].

### **2.3.3 – Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN)**

Ένα άλλο νέο χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι αυτό που ονομάζεται δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (Software Defined Network-SDN). Το SDN παρέχει το διαχωρισμό του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο χρήστη. Η χρήση του SDN επιτρέπει υψηλό επίπεδο προγραμματισμού, επιτρέποντας τον διαχωρισμό του δικτύου σε διαφορετικές φέτες μέσα στο ίδιο υλικό. Κάθε τεμάχιο μπορεί στη συνέχεια να αφιερωθεί σε διαφορετικό τύπο υπηρεσίας. Η χρήση του τεμαχισμού δικτύου (Network Slicing-NS) επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων και ομάδων πόρων δικτύου μέσα στο ίδιο φυσικό δίκτυο. Κάθε φέτα μπορεί στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που παρέχονται σε αυτό το κομμάτι και τις εφαρμογές που μπορούν να παραδοθούν σε αυτό [13].

### **2.3.4 – Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing)**

Η Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing-MEC) θα χρησιμοποιηθεί επίσης σε συστήματα 5G. Τα συστήματα MEC φέρνουν την υπηρεσία κοντά στην άκρη του δικτύου και επομένως κοντά στο σημείο προσάρτησης της συσκευής. Αυτή η οντότητα περιέχει τις εφαρμογές και μια υποδομή εικονικοποίησης που παρέχει υπολογιστές, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, καθώς και τις λειτουργίες που απαιτούνται για τις εφαρμογές.

Το MEC βοηθά να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για την εποχή 5G όσον αφορά την αναμενόμενη απόδοση, την καθυστέρηση και την αυτοματοποίηση. Το MEC επιτρέπει την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης, ενώ παράλληλα μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για το δίκτυο και το περιβάλλον [14].

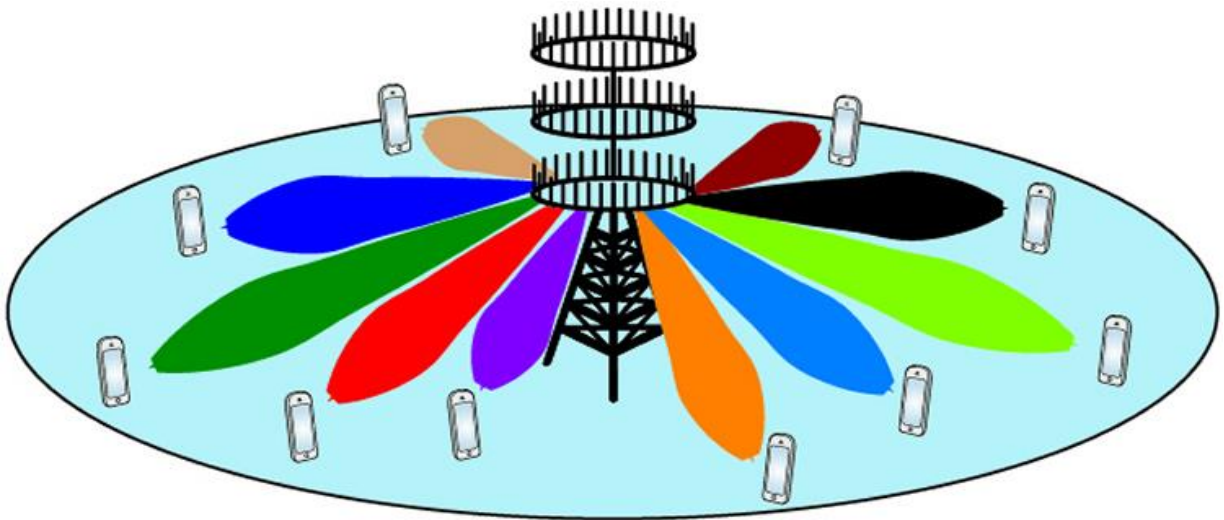
### **2.3.5 – Συνάθροιση φορέων και χιλιοστό-μετρικά κύματος (mm Wave)**

Κατά την τυποποίηση της 4G, αναγνωρίστηκε ήδη ότι για να αυξηθούν οι ρυθμοί δεδομένων, θα ήταν απαραίτητο περισσότερο φάσμα ή εύρος ζώνης. Η λύση που αναπτύχθηκε από το 3GPP LTE ονομαζόταν συνάθροιση φορέων (Carrier Aggregation-CA), οπότε συνδυάζονται πολλαπλές ζώνες σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος, με αποτέλεσμα την ευρεία συνολική μετάδοση. Οι έννοιες συνάθροισης φορέων θα αναπτυχθούν ιδιαίτερα στο 5G. Επιπλέον με το τεράστιο εύρος ζώνης στη ζώνη χιλιοστομέτρου (mmWave) από 30 έως 300 GHz, οι επικοινωνίες mmWave θα αποτελέσουν σημαντικό μέρος του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [15].

### **2.3.6 – Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων**

Τα ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (Multiple Input Multiple Output -MIMO), επιτρέπουν την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου λόγω υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερου αριθμού χρηστών που εξυπηρετούνται (εικόνα 3) . Όταν ο αριθμός των κεραιών στον σταθμό βάσης αυξηθεί σε εκατό ή χίλια στοιχεία, χρησιμοποιείται ο όρος μαζικός MIMO. αποκομίζει όλα τα οφέλη από το συμβατικό MIMO, αλλά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα.

Ο συνδυασμός μαζικών MIMO και mmWave επιτρέπει τη μείωση της συνολικής καθυστέρησης στο χρόνο μετάδοσης. Ο συνδυασμός μεγάλου εύρους ζώνης σε mmWave και του μαζικού MIMO συμβάλλει σημαντικά στην εκπλήρωση των απαιτήσεων 5G όπως του υψηλού ρυθμού δεδομένων, της χωρητικότητας, της κυκλοφορίας και της χαμηλής καθυστέρησης [16].



Εικόνα 3 – Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων [17]

## 2.4 – Αρχιτεκτονική 5G

Το 5G αποτελεί την νέα τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Η αρχιτεκτονική της θα αποτελέσει τον βασικό πυρήνα σε πολλά άλλα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης καθώς και σε διάφορες υπηρεσίες. Οι τεχνολογίες NFV και SDN στις οποίες θα βασιστούν τα νέα συστήματα θα επιτρέψουν την αφαίρεση πολλών απαραίτητων στοιχείων που υπήρχαν στα σημερινά δίκτυα.

Στα τέλη του 2017 η 3GPP κατέληξε στον ορισμό της αρχιτεκτονικής του 5G. Σε μια περίοδο έρευνας δύο ετών η 3GPP παρέδωσε το σύνολο των προδιαγραφών επιπέδου 2. Καθόρισε τις λειτουργίες του συστήματος που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός εμπορικά λειτουργικού συστήματος. Τα 5G δίκτυα θα έχουν δυναμική συμπεριφορά και θα είναι προσαρμοσμένα, ώστε να διασφαλίζεται η απόδοση από άκρο σε άκρο και να ικανοποιεί τις προσδοκίες των πελατών και τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και των εφαρμογών.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια εισαγωγή στην αρχιτεκτονική του συστήματος 5G, επισημαίνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά του. Οι προδιαγραφές επιπέδου 5G στο επίπεδο 2 περιλαμβάνουν:

- Το γενικό μοντέλο αρχιτεκτονικής.



- Υπηρεσία βασισμένη στο λογισμικό.
- Κοινό δίκτυο πυρήνα.
- Κατακερματισμός δικτύου.
- Υποστήριξη εφαρμογών.

Επιπλέον, το μοντέλο αρχιτεκτονικής συστήματος 5G δίνει τη δυνατότητα ομοιόμορφων υπηρεσιών χρηστών με διαφορετικά συστήματα πρόσβασης, όπως η σταθερή πρόσβαση στο δίκτυο ή το ασύρματο δίκτυο (WLAN). Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρέχει τη διασύνδεση και τη μετάβαση από το 4G, την δυνατότητα σύνδεσης σε σταθερό δίκτυο και πολλές άλλες λειτουργίες.

#### 2.4.1 – Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής 5G

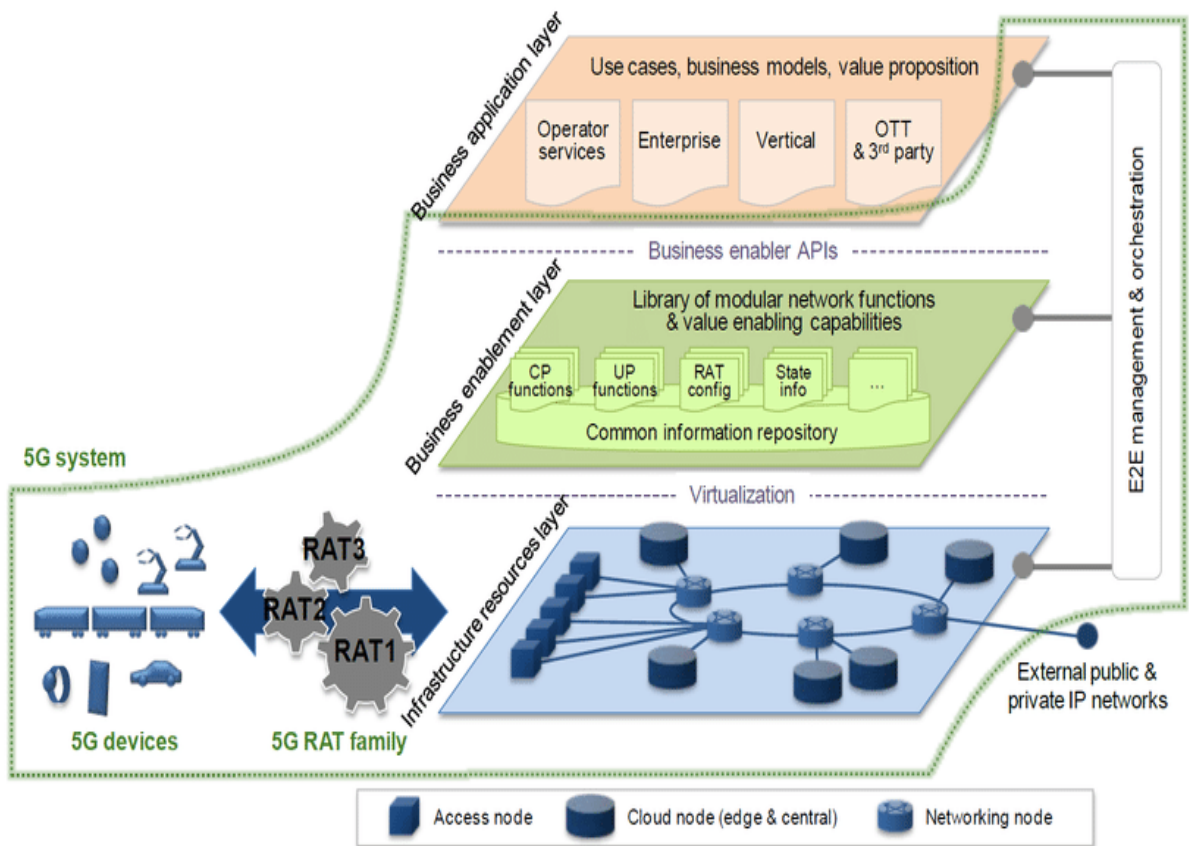
Βάσει των τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν παραπάνω, θα καθοριστεί για τα δίκτυα 5G μια αρχιτεκτονική που θα διαχωρίζει το λογισμικό από τον εξοπλισμό ενώ ταυτόχρονα θα αξιοποιεί όλες τις δυνατότητες των τεχνολογιών SDN και NFV.

Η αρχιτεκτονική αυτή παρέχει ένα σύνολο από διεπαφές προγραμματιζόμενων εφαρμογών (Application programming interfaces-APIs) ικανών να υποστηρίξουν το σύνολο των διαφορετικών λειτουργιών που αναμένεται να έχει η τεχνολογία 5G. Τα 5G συνεπάγονται την διασύνδεση όλων των οντοτήτων που βρίσκονται στον ψηφιακό κόσμο, ο οποίος περιλαμβάνει τις επικοινωνίες άνθρωπο με άνθρωπο, άνθρωπο με μηχανή και μηχανή με μηχανή.

Στην εικόνα 4 [18] απεικονίζεται σχηματικά η αρχιτεκτονική ενός 5G δικτύου.

Τα είδη των κόμβων που παρουσιάζονται στην εικόνα είναι:

- Κόμβος πρόσβασης (Access node): Πρόκειται για το σημείο εκκίνησης της σύνδεσης που οδηγεί σε έναν χρήστη. Ο κόμβος αυτός περιλαμβάνει τον ενεργή εξοπλισμό μετάδοσης, τη διαχείριση του τερματισμού της σύνδεσης καθώς και την διευκόλυνση της σύνδεσης.



Εικόνα 4 – 5G Αρχιτεκτονική [18]

- Κόμβος νέφους (Cloud node): Οι κόμβοι αυτοί λειτουργούν ως αποθηκευτικό μέσο στο οποίο μπορεί να υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφορίας.
- Κόμβος δικτύου (Networking node): Οι κόμβοι αυτοί είναι υπεύθυνοι για τη σύνδεση των κόμβων πρόσβασης με τους κόμβους νέφους αλλά και της σύνδεσης με το εξωτερικό δίκτυο.

Παραπάνω απεικονίζεται το μοντέλο του συστήματος που προτείνεται για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής δικτύου για τα 5G συστήματα, τα οποία είναι βασισμένα στο πρωτόκολλο του διαδικτύου (Internet Protocol-IP). Το σύστημα αποτελείται από το τερματικό του χρήστη και από έναν αριθμό ανεξάρτητων και

αυτόνομων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technology-RATs), όπου με τη σειρά τους μπορούν να είναι συνδεδεμένες με διάφορους δρομολογητές στο ευρύτερο δίκτυο. Σε κάθε ένα από αυτά τα τερματικά, κάθε μια από τις ασύρματες τεχνολογίες φαίνεται σαν μια IP στο εξωτερικό δίκτυο (Internet) [18].

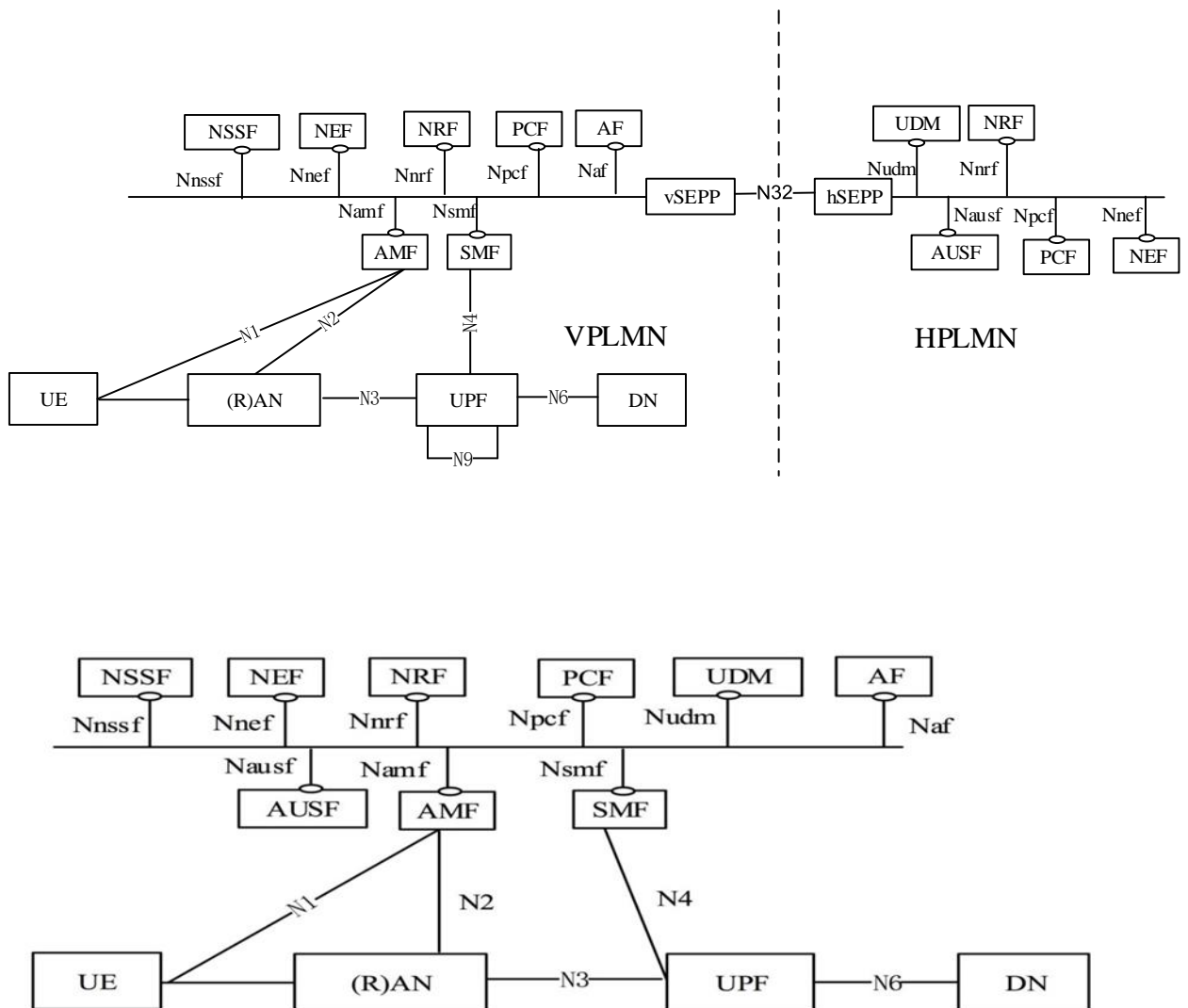
#### 2.4.2 – Αρχιτεκτονική βασισμένη στην υπηρεσία

Η αρχιτεκτονική συστήματος 3GPP 5G βασίζεται στην υπηρεσία. Σε μεγάλο βαθμό τα στοιχεία αρχιτεκτονικής χαρακτηρίζονται ως ξεχωριστές λειτουργίες δικτύου που συνδέονται σε ένα κοινό πλαίσιο με άλλες λειτουργίες δικτύου παρέχοντας μια συγκεκριμένη υπηρεσία.

Στην παρακάτω εικόνα 5 [11] παρουσιάζεται ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής που βασίζεται στην υπηρεσία. Οι λειτουργίες του αποθετηρίου δικτύου (NRF) επιτρέπουν σε κάθε λειτουργία δικτύου να ανακαλύψει τις υπηρεσίες που προσφέρουν άλλες λειτουργίες δικτύου. Τα σχετικά αρχιτεκτονικά στοιχεία βασίζονται σε υπηρεσίες που απεικονίζουν τις αρχές που βασίζονται στις υπηρεσίες, παρουσιάζοντας τις ως λειτουργίες του δικτύου, κυρίως τις λειτουργίες του πυρήνα (CN), με μια ενιαία διασύνδεση με το υπόλοιπο σύστημα. Τα στοιχεία αρχιτεκτονικής παρέχονται επίσης από τις προδιαγραφές του σταδίου 2, οι οποίες αντιπροσωπεύουν πιο συγκεκριμένα τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργιών δικτύου στο επίπεδο του συστήματος και την εμφάνιση διασύνδεσης μεταξύ του δημοσίου δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Public Land Mobile Network -PLMN) σε διάφορες λειτουργίες δικτύου.

Πρόκειται για ένα σενάριο περιαγωγής, στο οποίο η συσκευή του χρήστη (UE) συνδέει το δίκτυο δεδομένων (Data Network-DN) στο δίκτυο που επισκέπτεται (Visited Public Land Mobile Network-VPLMN) και το οικιακό δίκτυο (Home Public Land Mobile Network-HPLMN) το οποίο το ενεργοποιεί με πληροφορίες συνδρομής (Subscription Information-UDM), κάνει πιστοποίηση ταυτότητας συνδρομητή (Subscriber Authentication-AUSF) και ενεργοποιεί τις ειδικές πολιτικές του εξοπλισμού του χρήστη (specific policies -PCF). Το επισκεπτόμενο δίκτυο

(VPLN) παρέχει την επιλογή του κατακερματισμού του δικτύου (Network Slice Selection-NSSF), τον έλεγχο της πρόσβασης δικτύου (Network Access Control-NAC) , τη διαχείριση της κινητικότητας (access control and mobility management-AMF), τη διαχείριση υπηρεσιών δεδομένων (data service management-SMF) και τις λειτουργίες εφαρμογής (application functions-AF). Οι μεσολαβητές ασφάλειας (Security proxies-SEPP) προστατεύουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δημόσιων δικτύων (PLMN).



Εικόνα 5-Τοπικό Σενάριο [11]

Στο τοπικό σενάριο που περιγράφεται στην εικόνα 5 [11], η συσκευή του χρήστη (UE) λαμβάνει τις υπηρεσίες ενός δημόσιου δικτύου (PLMN) ολοκληρωτικά από τον τομέα του εξυπηρετητή που προσφέρει την υπηρεσία.

Στην αρχιτεκτονική του συστήματος 5G κάθε λειτουργία του δικτύου ξεχωριστά αποθηκεύει το περιεχόμενο της στην λειτουργία αποθήκευσης δεδομένων (DSF). Επίσης υπάρχει η λειτουργία διαχείρισης της κινητικότητας του χρήστη ώστε να γίνεται η αλλαγή από ένα δίκτυο πρόσβασης σε ένα άλλο καθιστώντας ευκολότερη την αλλαγή κόμβου εξυπηρέτησης του χρήστη [19].

### **2.4.3 – Κοινό δίκτυο πυρήνα**

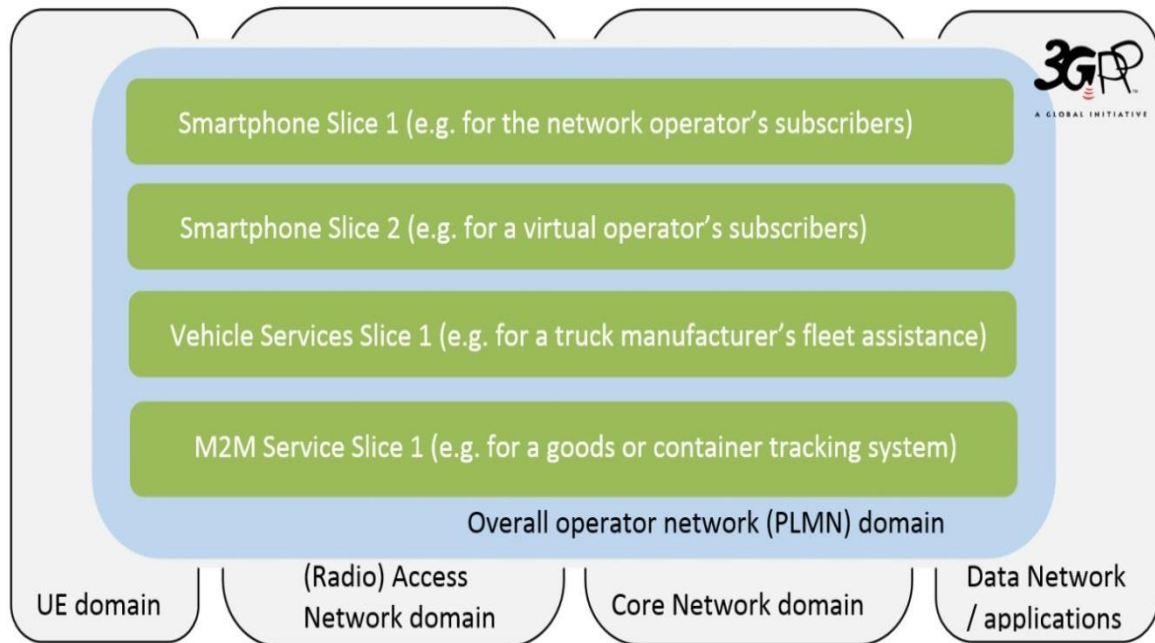
Για να επιτευχθεί ο στόχος του 5G έπρεπε να προβλεφθεί ένας γενικευμένος σχεδιασμός των λειτουργικών δυνατοτήτων ενός κοινού πυρήνα δικτύου. Η νέα διεπαφή πρόσβασης δικτύου – πυρήνα δικτύου (Core Network-CN)) επιτρέπει στο κοινό δίκτυο πυρήνα του 5G να λειτουργεί με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, όπως το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης της επόμενης γενιάς (NG-RAN) και τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης (WLAN). Η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G επιτρέπει την εξυπηρέτηση και των δύο δικτύων πρόσβασης από την ίδια λειτουργία διαχείρισης πρόσβασης και περιαγωγής (Access and Mobility Management function-AMF) για ένα χρήστη και συνεπώς και την απρόσκοπτη κινητικότητα μεταξύ προσβάσεων δικτύων 3GPP και άλλων. Η λειτουργία πιστοποίησης μαζί με ένα ενοποιημένο πλαίσιο πιστοποίησης επιτρέπουν την προσαρμογή του ελέγχου ταυτότητας του χρήστη σύμφωνα με τις ανάγκες των διαφορετικών σεναρίων χρήσης, π.χ. διαφορετικές ανά κατακερματισμό δικτύου.

Οι περισσότερες από τις άλλες λειτουργίες αρχιτεκτονικής συστήματος 5G είναι κοινές για διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης. Ορισμένες λειτουργίες παρέχουν παραλλαγές που είναι πιο κατάλληλες για συγκεκριμένα δίκτυα πρόσβασης, όπως ορισμένες λειτουργίες με προτεραιότητα στην ποιότητα (Quality of Service-QoS) [20].

#### 2.4.4 – Τεμαχισμός Δικτύου

Ο κατακερματισμός δικτύου αποτελεί ένα βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής του συστήματος 5G. Σε σύγκριση με την προηγούμενη γενιά ο κατακερματισμός δικτύου στο 5G είναι μια ισχυρότερη έννοια και περιλαμβάνει ολόκληρο το δημόσιο κινητό δίκτυο (PLMN) . Στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής συστήματος 3GPP 5G, κάθε τεμάχιο δικτύου (φέτα) περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά που χρειάζονται για να υλοποιήσει μια συγκεκριμένη υπηρεσία δικτύου και κατά συνέπεια να εξυπηρετήσει μια συγκεκριμένη συσκευή. Μια φέτα δικτύου αναφέρεται στη δέσμη χαρακτηριστικών και λειτουργιών που ορίζονται από το 3GPP και αποτελούν από κοινού ένα πλήρες δημόσιο κινητό δίκτυο (PLMN) για την παροχή υπηρεσιών σε συσκευές χρηστών (UE) ανάλογα με το σενάριο χρήσης που πρέπει να εξυπηρετούν. Ο τεμαχισμός δικτύου επιτρέπει στον φορέα εκμετάλλευσης δικτύου να αναπτύξει πολλαπλά, ανεξάρτητα δημόσια κινητά δίκτυα (PLMN), όπου ο καθένας είναι προσαρμοσμένος, δημιουργώντας μόνο τα χαρακτηριστικά, τις δυνατότητες και τις υπηρεσίες που απαιτούνται για να ικανοποιήσει το υποσύνολο των εξυπηρετούμενων χρηστών ή τις σχετικές ανάγκες των πελατών του [21].

Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα παράδειγμα ενός PLMN που αναπτύσσει τέσσερις φέτες δικτύου. Κάθε φέτα περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για να σχηματίσουν ένα πλήρες PLMN. Οι δύο φέτες δικτύου για έξυπνα τηλέφωνα καταδεικνύουν ότι ένας φορέας εκμετάλλευσης μπορεί να αναπτύξει πολλαπλές φέτες δικτύου με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, δυνατότητες και υπηρεσίες του συστήματος, αλλά αφιερωμένο σε διαφορετικούς τομείς και συνεπώς κάθε ένας από αυτούς παρέχει διαφορετική χωρητικότητα χρηστών καθώς και κυκλοφορίας δεδομένων. Οι άλλες φέτες δείχνουν ότι μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των φετών του δικτύου και από τα παρεχόμενα χαρακτηριστικά, τις δυνατότητες και υπηρεσίες του συστήματος. Η φέτα του δικτύου τύπου μηχανή με μηχανή (Machine to Machine-M2M) θα μπορούσε, για παράδειγμα, να προσφέρει λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας κάτι σαφώς ακατάλληλο για φέτες που εξυπηρετούν έξυπνες συσκευές, καθώς τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται καθυστερήσεις που δεν είναι αποδεκτές για τυπικές χρήσεις έξυπνων τηλεφώνων.



Εικόνα 6-Παράδειγμα κατακερματισμού δικτύου 4 φετών [22]

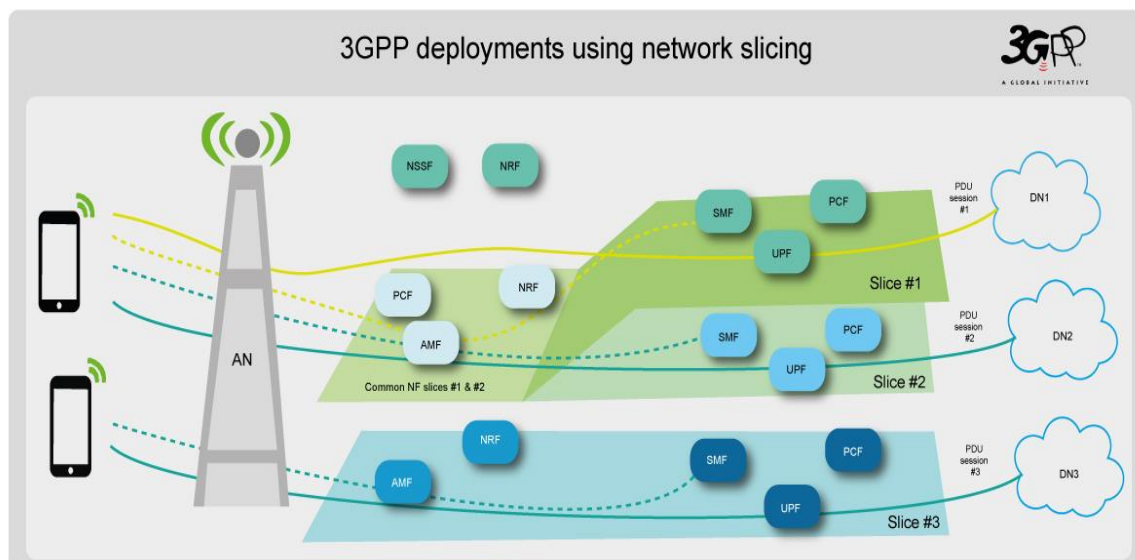
.Το πλεονέκτημα του κατακερματισμού δικτύου είναι ότι επιτρέπει να αναπτυχθούν φέτες δικτύου με συγκεκριμένες λειτουργίες και χαρακτηριστικά. Παράλληλα η ανάπτυξη λογισμικού και η εικονικοποίηση των υπηρεσιών επιτρέπει στον χειριστή να ανταποκρίνεται γρήγορα στις ανάγκες των πελατών. Τυπικά, οι εν λόγω αναπτύξεις θα βασίζονται σε συμφωνία παροχής υπηρεσιών. Γίνεται σαφές πλέον ότι ο διαχειριστής του δικτύου έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει όλες τις κοινές δυνατότητες που του παρέχει η “φέτα” ώστε να αναπτύξει και άλλες πλατφόρμες ή εφαρμογές. Αυτό επιτρέπει μια ευέλικτη ανάθεση των ίδιων πόρων με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Στην εικόνα 7 [22] παρουσιάζεται ένα παράδειγμα κατακερματισμού δικτύου. Σε αυτό το σχήμα :

- Οι λειτουργίες του δικτύου εξυπηρετούνται ολοκληρωτικά από την φέτα #3.
- Ένας άλλος χρήστης λαμβάνει υπηρεσίες από πολλαπλές φέτες δικτύου, την # 1 και # 2. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν κοινές

λειτουργίες δικτύου για ένα σύνολο φετών, συμπεριλαμβανομένου της λειτουργίας διαχείρισης πρόσβασης και κινητικότητας (AMF), του σχετικού μηχανισμού ελέγχου πολιτικής (Policy Control Function-PCF) του χώρου αποθήκευσης υπηρεσιών και της λειτουργίας δικτύου (Network Function Services Repository-NRF).

- Ένα ενιαίο κέντρο ελέγχου πρόσβασης και διαχείρισης κινητικότητας ανά χρήστη είναι υπεύθυνο για όλες τις υπηρεσίες ενός χρήστη. Οι υπηρεσίες του πλάνου χρήσης, συγκεκριμένα οι υπηρεσίες δεδομένων, μπορούν να αποκτηθούν μέσω πολλαπλών, ξεχωριστών φετών δικτύου.
- Στο σχήμα, η φέτα # 1 παρέχει στον χρήστη υπηρεσίες δεδομένων για το δίκτυο δεδομένων # 1 και η φέτα # 2 για το δίκτυο δεδομένων # 2.

Αυτές οι φέτες και οι υπηρεσίες δεδομένων είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη εκτός από την αλληλεπίδραση με την κοινή πρόσβαση και τον έλεγχο της κινητικότητας που ισχύει για όλες τις υπηρεσίες του χρήστη. Αυτό καθιστά δυνατή την προσαρμογή κάθε τεμαχίου για π.χ. διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων ποιότητας της υπηρεσίας ή διαφορετικές λειτουργίες εφαρμογής, ενώ όλες καθορίζονται μέσω του πλαισίου ελέγχου πολιτικής [23].



Εικόνα 7-Κατακερματισμός δικτύου [22]



#### 2.4.5 – Υποστήριξη εφαρμογών

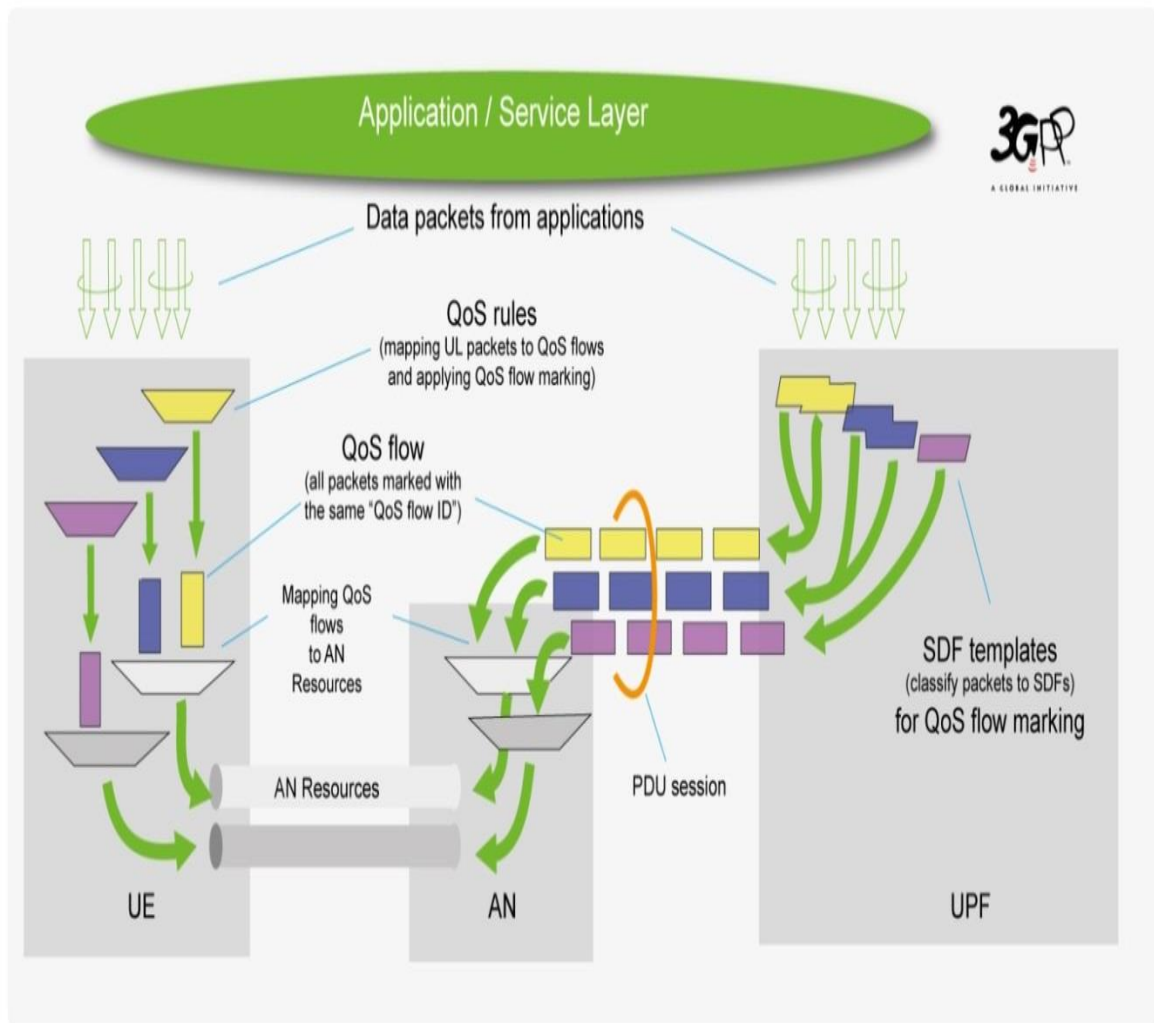
Ένα ξεχωριστό κομμάτι της αρχιτεκτονικής 5G είναι οι υπηρεσίες δεδομένων, οι οποίες προσφέρουν σημαντικά μεγαλύτερη ευελιξία προσαρμογής σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα μέρος του μοντέλου της αρχιτεκτονικής συστήματος 3GPP 5G. Το νέο μοντέλο της υπηρεσίας ποιότητας, επιτρέπει στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες δεδομένων να υποστηρίζουν ποικίλες απαιτήσεις εφαρμογής έχοντας πιο αποτελεσματική χρήση των πόρων του ασύρματου δικτύου.

Το νέο μοντέλο έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων σταθερών προσβάσεων. Παρατηρούμε ότι σήμανση πακέτων ενημερώνει τις λειτουργίες επιβολής του της ποιότητα της υπηρεσίας (QoS). Σηματοδοτώντας τα πακέτα σε ολόκληρη τη ροή τους στο δίκτυο, προσφέροντας ευελιξία και λεπτομέρεια στο μοντέλο.

Η ευέλικτη ανάπτυξη λειτουργιών εφαρμογής στην τοπολογία του δικτύου, σύμφωνα με τις υψηλές απαιτήσεις του 5G, υποστηρίζεται, για παράδειγμα, μέσω τριών διαφορετικών τρόπων συνόδου και υπηρεσίας συνέχειας (Session and Service Continuity-SSC) ή μέσω ταξινομητών uplink και σημείων διακλάδωσης.

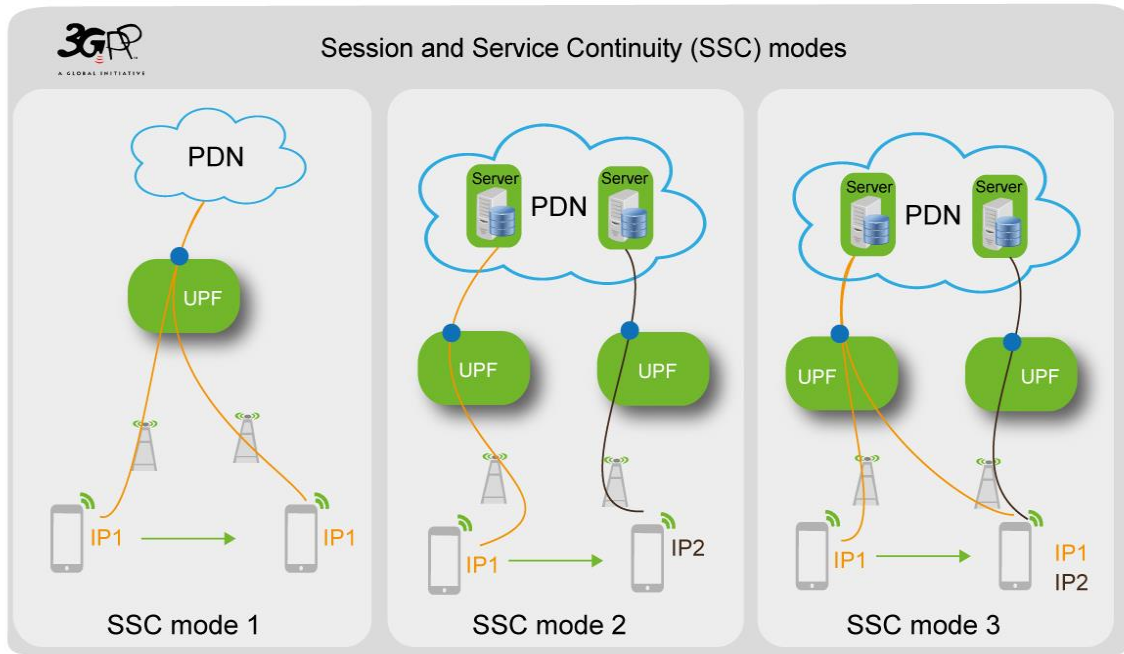
Στην εικόνα 8 [22] έχουμε ένα παράδειγμα σύνδεσης χρήστη με το δίκτυο δεδομένων (DN). Οι λειτουργίες υπηρεσίας συνέχειας SSC περιλαμβάνουν την πιο παραδοσιακή λειτουργία (SSC 1), όπου η άγκυρα IP παραμένει σταθερή για να παρέχει συνεχή υποστήριξη εφαρμογών και συντήρηση της διαδρομής με τον χρήστη καθώς ενημερώνεται η θέση της. Οι νέες λειτουργίες επιτρέπουν τη μετατόπιση της άγκυρας IP.

Υπάρχουν δύο επιλογές, make-before-break (λειτουργία SSC 3) όπου δεν χάνεται η σύνδεση και έτσι δεν χάνεται η συνέχεια της υπηρεσίας και break-before-make (SSC 2) όπου η σύνδεση χάνεται και επιλέγεται μία καινούρια. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει στις εφαρμογές να επηρεάζουν την επιλογή κατάλληλων χαρακτηριστικών υπηρεσίας δεδομένων και τη λειτουργία SSC.



Εικόνα 8-Επίπεδο Υπηρεσιών [22]

Καθώς οι εφαρμογές δικτύου 5G αναμένεται να εξυπηρετήσουν τεράστιες ποσότητες κίνησης δεδομένων είναι απαραίτητη η αποτελεσματική διαχείριση της διαδρομής του χρήστη. Επίσης, οι λειτουργίες εφαρμογής μπορούν να συντονίζονται με το δίκτυο παρέχοντας πληροφορίες σχετικές με τη βελτιστοποίηση της διαδρομής κυκλοφορίας ή μπορούν να εγγραφούν σε συμβάντα συστήματος 5G που μπορεί να σχετίζονται με εφαρμογές [23].



Εικόνα 9 –Σενάρια σύνδεσης κόμβων περιαγωγής [22]

## 2.5 – Επίλογος κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν περιληπτικά οι προηγούμενες γενιές επικοινωνιών φτάνοντας στο 5G. Σημειώθηκε η αναγκαιότητα μετάβασης στην Πέμπτη Γενιά λόγω των συγκεκριμένων απαιτήσεων που δεν μπορούν να καλυφθούν από τις προηγούμενες. Έγινε αναφορά στις τεχνολογίες που αναμένεται να υποστηρίξουν το 5G. Επίσης περιγράφηκε η αρχιτεκτονική με βάση τις προδιαγραφές που εκδόθηκαν στα τέλη του 2017 από την 3GPP. Η μαζικότητα των χρηστών, η ευκολία στην χρήση, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, η ευελιξία, η αξιοπιστία, οι διαφορετικές συσκευές και αισθητήρες που θα αλληλεπιδρούν αναμένεται να δώσουν ώθηση σε νέες περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ

### 3.1 – Εισαγωγή

Η εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες που απαιτούν ταχύτερα δίκτυα υψηλότερης δυναμικότητας και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) που τροφοδοτεί την ανάγκη για μαζική συνδεσιμότητα συσκευών, είναι οι δύο σημαντικές τάσεις στην εξέλιξη της τεχνολογίας που τροφοδοτούν την ανάπτυξη του 5G [24]. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται η ανάπτυξη νέων περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών, όπως της επαυξημένης πραγματικότητας, της εικονικής πραγματικότητας, της απομακρυσμένης επικοινωνίας, των υπηρεσιών ηλεκτρονικής υγείας, της αυτοματοποιημένης οδήγησης και πολλών άλλων .

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές των δικτύων 5G. Αρχικά γίνεται αναφορά των περιπτώσεων χρήσης σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά εφαρμογές των αναπτυσσόμενων δικτύων 5G στους κλάδους της κάθετης βιομηχανίας καθώς επίσης και τα οφέλη τους στον κάθε κλάδο ξεχωριστά. Με την σειρά περιλαμβάνονται: ο κλάδος της υγείας, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας, της βιομηχανίας, των μέσων επικοινωνίας και διασκέδασης.

### 3.2 – Περιπτώσεις Χρήσης

Τα δίκτυα 5G θα υποστηρίξουν ένα μεγάλο πλήθος περιπτώσεων χρήσης. Τα ποικίλα χαρακτηριστικά και οι διαφορετικές απαιτήσεις θα ξεχωρίσουν και τους τομείς ανάπτυξης. Αρχικά οι περιπτώσεις χρήσης του 5G έχουν ταξινομηθεί με βάση γενικότερες ομάδες. Διαπιστώθηκε όμως ότι ίσως πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ταξινόμησης στον οποίο θα καλύπτονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης. Σε αυτή την ενότητα παρέχεται μια πιο προσεκτική ματιά στις παραδοσιακές οικογένειες των περιπτώσεων χρήσης 5G και επισημαίνονται οι

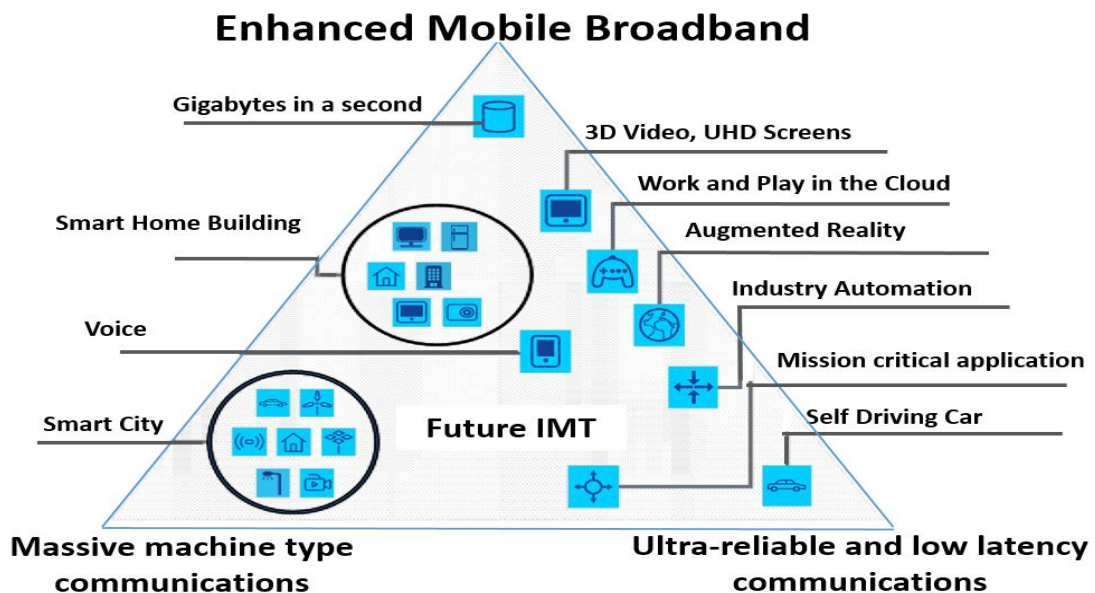
βασικές απαιτήσεις και οι τύποι αλληλεπιδράσεων στις οποίες θα βασίζονται. Τα ακόλουθα περιλαμβάνουν τις κύριες οικογένειες περιπτώσεων χρήσης 5G που βασίζονται σε πολλαπλές προηγούμενες προσπάθειες (εικόνα 10) [25][26].

### 3.2.1 – Ενισχυμένη κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις χρήσης που θα βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη όπως την πρόσβαση στα πολυμέσα (multimedia) περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, υπηρεσίες και δεδομένα. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών και η χρήση ευρυζωνικών υπηρεσιών οδηγούν στην αύξηση του όγκου μετάδοσης δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση και με πολύ υψηλά επίπεδα κάλυψης.

### 3.2.2 – Συνδεδεμένα οχήματα

Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης που αφορούν κινητές επικοινωνίες που σχετίζονται με Συνδεδεμένα Οχήματα θα αποτελέσει σημαντικό τομέα ανάπτυξης για το 5G.



Εικόνα 10 –Ταξινόμηση περιπτώσεων χρήσης [26]

Αυτή η κατηγορία περιπτώσεων χρήσης συνεπάγεται τη στήριξη προηγμένων εφαρμογών ασφάλειας που μετριάζουν τα τροχαία ατυχήματα, βελτιώνοντας την κυκλοφοριακή αποτελεσματικότητα και βελτιώνοντας την πρόσβαση των οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης με πολύ χαμηλή καθυστέρηση για προειδοποιητικά σήματα, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων για την ανταλλαγή δεδομένων αισθητήρων και πληροφοριών μεταξύ οχημάτων και υποδομών, υψηλή κινητικότητα και υψηλή αξιοπιστία. Η επικοινωνία οχήματος προς οτιδήποτε (V2X), όπως ορίζεται στο 3GPP, αποτελείται από τέσσερις τύπους περιπτώσεων χρήσης: οχήματος προς οχήματος (Vehicle to vehicle-V2V), οχήματος προς υποδομή (Vehicle to Infrastructure-V2I), οχήματος προς δίκτυο (Vehicle to Network-V2N) και από το όχημα προς το πεζοδρόμιο (Vehicle to Pedestrian-V2P).

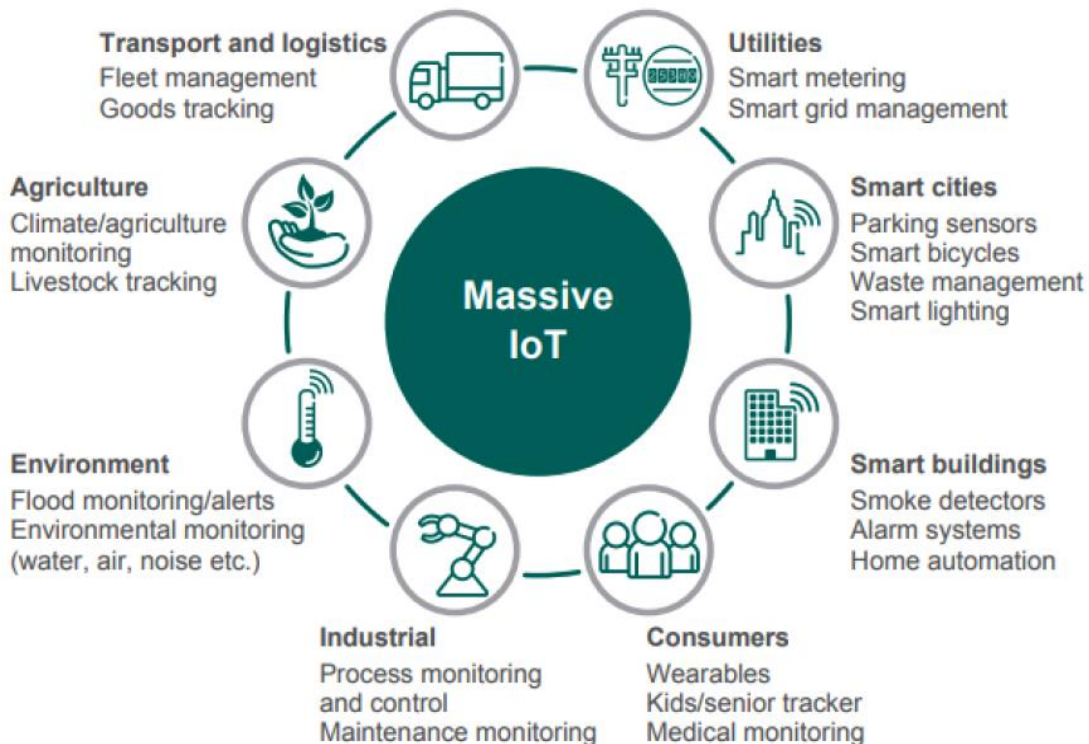
### **3.2.3 – Ενισχυμένα πολυμέσα**

Αυτή η κατηγορία περιπτώσεων χρήσης στοχεύει στην παροχή μιας υψηλής ποιότητας εμπειρίας μέσων. Οι χρήστες είναι ο τελικός θεατής, οι φορείς εκμετάλλευσης συνδρομητικής τηλεόρασης, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς, οι συνδρομητές περιεχομένου και οι (Over The Top-OTT) πάροχοι. Οι πρόσφατες εξελίξεις της ανάλυσης βίντεο 4K και 8K, του 3D βίντεο, της εκτεταμένης χρήσης της τηλεόρασης HD, των υπηρεσιών ροής ήχου και εικόνας και του διαδραστικού βίντεο σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό συσκευών με δυνατότητα βίντεο είναι βασικοί κινητήριοι παράγοντες για αυτή την οικογένεια περιπτώσεων χρήσης. Η μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων, οι ταχύτεροι ρυθμοί δεδομένων και βελτιωμένα χαρακτηριστικά μετάδοσης θα εξυπηρετήσουν αυτές τις περιπτώσεις χρήσης.

### **3.2.4 – Μαζικό Διαδίκτυο των πραγμάτων**

Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης στο Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Massive IoT) ασχολείται με τις αναδυόμενες ανάγκες χαμηλής ισχύος σε μεγάλες περιοχές (LPWA) για συσκευές χαμηλού κόστους, εκτεταμένης κάλυψης και

μεγάλης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι περιπτώσεις χρήσης αναμένεται να αποτελέσουν ένα μεγάλο μέρος των νέων τύπων υπηρεσιών που θα αντιμετωπίσουν τα συστήματα 5G, συνδέοντας τον τεράστιο αριθμό συσκευών όπως αισθητήρες, κάμερες κ.λπ. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης αναμένεται να είναι διαδεδομένες σε αστικές και αγροτικές περιοχές και να παρέχουν μετρήσεις, όπως διαχείριση φωτισμού σε κτίρια και πόλεις, παρακολούθηση του περιβάλλοντος (ρύπανση, θερμοκρασία, θόρυβος κλπ.), έλεγχος της κυκλοφορίας και πολλών άλλων εφαρμογών. Αυτές οι υπηρεσίες αναμένεται να απαιτούν την υποστήριξη μιας πολύ υψηλής πυκνότητας συσκευών με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ένα κοινό πλαίσιο επικοινωνίας. Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης μεγάλου χρόνου χρήσης περιλαμβάνει εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών σε ολόκληρη την κοινωνία, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου-μηχανής και αλληλεπίδρασης μηχανής με μηχανή, όπως φαίνεται στην εικόνα (11) [27].



Εικόνα 11 –Μαζικό IoT [27]

### 3.2.5 – Εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν περιπτώσεις χρήσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε ρυθμό-απόδοση, καθυστέρηση και διαθεσιμότητα. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης εμπίπτουν επίσης στην κατηγορία της κρίσιμης για την αποστολή επικοινωνίας τύπου μηχανής (MTC). Ορισμένα παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης περιλαμβάνουν τον απομακρυσμένο έλεγχο της βιομηχανικής παραγωγής, την εξ' αποστάσεως ιατρική επέμβαση, ασφαλείς μεταφορές κ.α. [18].

## 3.3 – Κλάδος υγείας

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στην ανάπτυξη νέων και στη βελτίωση των υφισταμένων εφαρμογών του κλάδου υγείας. Εφαρμογές όπως η τηλεϊατρική και η ρομποτική θα επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των συγκεκριμένων δικτύων. Η ανάπτυξη ασύρματων δικτύων αισθητήρων με τη χρήση των συσκευών που μπορούν να φορεθούν (wearables) και υπηρεσίες νέφους θα αποτελέσουν νέες περιπτώσεις χρήσης στον κλάδο της υγείας .

### 3.3.1 – Τηλεϊατρική

Η υφιστάμενη εφαρμογή της τηλεϊατρικής στο κλάδο της υγείας παρέχει απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη, στις μέρες μας, κυρίως στις αστικές περιοχές. Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα βελτιώσει στο μέγιστο βαθμό την πρόσβαση, παρέχοντας υγειονομική περίθαλψη ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Σημαντικός καταλύτης για την τηλεϊατρική θα αποτελέσει η ευρεία χρήση των ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων των ασθενών τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα σε περιβάλλον νέφους. Με την τεχνολογία 5G, αρχεία ασθενών, τα οποία περιέχουν υψηλής ανάλυσης ιατρικά δεδομένα όπως εικόνες και βίντεο, θα μπορούν να διατεθούν σε ιατρούς και σε επαγγελματίες υγείας ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε. Η βελτίωση των εφαρμογών της



τηλειατρικής αναμένεται να συντελέσει στη μείωση του κόστους της υγειονομικής περίθαλψης και παράλληλα στη βελτίωση του κλάδου της υγείας [28].

### 3.3.2 – Συσκευές ελέγχου υγείας (wearables)

Η χρήση φορητών συσκευών ελέγχου υγείας (wearables) θα αποτελέσουν βασικές συσκευές αισθητήρων στο κλάδο της υγείας για την παρακολούθηση, τη διάγνωση και τη θεραπεία σε άτομα με χρόνιες παθήσεις, παρέχοντας την δυνατότητα να στέλνουν ιατρικές προειδοποιήσεις σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μέσω των δικτύων 5G. Για παράδειγμα, ένας αριθμός από ελαφρύς, χαμηλής ισχύος, αδιάβροχους αισθητήρες θα ενσωματωθούν στα ρούχα των ανθρώπων. Αυτοί οι αισθητήρες θα μπορούν να μετρήσουν διάφορα περιβαλλοντικά και υγειονομικά χαρακτηριστικά όπως πίεση, θερμοκρασία, τον καρδιακό ρυθμό, την πίεση του αίματος, τη θερμοκρασία του σώματος, ρυθμός αναπνοής κλπ. Μια βασική πρόκληση που θα επιλύσει η τεχνολογία 5G είναι η συνολική διαχείριση του αριθμού των συσκευών καθώς και των δεδομένων που συλλέγουν από τις εφαρμογές που σχετίζονται με αυτές τις συσκευές [18].



Εικόνα 12 -5G και Ιατρική [29]

### **3.3.3 – Τηλεχειρουργική**

Οι χειρουργοί, με την επερχόμενη τεχνολογία 5G, θα μπορούν να χρησιμοποιούν εικονικά εργαλεία απομακρυσμένης αφής για ιατρικές επεμβάσεις οποιαδήποτε στιγμή τους ζητηθεί και από το μέρος στο οποίο βρίσκονται. Αυτό θα επιτρέψει έμπειρους χειρουργούς να πλαισιώσουν νέους γιατρούς από απόσταση με κατάλληλες τεχνικές. Επίσης απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές που στερούνται ιατρικών ειδικοτήτων θα επωφεληθούν από την τεχνογνωσία ιατρών των πιο πυκνοκατοικημένων περιοχών [30].

### **3.3.4 – Διαχείριση νοσοκομειακού υλικού**

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα συντελέσει στην καλύτερη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων, των αναλώσιμων και του φαρμακευτικού υλικού των νοσοκομείων. Ένα σύνολο διασυνδεδεμένων αισθητήρων εντός του νοσοκομείου θα ανταλλάσσουν μικρού όγκου δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων μεγάλης αξίας (αξονικός τομογράφος, καρδιογράφος) και για την διαχείριση και παρακολούθηση του φαρμακευτικού υλικού και των αναλώσιμων [31].

## **3.4 – Κλάδος Αυτοκινητοβιομηχανίας**

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα αποτελέσει βασικό παράγοντα στο κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας με την δημιουργία πολλών περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών. Περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές όπως η αυτοματοποιημένη οδήγηση, η παροχή υπηρεσιών οδικής ασφάλειας, ο έλεγχος της κυκλοφορίας και η ψηφιοποίηση των μεταφορών αναλύονται στη παρακάτω ενότητα.

### **3.4.1 – Έλεγχος κυκλοφορίας και αυτοματοποιημένη οδήγηση**

Κατά τα προσεχή έτη, με την ανάπτυξη των δικτύων 5G, προηγμένες εφαρμογές ασφάλειας θα εμφανιστούν για την άμβλυση των τροχαίων ατυχημάτων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας, καθώς και

για την υποστήριξη της κινητικότητας των οχημάτων έκτακτης ανάγκης (π.χ., ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα).

Αυτές οι εφαρμογές προβλέπουν επικοινωνία όχι μόνο μεταξύ των οχημάτων (όχημα με όχημα) ή οχήματος με υποδομή, αλλά και επικοινωνία με τους ευάλωτους χρήστες των δρόμων, όπως οι πεζοί και οι ποδηλάτες [18]. Στο πλαίσιο αυτό, Συνεταιριστικά Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) θα ανταλλάσσουν πληροφορίες αξιόπιστα και σε πραγματικό χρόνο μέσω των δικτύων 5G και σε συνδυασμό με την αυτοματοποιημένη οδήγηση των οχημάτων θα συμβάλλουν στην μείωση του χρόνου ταξιδιού, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, και στην αύξηση της οδικής ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας [32].



Εικόνα 13 –Έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας [33]

### **3.4.2 – Ανίχνευση σύγκρουσης**

Η ανίχνευση σύγκρουσης επιτρέπει στα οχήματα να αισθανθούν επικείμενη σύγκρουση με την ανταλλαγή σχετικών δεδομένων μεταξύ των οχημάτων που εμπλέκονται, επιτρέποντας τα οχήματα και τους οδηγούς να λαμβάνουν αντίμετρα για την άμβλυση των επιπτώσεων της σύγκρουσης. Συνεταιριστικά συστήματα ενεργητικής ασφάλειας θα προειδοποιούν τους οδηγούς για επικίνδυνες καταστάσεις και μέσω της αυτόματης πέδησης θα μπορούν να συμβάλουν στην αποφυγή του ατυχήματος [34].

### **3.4.3 – Υπηρεσίες Διαδικτύου εν κινήσει**

Η συνδεσιμότητα των οχημάτων με τα δίκτυα 5G σε συνδυασμό με το γρήγορο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν θα επιτρέψει τους επιβάτες του οχήματος να απολαμβάνουν υπηρεσίες Διαδικτύου με ανάλογες επιδόσεις με του σπιτιού τους. Επιπλέον, σε συνδυασμό με την αυτοματοποιημένη οδήγηση και με την εξέλιξη των ταμπλό των οχημάτων θα επιτρέψει στον οδηγό να χρησιμοποιεί υπηρεσίες αναψυχής ενώ το αυτοκίνητο οδηγεί αυτόνομα [34].

### **3.4.4 – Ψηφιοποίηση των μεταφορών και των logistics**

Τα μελλοντικά δίκτυα 5G αναμένεται να συμβάλουν με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στα δίκτυα μεταφορών όπως η ψηφιοποίηση των λειτουργιών τους. Η ψηφιοποίηση των λειτουργιών τους αφορά την ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας που παράγονται από τοποθετημένους αισθητήρες στα οχήματα με περιβάλλοντα νέφους για την άμεση ενημέρωση για στοιχεία που αφορούν τα εμπορεύματα, την ακριβή θέση και την κατάσταση των οχημάτων.

Επίσης Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS) θα συμβάλουν σημαντικά στην βελτιστοποίηση των δρομολογίων, στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των δρομολογίων [34].



Εικόνα 14- Αυτόνομη οδήγηση [35]

### 3.5 – Κλάδος Ενέργειας

Η κατανάλωση και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας ή του φυσικού αερίου, σε συνδυασμό με την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια δημιουργούν νέες περιπτώσεις χρήσης και την ανάγκη ανάπτυξης νέων εφαρμογών για αυτοματοποιημένο έλεγχο τις οποίες περιγράφουμε στην παρακάτω ενότητα. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να έχουν σημαντική συμβολή στην υλοποίησή τους [36].

#### 3.5.1 – Έξυπνο δίκτυο (Smart grid)

Ένα έξυπνο δίκτυο διασύνδεει ένα μεγάλο αριθμό από αισθητήρες, χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία της πληροφορίας και των επικοινωνιών για να συγκεντρώσει πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών, επιτρέποντας το έξυπνο δίκτυο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, την αξιοπιστία, της οικονομίας, της βιωσιμότητας της παραγωγής και της διανομής ενέργειας με αυτοματοποιημένο τρόπο [18].

Οι αντιπροσωπευτικές μελλοντικές περιπτώσεις χρήσης των δικτύων 5G που σχετίζονται με το έξυπνο δίκτυο στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας συνοψίζονται ως εξής [37]:

- Δίκτυα διάγνωσης για τον γρήγορο εντοπισμό σφαλμάτων, την διακοπή λειτουργίας και την άμεση αποκατάσταση είναι απαραίτητα τόσο για τα υφιστάμενα όσο και για τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα. Η γρήγορη απόκριση σε καταστάσεις σφάλματος στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας απαιτούν επικοινωνία μεταξύ τους σε μικρό χρονικό διάστημα με αξιοπιστία.
- Η διακοπή λειτουργίας της παραγωγής θα ενεργοποιείται άμεσα και αυτόματα έτσι ώστε τα μηχανήματα να μην τροφοδοτούνται άσκοπα με ρεύμα.
- Η τοπολογία του δικτύου παραγωγής κατά τη διάρκεια της βλάβης θα μπορεί να αναδιαρθρωθεί εύκολα έτσι ώστε η αποκατάσταση να μπορεί να πραγματοποιηθεί το δυνατόν γρηγορότερα.
- Στα αυτοματοποιημένα συστήματα διανομής ενέργειας, οι διαδικασίες διακοπής λειτουργίας είναι ύψιστης σπουδαιότητας. Οι συγκεκριμένες διαδικασίες θα εκτελούνται στον κεντρικό υποσταθμό με κατανεμημένο τρόπο μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων. Η καλωδίωση μεταξύ των μονάδων ελέγχου θα αντικατασταθεί από την αξιόπιστη μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου μέσω των δικτύων 5G.

### 3.5.2 – Έξυπνοι μετρητές

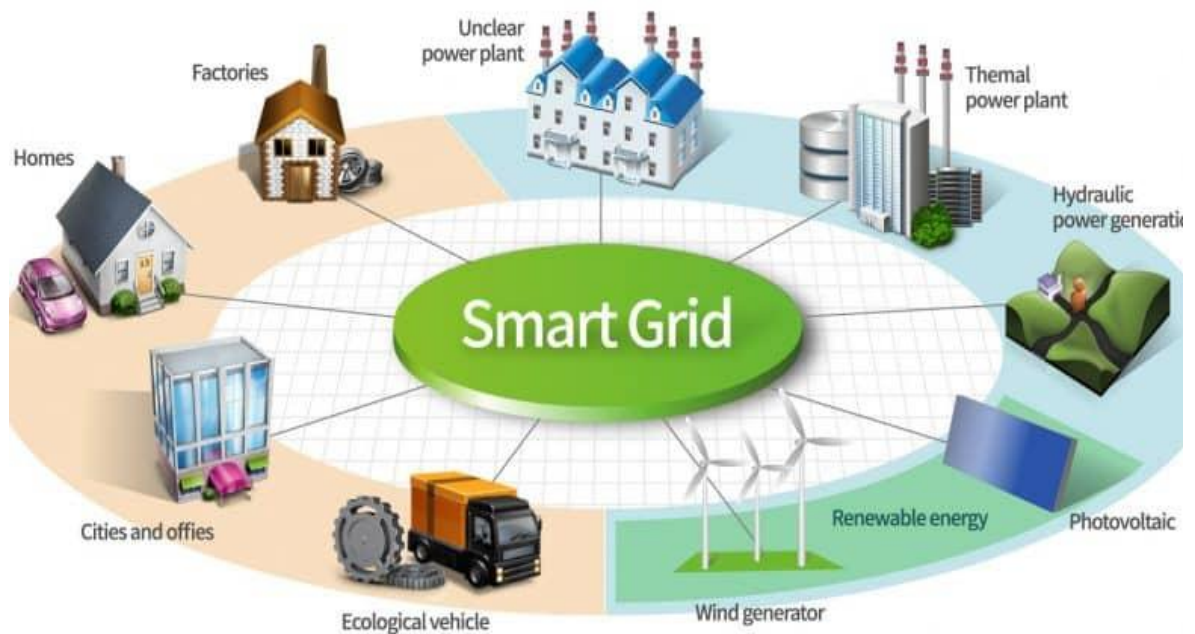
Σε αυτή την περίπτωση χρήσης χιλιάδες μετρητές θα είναι τοποθετημένοι σε σπίτια για την αποστολή πληροφοριών κατανάλωσης ενέργειας χωρίς την ανθρώπινη αλληλεπίδραση.

Κάθε νοικοκυριό αναμένεται να έχει τοποθετημένους τρεις έξυπνους μετρητές: ηλεκτρικό ρεύμα, νερό/θέρμανση και αέριο. Η εφαρμογή έξυπνων μετρητών στο δίκτυο διανομής ενέργειας, με την ανάπτυξη των δικτύων 5G, θα συμβάλει στη μετάδοση και επεξεργασία δεδομένων που διανέμονται όπως μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η επίτευξη της μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο θα

βελτιστοποιήσει τα τμήματα υποδομών χαμηλής και μέσης τάσης ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Κοινές υποδομές προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν και στα δίκτυα της ύδρευσης και τ φυσικού αερίου [36].

### 3.5.3 – Ηλεκτρικά οχήματα

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα ενεργειακά συστήματα είναι ένας άλλος λόγος για τον οποίο το 5G θα αποτελέσει σημαντικό καταλύτη στον τομέα της ενέργειας. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπως στην Ιρλανδία η οποία έχει αφθονία της αιολικής ενέργειας, όπου ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι επιπτώσεις των μεταφορών στην παραγωγή CO<sub>2</sub> μειώνεται ριζικά. Για τον προσδιορισμό των αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται επικοινωνία των σταθμών φόρτισης με τα ηλεκτρικά οχήματα.



Εικόνα 15 – Εξυπνη διαχείριση ενέργειας [37]

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλλουν στην αξιόπιστη και χαμηλή καθυστέρηση επικοινωνίας επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα νέων επιλογών για την παροχή υπηρεσιών και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής υποδομής [38].

### 3.6 – Κλάδος Βιομηχανίας

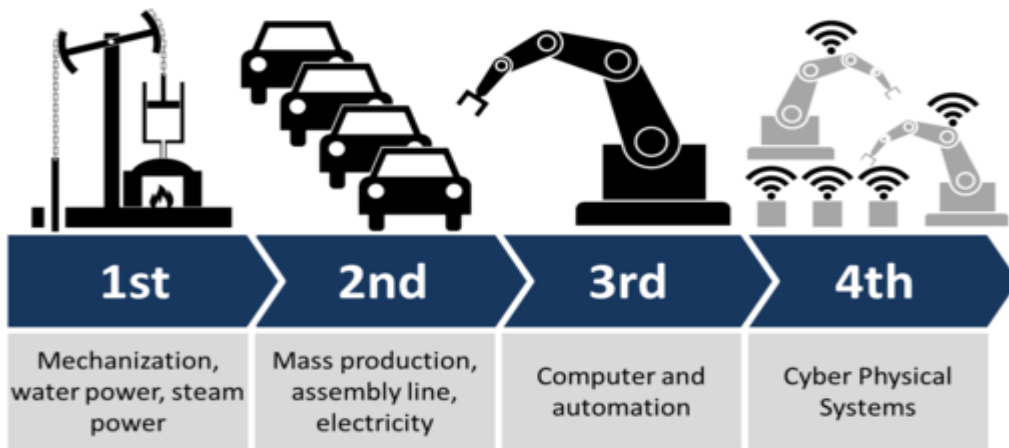
Οι τρεις βιομηχανικές επαναστάσεις του παρελθόντος προκλήθηκαν από τεχνικές καινοτομίες: την εισαγωγή μηχανολογικής παραγωγής νερού και ατμού στο τέλος του 18ου αιώνα, τον καταμερισμό της εργασίας στις αρχές του 20ου αιώνα και την εισαγωγή προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (Programmable logic controller-PLC) για σκοπούς αυτοματοποίησης στην κατασκευή τη δεκαετία του 1970. Η επερχόμενη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) θα ενεργοποιηθεί από το Διαδίκτυο, το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανημάτων (Cyber Physical Systems-CPS) σε μεγάλα δίκτυα [39].

Οι ασύρματες και κινητές επικοινωνίες έχουν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για τη βιομηχανική εφαρμογή που όμως προϋποθέτει ότι οι ασύρματες συνδέσεις λειτουργούν με χαμηλή καθυστέρηση και με αξιοπιστία. Χαμηλή καθυστέρηση και πολύ χαμηλές πιθανότητες λάθους είναι νέες απαιτήσεις που θα αντιμετωπιστούν με τα δίκτυα 5G. Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε περιπτώσεις χρήσης στον κλάδο της βιομηχανίας [18].

#### 3.6.1 – Βιομηχανικός αυτοματισμός

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός ασχολείται κυρίως με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών της αλυσίδας παραγωγής, της ποιότητας των διαδικασιών ελέγχου και επεξεργασίας των υλικών. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να εξασφαλίσουν τη συνδεσιμότητα μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής και με περαιτέρω παράγοντες της βιομηχανικής αλυσίδας (π.χ. προμηθευτές, logistics) απρόσκοπτα και σε πραγματικό χρόνο. Θα επιτρέπουν την παρακολούθηση των οχημάτων που διανέμουν προϊόντα σε απομακρυσμένες περιοχές. Ο συντονισμός των οχημάτων θα βελτιστοποιήσει τις λειτουργικές ροές του εφοδιασμού.





Εικόνα 16 – Industry 4.0 [40]

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλουν στην αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ όλων των συμμετεχόντων και των συστημάτων που εμπλέκονται στην αλυσίδα παραγωγής καταναμεμένα σε πολλές περιοχές [41].

### 3.6.2 – Επαυξημένη πραγματικότητα

Με την ανάπτυξη συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR), νέες εξ αποστάσεως υπηρεσίες αναμένεται να προκύψουν και να διευκολύνουν τη δημιουργία εικονικών ομάδων υποστήριξης (back office). Σε αυτές τις απομακρυσμένες ομάδες θα παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα δεδομένα που προέρχονται από τις έξυπνες συσκευές για προληπτικούς ελέγχους και εύκολη πρόσβαση στις λειτουργίες των συστημάτων, π.χ. θα μπορούν να βλέπουν μέσω της κινητής συσκευής του εργαζομένου αυτό που βλέπει. Επιπλέον, η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στο εργοστάσιο θα διευκολύνει και στη απομακρυσμένη συντήρηση και επισκευή των μηχανημάτων.

### 3.6.3 – Συνεργατικά ρομπότ

Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα των γραμμών παραγωγής, δημιουργείται η ανάγκη της άμεσης βελτιστοποίησης η οποία βασίζεται στην παρακολούθηση των επιδόσεων των επιμέρους συστατικών σε πραγματικό χρόνο, στις μετρούμενες διακυμάνσεις της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, στις αλληλεπιδράσεις

των χειριστών και στους μεταβαλλόμενους παράγοντες στο περιβάλλον. Σε αντίθεση με τα κινητά ρομπότ τα οποία απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, οι αισθητήρες επικοινωνούν με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, αλλά με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία. Εκτός από την επικοινωνία μεταξύ των μηχανών, νέα σενάρια χαμηλής καθυστέρησης στην επικοινωνία αναδύονται, με τις συλλογικές λειτουργίες που προσφέρονται από τη νέα γενιά ρομπότ, όπως η εισαγωγή των συσκευών ελέγχου (wearables) και της επαυξημένης πραγματικότητας. Οι περισσότερες συσκευές στο μέλλον θα είναι ασύρματες ή κινητές, και θα απαιτούν γρήγορη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων (3D μοντέλων, μεγάλου όγκου δεδομένα) για γρήγορη παρέμβαση. Ο όγκος των πληροφοριών που πρέπει να μεταδοθεί και να επεξεργαστεί σε συνολικό επίπεδο, για να παρθούν γρήγορες αποφάσεις, είναι υψίστης σημασίας.

Τα συνεργατικά ρομπότ θα διευκολύνουν την περαιτέρω αυτοματοποίηση, αυξάνοντας τις ικανότητες των χειριστών, την απόδοση της παραγωγής και την ποιότητα της παραγωγής με ασφάλεια. Τα δίκτυα 5G θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο, παρέχοντας εξαιρετικά γρήγορη και εξαιρετικά αξιόπιστη πρόσβαση [42].

### **3.7 – Κλάδος Ψυχαγωγίας και ενημέρωσης**

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται τεράστιες μελέτες για την βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη αναπτύσσοντας νέες εφαρμογές τόσο για την ψυχαγωγία όσο και την ενημέρωση του. Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές της τεχνολογίας 5G στον τομέα της ψυχαγωγίας και της ενημέρωσης των χρηστών.

#### **3.7.1 – Έξυπνο γραφείο (Smart office)**

Η συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης χαρακτηρίζεται από τις εσωτερικές επικοινωνίες στα διαμερίσματα και σε κτίρια γραφείων με υψηλή πυκνότητα συσκευών. Στο μέλλον προβλέπεται ότι οι περισσότερες από τις συσκευές θα

συνδέονται ασύρματα και οι χρήστες θα αλληλεπιδρούν μέσω αυτών. Αυτό υποδηλώνει ένα σενάριο στο οποίο εκατοντάδες χρήστες θα είναι συνδεδεμένοι και θα εκτελούν εφαρμογές οι οποίες απαιτούν εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης, υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, άμεση επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων στο νέφος, και άμεση επικοινωνία μέσω βίντεο. Οι κύριες προκλήσεις αντιπροσωπεύονται από το μεγάλο όγκο και τον υψηλό ρυθμό δεδομένων των χρηστών σε συνδυασμό με την πυκνότητα της κυκλοφορίας. Εκτιμάται πως ο ρυθμός δεδομένων θα φτάσει στο 1 Gbps και 15000 Gbps / km<sup>2</sup> [18].

### 3.7.2 – Διάχυτο βίντεο

Μετά το 2020, οι επικοινωνίες μεταξύ των χρηστών με τη χρήση βίντεο υψηλής ανάλυσης θα έχουν μια πολύ ευρύτερη χρήση με πολύ πιο προηγμένες και ακραίες δυνατότητες. Οι χρήστες θα επικοινωνούν μέσω βίντεο ευρέως στην καθημερινή ροή της εργασίας τους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την μετάδοση δεδομένων για οπτική απεικόνιση, τις απομακρυσμένες συνεδριάσεις στελεχών εταιρειών μέσω 3D απεικόνισης και την υποστήριξη των πελατών μέσω υπηρεσιών ολόγραμμα. Θα προκύψουν περιβάλλοντα κατά τα οποία το βίντεο θα είναι διαθέσιμο σε όλους, ανεξάρτητα από τη φυσική τοποθεσία, τη συσκευή που χρησιμοποιείται, και το δίκτυο σύνδεσης. Τα δίκτυα 5G θα αντιμετωπίσουν με επιτυχία τον μεγάλο αριθμό των ταυτόχρονων ενεργών συνδέσεων, σε συνδυασμό με την απόδοση που απαιτείται (Ρυθμός δεδομένων και ο λανθάνων χρόνος από άκρο σε άκρο) [28].

### 3.7.3 – Μαζική συγκέντρωση

Η προσωρινή μαζική συγκέντρωση πολλών ανθρώπων σε ένα στάδιο για την παρακολούθηση ενός γεγονότος αποτελεί ακόμη μια περίπτωση χρήσης. Κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων οι άνθρωποι μπορούν να παρακολουθούν βίντεο υψηλής ευκρίνειας και να ανταλλάσουν περιεχόμενο είτε στο εσωτερικό του σταδίου είτε για μετάδοση του γεγονότος προς το διαδίκτυο. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της περίπτωσης χρήσης είναι ο τεράστιος όγκος ανταλλαγής

δεδομένων που δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ την υπόλοιπη χρονική περίοδο η κίνηση στην περιοχή είναι κανονική ή πολύ χαμηλή. Αυτές οι εφαρμογές θα απαιτούν ένα συνδυασμό σύνδεσης με υψηλό ρυθμό δεδομένων και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση [42].

#### **3.7.4 – Εικονική πραγματικότητα**

Τα ηλεκτρονικά παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας αποτελούν μια ακόμα περίπτωση χρήσης των δικτύων 5G. Τα μελλοντικά παιχνίδια θα έχουν αυξημένες απαιτήσεις. Δεν θα βασίζονται μόνο στην αλληλεπίδραση του χρήστη με την οθόνη αλλά πρόκειται να περιλαμβάνουν πολλαπλά συστατικά, όπως το GPS, κάμερα, επιταχυνσιόμετρα. Η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και η απόδοση του δικτύου είναι δύο σημαντικά στοιχεία τα οποία θα υποστηρίξουν τα δίκτυα 5G με ταχύτητες μετάδοσης 50Mbit/s και καθυστέρηση 50 ms [18].

#### **3.7.5 – Παραγωγές ενημέρωσης**

Αυτό καλύπτει σημαντικές πτυχές της παραγωγής των μέσων ενημέρωσης. Το βιντεοσκοπημένο περιεχόμενο της είδησης θα μοιράζεται άμεσα σε περιβάλλον νέφους, αξιοποιώντας τις διασυνδεδεμένες κάμερες και μικρόφωνα με τα δίκτυα 5G από οπουδήποτε προς οπουδήποτε με επιπλέον αυτόματα προ-επισυναπτόμενα δεδομένα. Το περιεχόμενο θα επεξεργάζεται από διαφορετικούς χρήστες σε πολλαπλές τοποθεσίες ταυτόχρονα και θα μπορεί να αναδιαμορφωθεί για διαφορετικές απαιτήσεις. Η αμεσότητα της πρόσβασης στο περιεχόμενο, όπως δημιουργείται, θα μειώσει σημαντικά τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής των μέσων ενημέρωσης .

#### **3.7.6 – Βίντεο υψηλής ευκρίνειας**

Οι άνθρωποι στο μέλλον θα καταγράφουν μέσω των κινητών τους συσκευών όλο και περισσότερο περιεχόμενο (όπως βίντεο 4k) για να το μοιραστούν με άλλους σε περιβάλλον νέφους. Το μελλοντικό δίκτυο 5G θα είναι σε θέση να

υποστηρίζει την υψηλή ζήτηση εύρους ζώνης και την συνεχή ροή από διάφορες συσκευές με σκοπό την αύξηση της εμπειρίας των χρηστών [43].

### **3.8– Επίλογος κεφαλαίου**

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G αναμένεται να βελτιώσει την εμπειρία των χρηστών και να οδηγήσει στην αύξηση περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών σε όλους τους κλάδους και πιο συγκεκριμένα στις κάθετες βιομηχανίες με σημαντικά οφέλη. Ο μεγάλος αριθμός των περιπτώσεων χρήσης και των εφαρμογών για τα δίκτυα επόμενης γενιάς κινητών επικοινωνιών 5G, θα αυξηθεί ραγδαία με περισσότερες εφαρμογές και θετικά τόσο για τους ανθρώπους όσο και τις κάθετες βιομηχανίες.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύχθηκαν περιπτώσεις χρήσης των μελλοντικών δικτύων 5G καθώς επίσης οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ανάλυση των αναπτυσσόμενων εφαρμογών στους κλάδους της υγείας, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας, της βιομηχανίας και της ψυχαγωγίας συνδυάζοντας τα οφέλη για τον κάθε κλάδο ξεχωριστά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4– Διαδικασίες Προτυποποίησης

### 4.1 – Εισαγωγή

Τα πρότυπα αποτελούν τις θεμελιώδεις δομικές μονάδες για την ανάπτυξη προϊόντων με τη θέσπιση κανόνων ικανών να γίνουν κατανοητοί και να υιοθετηθούν παγκοσμίως. Αυτό βοηθά στη συμβατότητα και στη διαλειτουργικότητα, απλοποιεί την ανάπτυξη προϊόντων και επιταχύνει το χρόνο προώθησης των προϊόντων στη αγορά [44].

Η χρήση προτύπων εξασφαλίζει τις απαιτήσεις της διασυνδεσιμότητας και διαλειτουργικότητας. Μόνο μέσω της εφαρμογής προτύπων μπορεί να επαληθευτεί η αξιοπιστία των νέων προϊόντων και των νέων αγορών. Με την ανάπτυξη προτύπων συμβάλλουμε στην ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών που επηρεάζουν και μετασχηματίζουν τον τρόπο με τον οποίο ζούμε, εργαζόμαστε και επικοινωνούμε [45].

Πολλοί οργανισμοί τυποποίησης, φόρουμ της βιομηχανίας ανεξάρτητες εργασίες, ευρωπαϊκά προγράμματα συμμετέχουν στην προτυποποίηση του 5G. Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τις δραστηριότητες φορέων που εργάζονται σε αυτό το χώρο τα τελευταία χρόνια, παρουσιάζοντας το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των προτύπων του 5G.

### 4.2– Φορείς Προτυποποίησης

Οι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων (Standards developing organizations – SDOs) αναπτύσσουν και συμφωνούν σχετικά με τα τεχνικά πρότυπα για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα στη βιομηχανία να παράγει και να αναπτύσσει τυποποιημένα προϊόντα και να παρέχει διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Τα πρωτόκολλα επικοινωνιών βασίζονται σε λεπτομερή πρότυπα επιτυγχάνοντας τη σωστή επικοινωνία όλων των συσκευών διαφορετικών χωρών και εταιρειών κατασκευής. Οι SDOs είναι συνήθως

οργανισμοί μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα και δεν ελέγχονται από τις διάφορες κυβερνήσεις.

Η ανάγκη για τυποποίηση σε παγκόσμιο επίπεδο οδήγησε και τις περισσότερες SDO να συνεργαστούν σε παγκόσμιο επίπεδο. Για παράδειγμα, οι τεχνικές προδιαγραφές των GSM, WCDMA / HSPA και LTE δημιουργούνται από τη 3GPP, ο οποίος είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός που αποτελείται από επτά περιφερειακές και εθνικές SDO στην Ευρώπη (European Telecommunications Standards Institute-ETSI), την Ιαπωνία (Association of Radio Industries and Businesses-ARIB), Ηνωμένες Πολιτείες (Alliance for Telecommunications Industry Solutions-ATIS), Κίνα (China Communications - (CCSA), Κορέα (Telecommunications Technology Association of Korea-TTA) και την Ινδία (Telecommunications Standards Development Society –TSDSI) [46].

#### 4.3 – Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU)



Η ITU αποτελεί τον κορυφαίο οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών για την τεχνολογία της πληροφορίας και της επικοινωνίας (ΤΠΕ) και το παγκόσμιο σημείο αναφοράς για τις κυβερνήσεις και τον ιδιωτικό τομέα στην ανάπτυξη δικτύων και υπηρεσιών. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU), που ιδρύθηκε το 1865, έγινε μια εξειδικευμένη υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών το 1947, προσφέροντας ένα ενιαίο περιβάλλον για 193 κράτη μέλη και περισσότερα από 700 μέλη του κλάδου και συνεργάτες της βιομηχανίας, διεθνείς και περιφερειακούς οργανισμούς, καθώς και περισσότερους από 100 ακαδημαϊκούς ώστε να συνεργαστούν για την παγκόσμια βελτίωση και την ορθολογική χρήση των τηλεπικοινωνιών και των ραδιοεπικοινωνιών.

Η ITU εκπληρώνει αυτή τη θεμελιώδη αποστολή μέσω των τριών κλάδων: του τομέα ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R), του κλάδου τυποποίησης τηλεπικοινωνιών (ITU-T) και του τομέα ανάπτυξης τηλεπικοινωνιών (ITU-D).

Το έργο της ITU στον τομέα των ραδιοεπικοινωνιών επικεντρώνεται στον κλάδο ITU-R, ο οποίος εργάζεται προς την κατεύθυνση μιας παγκόσμιας συναίνεσης όσον αφορά τη χρήση υπηρεσιών διαστημικών και επίγειων ραδιοεπικοινωνιών και μιας τεράστιας και αυξανόμενης γκάμας ασύρματων υπηρεσιών και εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των δημοφιλών νέων τεχνολογιών κινητής επικοινωνίας [47].

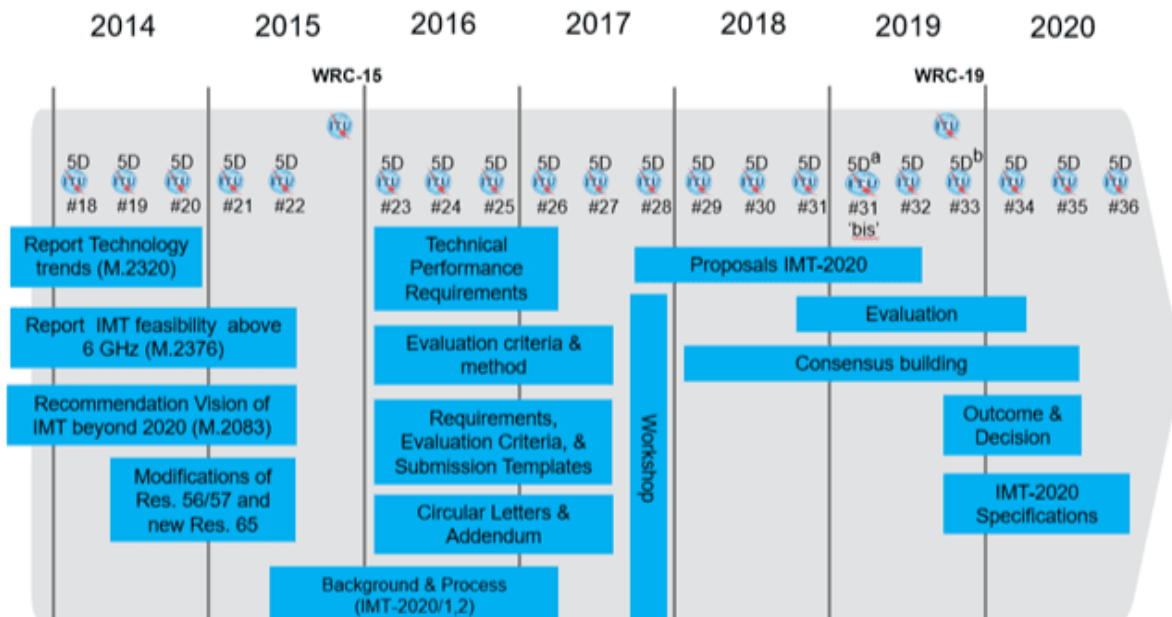
#### 4.3.1 – ITU-R

Το 2012, ο τομέας ραδιοεπικοινωνιών της ITU (ITU-R), με επικεφαλής την ομάδα εργασίας 5D, ξεκίνησε ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη του "IMT για το 2020 και μετά" (International Mobile Telecommunications 2020 and Beyond). Ο στόχος είναι να αναπτυχθούν οι απαιτήσεις για την 5G γενιά των κινητών επικοινωνιών. Η IMT παρέχει μια παγκόσμια πλατφόρμα για την ανάπτυξη των επόμενων γενιών κινητών υπηρεσιών, τη γρήγορη πρόσβαση δεδομένων, την ενοποιημένη ανταλλαγή μηνυμάτων. Η ομάδα εργασίας 5D έχει αναπτύξει ένα πρόγραμμα εργασίας, το χρονοδιάγραμμα, τη διαδικασία και τις τελικές αποφάσεις για το "IMT-2020". Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, οι "Προδιαγραφές IMT-2020" θα πρέπει να είναι έτοιμες μέχρι το 2020 [48].

Από τον Σεπτέμβριο του 2015, έχουν ολοκληρωθεί:

- Οι μελλοντικές τεχνολογικές τάσεις των επίγειων συστημάτων IMT : Η παρούσα έκθεση παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις τεχνολογικές τάσεις των επίγειων συστημάτων IMT, λαμβάνοντας υπόψη το χρονικό πλαίσιο 2015-2020 και μετέπειτα. Οι τεχνολογίες που περιγράφονται στην παρούσα έκθεση είναι συλλογές πιθανών τεχνολογικών μέσων που μπορούν να εφαρμοστούν στο μέλλον [49].
- Σύσταση για το IMT μετά το 2020: Η έκθεση εξετάζει το μακροπρόθεσμο όραμα για το 2020 και μετά, και θα παράσχει το πλαίσιο και τους γενικούς στόχους των μελλοντικών εξελίξεων της IMT [50]





Εικόνα 17 – Χρονοδιάγραμμα Προτυποποίησης ITU (48)

- Τεχνική Εξέλιξη σε ζώνες άνω των 6 GHz : Η παρούσα έκθεση παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μελέτη της τεχνικής εξέλιξης του IMT στις ζώνες άνω των 6 GHz [51].

Από την ITU-R έχουν καθοριστεί οι ημερομηνίες για το Συμβούλιο Τηλεπικοινωνιών (Radiocommunication Assembly RA-19 (21-25 Οκτωβρίου 2019)) και το Παγκόσμιο συνέδριο Τηλεπικοινωνιών (World Telecommunication Conference WRC-19 (28 Οκτωβρίου - 22 Νοεμβρίου 2019)) για τη “διεξαγωγή των μελετών κοινής χρήσης και συμβατότητας”.

Η ομάδα εργασίας (Working Party–WP) 5D # 32 έχει ορίσει την κύρια συνάντηση της τον Ιούλιο του 2019 [49]. Μέχρι τότε καλείται να διεξαγάγει τις κατάλληλες μελέτες κοινής χρήσης και συμβατότητας, λαμβάνοντας υπόψη και την προστασία των υπηρεσιών κατανομής της ζώνης φάσματος [52].

#### 4.3.2 – ITU-T

Η ομάδα μελέτης 13 της ITU-T (SG13) καθόρισε τον Μάιο του 2015 μια Ομάδα Εστίασης ITU-T στο IMT-2020 (Focus Group IMT-2020) για τον εντοπισμό κενών

στα πρότυπα που θα καλυφθούν στην ανάπτυξη των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (IMT) για το '5G' [53].

Το FG IMT-2020 διερεύνησε τον τρόπο με τον οποίο οι αναδυόμενες τεχνολογίες 5G θα αλληλεπιδρούν στα μελλοντικά δίκτυα. Μελέτησε τις τεχνολογίες όπως το δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό, τον τεμαχισμό του δικτύου, την αρχιτεκτονική 5G, την από άκρο σε άκρο διαχείριση δικτύου και τις σχετικές καινοτομίες ανοιχτού κώδικα. Κατέστησε σαφές ότι ο τεμαχισμός των δικτύων και δίκτυα καθοριζόμενα από το λογισμικό θα είναι θεμελιώδους σημασίας για τη δυναμική κατανομή των πόρων του δικτύου στο περιβάλλον 5G, δίνοντας στα δίκτυα την ευελιξία που απαιτείται για την υποστήριξη των εξειδικευμένων εφαρμογών του 5G.

Η δραστηριότητα τυποποίησης της ITU-T μαζί με την περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας της ITU-R, διασφαλίζει ότι οι εργασίες τυποποίησης του δικτύου 5G ενημερώνονται από την εξέλιξη των συστημάτων ασύρματης μετάδοσης.

Το WP 5D της ITU-R είναι η κύρια ομάδα για τη συνολική διατήρηση και ανάπτυξη νέων προτάσεων σχετικά με της τεχνολογία 5G. Η δραστηριότητα αυτή περιλαμβάνει επίσης επαφές με την ITU-T σχετικά με τις δραστηριότητες τυποποίησης και με την ITU-D σε σχέση με την εφαρμογή στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης, διατηρούνται ισχυρές συνεργατικές προσπάθειες με εξωτερικούς οργανισμούς και γνωστούς οργανισμούς ανάπτυξης προτύπων [54].

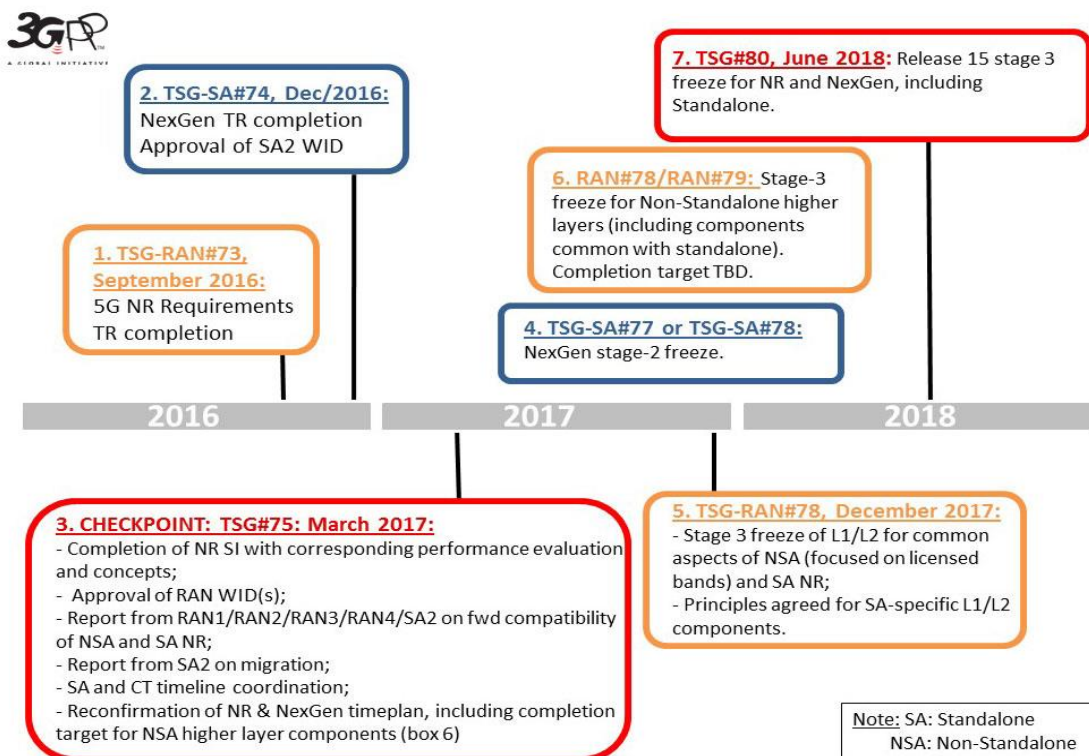
#### 4.4– 3rd Generation Partnership Project (3GPP)



Ο 3ο Πρόγραμμα Σύμπραξης 3ης γενιάς (3GPP) ενώνει τους επτά οργανισμούς τυποποίησης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC) και παρέχει στα μέλη τους ένα σταθερό περιβάλλον και τις προδιαγραφές που ορίζουν τις τεχνολογίες 3GPP. Τα πρότυπα της 3GPP έχουν διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην επιτυχία του LTE,

καθιστώντας το, την ταχύτερα αναπτυσσόμενη τεχνολογία στην ιστορία (η έκδοση 3GPP 8 ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2008) [55].

Οι εργασίες ανάπτυξης τεχνικών προδιαγραφών στο πλαίσιο του 3GPP υλοποιούνται από ομάδες τεχνικών προδιαγραφών (TSG- Technical Specification Groups). Συγκεκριμένα, η έκθεση της TSG κατατίθεται στην ομάδα συντονισμού του σχεδίου (Project Coordination Group-PCG) και μπορεί να οργανώσει το έργο σε ομάδες εργασίας και να συνεργαστεί με άλλες ομάδες ανάλογα με την περίπτωση. Κάθε ομάδα τεχνικών προδιαγραφών έχει την ευθύνη να αναπτύξει, να εγκρίνει και να διατηρήσει τις προδιαγραφές για τις οποίες έχει λάβει εντολή έρευνας. Η 3GPP τυποποιεί το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας 5G που αναφέρεται ως New Radio-NR και το δίκτυο πυρήνα νέας γενιάς (Core Network-CN).

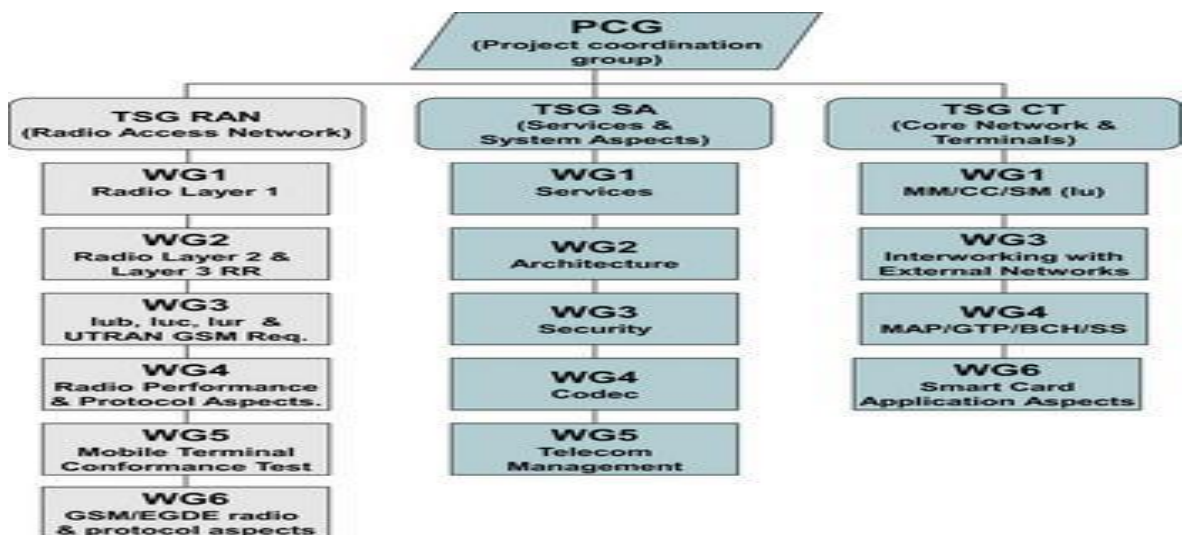


Εικόνα 18 –Χρονοδιάγραμμα ομάδων τεχνικών προδιαγραφών 5G 3GPP [56]

Το 3GPP έχει οργανωθεί σε τρεις Ομάδες Τεχνικών Προδιαγραφών (TSG) - βλέπε εικόνα [19].

Το TSG RAN είναι υπεύθυνο για τον ορισμό των λειτουργιών, των απαιτήσεων και την εξέλιξη της ασύρματης πρόσβασης. Η ομάδα τεχνικών προδιαγραφών RAN αποτελείται από έξι ομάδες εργασίας (WGs):

- RAN WG1: Ασχολείται με τις προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου. Το μεγάλο εύρος ζώνης είναι η βασική μέθοδος για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων [58]. Πολλές άλλες τεχνικές, όπως η συνάθροιση φορέων (CA), οι πολλαπλές κεραίες και η κωδικοποίηση μέσω ελέγχου ισοτιμίας (low-density parity-check LDPC) μιας τεχνικής διόρθωσης λαθών σε κανάλια με υψηλό θόρυβο, θεωρούνται επίσης τρόποι για την ενίσχυση της ταχύτητας δεδομένων (έως 20Gbps). Συνοψίζοντας, ο ευέλικτος σχεδιασμός και η διαμόρφωση των τρόπων μετάδοσης και των παραμέτρων είναι η βασική ιδέα του 5G NR.
- RAN WG2: Ασχολείται με τις προδιαγραφές ραδιοεπικοινωνίας της αρχιτεκτονικής και των πρωτοκόλλων. Η κατανάλωση ,η μείωση των παρεμβολών ,η κινητικότητα ανάμεσα σε δύο επίπεδα το (Radio Resource



Εικόνα 19 –Ομάδες τεχνικών προδιαγραφών 5G 3GPP [57]

Control-RRC) and (Medium Access Control-MAC)) ώστε να υπάρχει μικρή καθυστέρηση είναι μερικά από τα νέα χαρακτηριστικά του νέου πλάνου ελέγχου. Οι νέες λειτουργίες έχουν ως κύριο σκοπό να μειώσουν την καθυστέρηση βελτιώνοντας της ήδη υπάρχουσες λειτουργίες [59].

- RAN WG3: Η ομάδα είναι υπεύθυνη για το σχεδιασμό της γενικής αρχιτεκτονικής και των διεπαφών του δικτύου πρόσβασης. Η ολοκληρωμένη μελέτη [60] εισήγαγε πολλά νέα χαρακτηριστικά ώστε να επιτρέψει την ευέλικτη και χαμηλού κόστους ανάπτυξη, τη μη αυτόνομη αρχιτεκτονική για την υποστήριξη διπλής συνδεσιμότητας LTE και NR [11], την υποστήριξη πολλαπλών συνδέσεων NR για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και εξαιρετικής αξιοπιστίας.

- RAN WG4: Ασχολείται με τις απαιτήσεις επιδόσεων διαχείρισης συχνοτήτων και των ασύρματων πόρων (RRM) [61]. Το RAN WG4 εκτελεί προσομοιώσεις διαφορετικών σεναρίων συστημάτων RF και εξάγει τις ελάχιστες απαιτήσεις για παραμέτρους μετάδοσης και λήψης. Μόλις καθοριστούν αυτές οι απαιτήσεις, η ομάδα ορίζει τις διαδικασίες δοκιμής που θα χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευσή τους. Οι απαιτήσεις για άλλα στοιχεία του ασύρματου δικτύου, όπως οι αναμεταδότες, καθορίζονται επίσης στο RAN WG4. Τα βασικά θέματα επίσης περιλαμβάνουν τον ορισμό του φάσματος (π.χ. ζώνες λειτουργίας NR και συνδυασμούς LTE-NR διπλής συνδεσιμότητας), μελέτη συνύπαρξης εάν υπάρχει, σχεδιασμός (όπως διαμόρφωση εύρους ζώνης καναλιού / μετάδοσης, χρήση φάσματος, (RF) για τον σταθμό βάσης (BS) και τον εξοπλισμό χρήστη (UE) και τις διαδικασίες διαχείρισης ραδιοφάσματος (RRM) [61].

- RAN WG5: Ασχολείται με τη δοκιμή συμμόρφωσης συσκευών. Η ομάδα εργάζεται για τις προδιαγραφές των δοκιμών συμμόρφωσης στη διασύνδεση τον εξοπλισμό χρήστη (UE). Οι προδιαγραφές δοκιμής βασίζονται σε άλλες ομάδες, όπως το RAN WG4 για τις περιπτώσεις ραδιοελέγχου και το RAN WG2 και WG1 για τις περιπτώσεις δοκιμής σηματοδότησης και πρωτοκόλλων. Το RAN WG5 είναι οργανωμένο σε δύο

υποομάδες, μια υποομάδα RF και μία υποομάδα σηματοδότησης. Η ομάδα εστιάζει WG5 τόσο στις ζώνες κάτω από 6GHz όσο και στις ζώνες πάνω από τα 6GHz.

- RAN WG6, που ασχολείται με την τυποποίηση του GSM / EDGE (57).

Η τεχνική ομάδα προδιαγραφών TSG-SA είναι υπεύθυνη για τη συνολική αρχιτεκτονική και τις δυνατότητες εξυπηρέτησης των συστημάτων που βασίζονται στις προδιαγραφές 3GPP, καθώς επίσης και για το συντονισμό όλων των τεχνικών ομάδων συνεργασίας παγκοσμίως.

Η ομάδα για θέματα υπηρεσιών και συστημάτων 2 (SA2) είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη τυποποίησης δικτύων.

- Η SA2 ολοκλήρωσε τη μελέτη για το δίκτυο πυρήνα επόμενης γενιάς (NGCore) [62]. Η εργασία αυτή παρήγαγε προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική και τις διαδικασίες του συστήματος 5G στα τέλη του 2017. Η νέα αρχιτεκτονική του κεντρικού δικτύου είναι εξοπλισμένη με πολλά νέα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένου του διαχωρισμού του πλάνου ελέγχου / χρήστη, τις αρχιτεκτονικής βασισμένης σε υπηρεσίες, του διαμοιρασμού και απομόνωσης λειτουργιών δικτύου, διαχείρισης της κινητικότητας, της ποιότητας QoS της διαχείρισης. Τον Μάρτιο του 2017, η λειτουργία NSSF (Network Slice Selection Function), μια λογικά ανεξάρτητη λειτουργία, εισήχθη για να υποστηρίξει την ευέλικτη ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση διαφόρων φετών δικτύου.

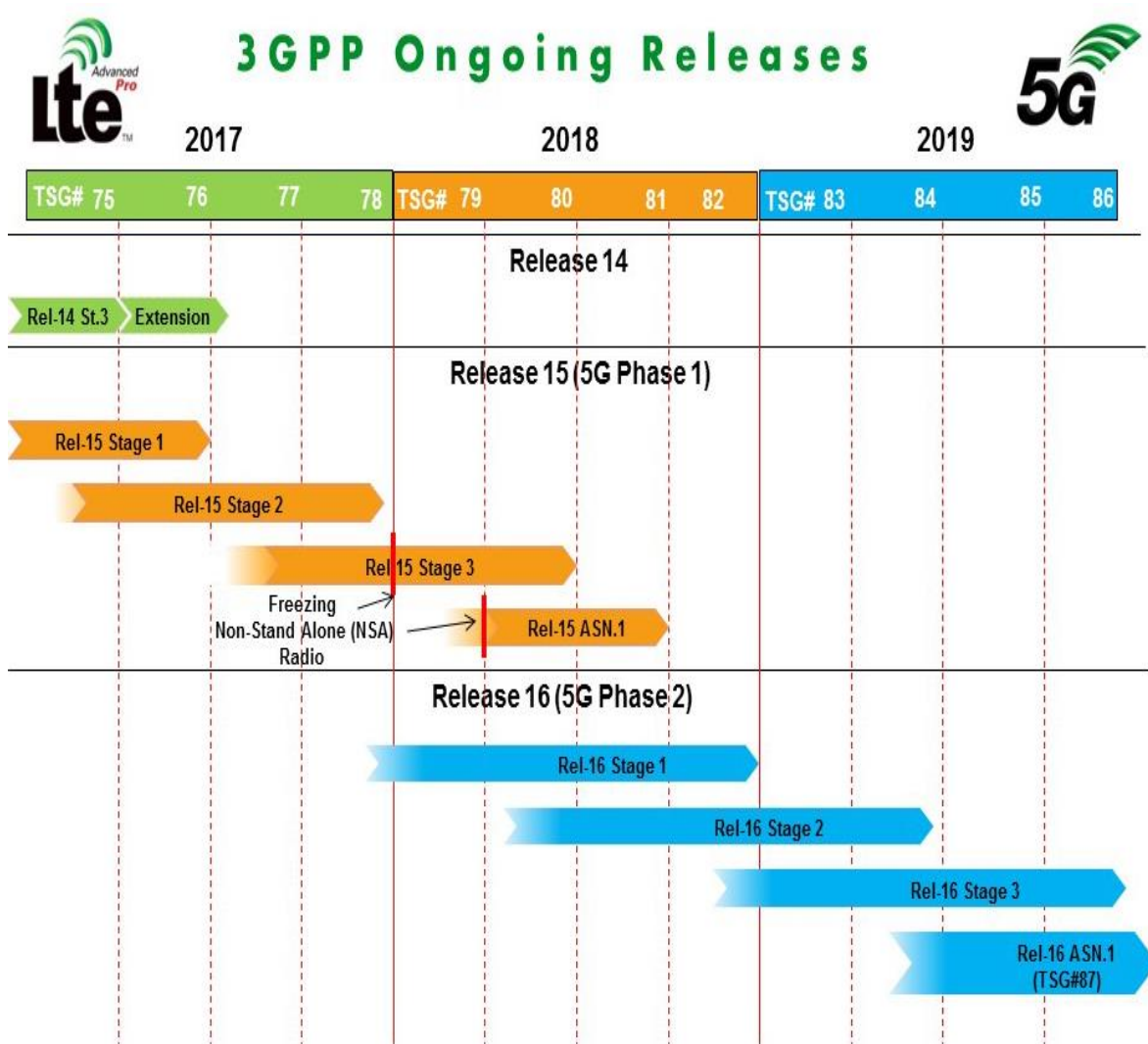
- Η SA1 έχει ολοκληρώσει τον ορισμό και τις προδιαγραφές στις απαιτήσεις υπηρεσίας 5G.

- Η SA3 ολοκλήρωσε μια μελέτη για την προοπτική της ασφάλειας.

- Η SA5 εκτελεί ταυτόχρονες μελέτες από την πλευρά του ελέγχου του δικτύου, μία από τις οποίες είναι ο ορισμός της διαχείρισης και συντονισμού (Management and Orchestration-MANO) για την αποτελεσματική διαχείριση

των υποδομών και των φετών του δικτύου για επιχειρηματικές δραστηριότητες.

Τον Δεκέμβριο του περασμένου έτους, η 3GPP ενέκρινε για πρώτη φορά το πρότυπο για το μη αυτόνομο 5G (Non Standalone-NSA), που χρησιμοποιεί την υπάρχουσα 4G LTE ως άγκυρα για σύνδεση με το 5G. Καθώς το πρότυπο 5G Standalone (SA) θα ολοκληρωθεί στη διάσκεψη του Busan, το πρότυπο φάσης 1 του 5G θα εγκριθεί επίσημα στην ολομέλεια 3GPP στις Η.Π.Α. Επιπλέον χαρακτηριστικά NR και βελτιώσεις θα καθοριστούν από τον οργανισμό της 3GPP από το Rel. 16 και μετά. Στην παρακάτω εικόνα (20) ορίζεται το χρονοδιάγραμμα από την 3GPP [5].



Εικόνα 20 –Χρονοδιάγραμμα προτυποποίησης 5G 3GPP [5]

#### 4.5– Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE



Ο IEEE Σύνδεσμος Προτύπων (Standards Association-IEEE SA) είναι ένας οργανισμός που παρέχει μια ανοιχτή πλατφόρμας συνεργασίας ανάμεσα σε κοινότητες, πανεπιστήμια, οργανισμούς και εταιρίες με σκοπό την μελέτη και την ανάπτυξη προτύπων, περιπτώσεων χρήσης και δοκιμών, τα οποία με τη σειρά τους επιταχύνουν την εμπορευματοποίηση των τεχνολογιών.

Οι τομείς έρευνας κυρίως περιλαμβάνουν:

- Ανάπτυξη κινητού ευρυζωνικού δικτύου.
- Διαλειτουργικότητα της τεχνολογίας.
- Ενεργοποίηση του IoT και των έξυπνων πόλεων.

Ταυτόχρονα γίνεται και υποστήριξη διαφόρων επιμέρους τεχνολογιών όπως:

- Η δικτύωση, η πληροφορική και η αποθήκευση των επιμέρους πόρων σε μια προγραμματιζόμενη και ενοποιημένη υποδομή.
- Βιωσιμότητα, κλιμάκωση, ασφάλεια και διαχείριση απορρήτου.
- Φάσμα.
- Ενεργοποίηση λογισμικού για SDN, NFV, Mobile Edge, Fog Computing, Virtualization κ.λπ.

##### 4.5.1 – IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee

Η Επιτροπή Προτύπων Δικτύου Τοπικού Δικτύου / Μητροπολιτικού Δικτύου (LAN / MAN) του IEEE 802 αποτελείται από σχεδόν 1000 συμμετέχοντες που αναπτύσσουν πρότυπα για δίκτυα, κυρίως στο επίπεδο 1 και 2 των μοντέλων αναφοράς OSI [63]. Αυτά τα πρότυπα αναφέρονται κυρίως σε δίκτυα προσωπικών δικτύων (PAN) τοπικών, αλλά και εθνικών δικτύων (RAN).





Εικόνα 21 –Διασύνδεση έξυπνων συσκευών [64]

Είναι πολύ σημαντικός ο ρόλος που διαδραμάτισαν τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του IEEE 802 στα μελλοντικά προηγμένα δίκτυα. Στην εικόνα (21) [64] απεικονίζεται η συνδεσιμότητα κάποιων συσκευών και οχημάτων προηγμένων δυνατοτήτων. Η επαυξημένη πραγματικότητα στην ψυχαγωγία, οι ασφαλέστερες και πιο αυτόνομες μεταφορές, η αξιόπιστη πρόσβαση στην απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη, η βελτιωμένη δημόσια ασφάλεια, η πιο έξυπνη γεωργία, ενέργεια / υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, οι βιώσιμες πόλεις και οι υποδομές θα ολοκληρώσουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Όπως είπαμε και παραπάνω οι εφαρμογές του 5G θα είναι σχεδόν παντού γύρω μας. Λόγω του ευρέος πεδίου σχεδόν όλα τα πρότυπα εντός του IEEE 802 θα διαδραματίσουν ισχυρό ρόλο στην ανάπτυξη υπηρεσιών και εφαρμογών 5G. Η επιτροπή "5G / IMT-2020 Standing Committee" (65) της IEEE 802, συνεδριάζει από Φεβρουάριο μέχρι τον Ιούλιο του 2016 προσπαθώντας να ορίσει τα κοινά σημεία των προτύπων του 802.11 με το 5G. Δημιουργήθηκαν ομάδες εργασίας που θα ασχοληθούν με τη προώθηση της προτυποποίησης του 5G. Ο κατάλογος αυτός οργανώνεται από την αρμόδια ομάδα εργασίας (Computer Society Standards for 5G and Beyond WG).

1. Το IEEE 802.1 WG ασχολείται με την αρχιτεκτονική, τη δικτύωση του διαδικτύου, την ασφάλεια, τη διαχείριση δικτύου, την ευαίσθητη στο χρόνο δικτύωση και τα στρώματα πρωτοκόλλου πάνω από το επίπεδο 2. Η

Ομάδα Εργασίας υπεύθυνη για χαμηλής καθυστέρησης δικτύων αναπτύσσει την εργασία P802.1CM που θα υποστηρίξει τις ευαίσθητες στο χρόνο ροές εντός των ενσύρματων δικτύων .Η Ομάδα Εργασίας OmniRAN της WG αναπτύσσει το έργο P802.1CF για τη δημιουργία προδιαγραφών στο " Network Reference Model and Functional Description of IEEE 802 Access Network ", το οποίο θα αντιπροσωπεύει το IEEE 802 ως ένα ετερογενές αλλά συνεκτικό δίκτυο πρόσβασης το οποίο θα καθορίζεται από τους κανόνες που διέπει το καθορισμένο από το λογισμικό δίκτυο SDN. Επίσης το IEEE "Industry Connections" ασχολείται με προτάσεις για τις "βελτιώσεις δικτύου IEEE 802 για την επόμενη δεκαετία", η οποία θα αξιολογήσει τις απαιτήσεις για δίκτυα IEEE 802 του μέλλοντος.

II. Το IEEE 802.3 WG αναπτύσσει πρότυπα για το ενσύρματο δίκτυο (Ethernet), στα οποία βασίζονται τα ενσύρματα δίκτυα παγκοσμίως. Πολλά πρότυπα και έργα έχουν αναπτυχθεί από την ομάδα σε περιβάλλοντα όπως κέντρα δεδομένων, πανεπιστημιούπολεις, δίκτυα ευρείας περιοχής και αυτοκίνητα.

III. Το IEEE 802.11 WG αναπτύσσει πρότυπα για ασύρματα τοπικά δίκτυα πολλά από τα οποία είναι πιστοποιημένα ως Wi-Fi®. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το 5G είναι το IEEE 802.11ad και το έργο P802.11ay, το οποίο υποστηρίζει εξαιρετικά υψηλή απόδοση στις ζώνες των mWave που αποτελούν τις ζώνες μελέτης για το 5G. Το πρότυπο P802.11ax αντιμετωπίζει υψηλή συνολική απόδοση, με υψηλή πυκνότητα χρηστών, στο παραδοσιακό φάσμα ασύρματου δικτύου. Το IEEE 802.11ah έχει προδιαγραφές χρήσης για το φάσμα κάτω από 1 GHz, με έμφαση στην υποστήριξη του Διαδικτύου Των Πραγμάτων (IoT).

IV. Το IEEE 802.15 WG αναπτύσσει πρότυπα για μια ποικιλία ασύρματων δικτύων ειδικών εφαρμογών. Το έργο P802.15.3d στοχεύει τη διακίνηση 100 Gbit / s στο φάσμα THz για συνδέσεις από άκρο σε άκρο που υποστηρίζουν εφαρμογές όπως κέντρα δεδομένων. Το σχέδιο P802.15.7 τυποποιεί τις επικοινωνίες μικρής εμβέλειας σε ορατά, υπέρυθρα

και σε υπεριώδη μήκη κύματος. Επιπλέον, ορισμένα έργα τυποποίησης αναπτύσσουν βελτιώσεις στο IEEE 802.15.4, το οποίο φέρει τον τίτλο "Πρότυπο IEEE για ασύρματα δίκτυα χαμηλής ταχύτητας (IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks.).

V. Το IEEE 802.16 WG αναπτύσσει πρότυπα για ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τα IEEE 802.16 και 802.16.1 συνιστώνται σήμερα από την ITU για χρήση σε εφαρμογές 3G και 4G σύμφωνα με τα πρότυπα IMT-Advanced IMT-2000. Το έργο P802.16s δημιουργεί μια προσαρμογή για τις μικρότερες ζώνες συχνοτήτων που ενδιαφέρουν τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας.

VI. Το IEEE 802.21 WG αναπτύσσει το έργο P802.21.1 για την αντιμετώπιση ανεξάρτητων υπηρεσιών μέσων, όπως η παράδοση, το σύστημα διαχείρισης οικιακής ενέργειας, τα δίκτυα πρόσβασης ασύρματης πρόσβασης, η διαχείριση των πόρων και η επικοινωνία μεταξύ συσκευών.

VII. Το IEEE 802.18™ (Radio Regulatory Technical Advisory Group) δρα υποστηρικτικά στην ανάπτυξη των προτύπων ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN) υπό τον έλεγχο της επιτροπής προτύπων LAN / MAN IEEE Project 802 (802 LMSC). Η ομάδα αυτή δημιουργήθηκε ώστε η εργασία των επιμέρους ομάδων όπως οι IEEE 802.11 (WLAN), IEEE 802.15 (WPAN), IEEE 802.16 (WMAN), IEEE 802.20™ (Wireless Mobility), IEEE 802.21™ (Handoff/Interoperability Between Networks), and IEEE 802.22™ (WRAN) να συνδέεται ώστε να διατηρείται η διαδικασία της αλληλεπίδρασης και της σύνδεσης σε επιμέρους θέματα στον τομέα του IEEE802.

VIII. Το IEEE 802.19™ Wireless Coexistence Working Group ασχολείται με την ανάπτυξη προτύπων για συσκευές χωρίς άδεια χρήσης καθώς και εγγράφων πιστοποίησης στην προσπάθεια της διαλειτουργικότητας μέσα σε ένα ετερογενές δίκτυο. Η ομάδα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του 5G καθώς πολλών τύπων ετερογενείς συσκευές θα πρέπει να συνυπάρχουν επιτυχαίνοντας δίκτυα υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης. Απο το 2017 έχουν δημιουργηθεί δύο ξεχωριστές ομάδες.

a. Η IEEE P802.19.1a™ έχει ως σκοπό να επιτρέψει τη συνύπαρξη συσκευών και δικτύων IEEE 802 και εκείνων που δεν το χρησιμοποιούν.

b. Η δεύτερη ομάδα εργασίας P802.19.1b™ έχει σκοπό να ελέγξει πιθανές ρυθμίσεις βελτίωσης συσκευών που χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802 σε περιβάλλοντα που αφορούν την αυτοκίνηση. Η ομάδα ασχολείται με ρυθμίσεις είτε στο φυσικό επίπεδο (PHY) είτε στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης (MAC). Τα τυπικά σενάρια θα περιλαμβάνουν τις πρακτικές αντιμετώπισης παρεμβολών μεταξύ συσκευών IEEE 802 και μεταξύ συσκευών IEEE 802 και μη, καθώς και συσκευών IEEE 802 στη ζώνη 2,4 GHz.

IX. Το IEEE 802.22™ Wireless Regional Area Working Group που έχει σαν αντικείμενο μελέτης να χρησιμοποιήσει της μη χρησιμοποιούμενες τηλεοπτικές μπάντες (τις λεγόμενες λευκές περιοχές) για να παράσχει σταθερή και ασύρματη, συμπαγή, υψηλής απόδοσης, σε επικοινωνίες μακρινών αποστάσεων. Το IEEE 802.22-2011 πρότυπο έχει εγκριθεί από το ISO. Η Ομάδα Εργασίας IEEE 802.22 δημοσίευσε δύο τροπολογίες. IEEE 802.22a™ -2014 για τη βάση πληροφοριών διαχείρισης (MIB) και IEEE 802.22b™ -2015 για τις βελτιώσεις στις ευρυζωνικές υπηρεσίες και εφαρμογές παρακολούθησης. Η προδιαγραφή IEEE 802.22b αφορά στην ενίσχυση της απόδοσης του IEEE 802.22-2011 εφαρμόζοντας τρόπους καλύτερης χρήσης λειτουργίας των καναλιών, το MIMO και η βελτίωση στον αριθμό των χρηστών. Χαρακτηριστική είναι και η δυνατότητα σύνδεσης των συσκευών χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιος σταθμός βάσης. Η αναθεώρηση IEEE 802.22 βρίσκεται σε εξέλιξη και έχει προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί το 2018.

X. Το IEEE802.24™ είναι μία τεχνολογική συμβουλευτική ομάδα εφαρμογών με σκοπό την ανάπτυξη εφαρμογών στο IEEE802.11. Ασχολείται επί του παρόντος με εφαρμογές που του Smart Grid και IoT περιοχές ενδιαφέροντος που έχουν άμεση σχέση με την υλοποίηση του 5G.

Η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα μαζικών επικοινωνιών τύπου μηχανής, με δίκτυα που συνδέουν εκατομμύρια έξυπνους μετρητές [70].

#### 4.5.2 – Πρότυπα κοινωνίας των επικοινωνιών (ComSoc Standards For 5G and Beyond)

Εκτός από την οικογένεια προτύπων IEEE 802, το IEEE έχει πολλές άλλες δραστηριότητες προτύπων που ισχύουν για περιπτώσεις χρήσης 5G. Υπάρχουν πολλές άλλες τυπικές συναφείς δραστηριότητες στο πλαίσιο του IEEE που μπορεί επίσης να εμπίπτουν στο ευρύ πεδίο εφαρμογής του 5G.

I. IEEE P1900.1 : Ομάδα εργασίας για την ορολογία και τις έννοιες των ραδιοσυστημάτων επόμενης γενιάς και της διαχείρισης του ραδιοφάσματος. Το πρότυπο αυτό κάλυψε την ανάγκη της εξήγησης βασικών όρων σε συναφείς τεχνολογίες σε όλους τους τομείς του ραδιοφάσματος. Δεν ασχολήθηκε μόνο με την δημιουργία βασικών ορισμών αλλά περιέγραψε και την διασύνδεση τους τις νέες δυνατότητες που γεννιούνται καθώς και τους μηχανισμούς εκείνους που τις υποστηρίζουν.

II. IEEE P1900.2 : Ομάδα εργασίας για την παρεμβολή στη διαχείριση του φασματος.. Σκοπός της ομάδας είναι να διερευνήσει τις νέες έννοιες και τεχνολογίες που αναπτύσσονται στο χώρο της διαχείρισης του φάσματος, τις πολιτικές που ορίζουν την ασύρματη επικοινωνία, την προσαρμοστικότητα και το λογισμικό. Οι μελέτες κατευθύνονται στην βελτίωση της απόδοσης στην χρήση των συχνοτήτων καθώς και στην αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των διάφορων υπηρεσιών που τις χρησιμοποιούν. Είναι απαραίτητες οι τεχνικές οδηγίες για την ανάλυση πιθανής συνύπαρξης και παρεμβολών μεταξύ ραδιοσυστημάτων που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων ή μεταξύ διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων.

III. P1903-2011 Πρότυπο για τη λειτουργική αρχιτεκτονική του δικτύου επικάλυπτών υπηρεσιών επόμενης γενιάς (Next Generation Service Overlay Networks -NGSON). Αυτό το πρότυπο περιγράφει ένα πλαίσιο υπηρεσιών βασισμένο στο πρωτόκολλο (IP) και καθορίζει τον τύπο των δεδομένων, το είδος της υπηρεσίας, τον τύπο των τερματικών και τα δυναμικά προσαρμοσμένα δίκτυα που είναι ανεξάρτητα από τα υποκείμενα δίκτυα. Η λειτουργική αρχιτεκτονική αποτελείται από ένα σύνολο λειτουργικών οντοτήτων, τις λειτουργίες τους, τα σημεία αναφοράς και τις ροές πληροφοριών για την απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των υπηρεσιών.

IV. IEEE P1903.2 <sup>TM</sup>: Αυτό το πρότυπο καθορίζει τα πρωτόκολλα τα οποία θα υποστηρίξουν τις δυνατότητες διασύνδεσης μεταξύ των διάφορων οντοτήτων στα επικαλυπτόμενα δίκτυα νέα γενιάς. Το πρότυπο αυτό επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, στους παρόχους υπηρεσιών / περιεχομένου και στους τελικούς χρήστες να παρέχουν και να καταναλώνουν σύνθετες υπηρεσίες βασιζόμενες στην προηγμένη ικανότητα σύνθεσης υπηρεσιών του NGSON. Το πρότυπο αυτό παρέχει επίσης τη διαλειτουργικότητα των σύνθετων υπηρεσιών μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων και των παρόχων υπηρεσιών. Η σύνθεση των υπηρεσιών είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που ορίζονται στο NGSON για την υποστήριξη σύνθετων υπηρεσιών.

V. IEEE P1901.3 : Αυτό το πρότυπο καθορίζει πρωτόκολλα μεταξύ της λειτουργικής διαχείρισης όλων των κόμβων NGSON. Αυτή η δυνατότητα περιλαμβάνει την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ενός κόμβου NGSON και την προσθήκη, διαγραφή, μετακίνηση και αντιγραφή μιας οντότητας λειτουργίας NGSON από ή σε έναν κόμβο NGSON. Η βελτίωση της απόδοσης της δρομολόγησης των υπηρεσιών μέσω της αυτοδιοργάνωσης της δομής επικάλυψης καθορίζεται από αυτό το πρότυπο. Το πρότυπο αυτό επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων NGSON να μειώσουν το λειτουργικό κόστος (OPEX) των δικτύων NGSON με βάση τις δυνατότητες

διαχείρισης του NGSON, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης διάθεσης των κόμβων NGSON και των λειτουργικών οντοτήτων.

VI. IEEE P1912: Πρότυπο για την αρχιτεκτονική προστασίας προσωπικών δεδομένων και ασφάλειας για ασύρματες συσκευές καταναλωτών: Στο πλαίσιο της ραγδαίας αύξησης χρήσης προσωπικών συσκευών ασύρματης διασύνδεσης το πρότυπο αυτό περιγράφει μια κοινή αρχιτεκτονική. Η υιοθέτηση φορητών συσκευών από τους καταναλωτές και οι αναγκαιότητα της χρήσης τους έφεραν προοπτικές για καινοτομία. Ιδιαίτερα η προστασία των προσωπικών δεδομένων του χρήστη είναι επιτακτική ανάγκη σε κάθε ψηφιακή συσκευή. Το πρότυπο λοιπόν ασχολείται με την υιοθέτηση μια κοινής αρχιτεκτονικής σε θέματα ασφαλείας σε οικιακά δίκτυα αλλά και σε εμπορικούς χώρους. Επιτυγχάνει το καλύτερο έλεγχο από τους καταναλωτές πάνω στις συσκευές τους, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα την καινοτομία και την ευρεία υιοθέτηση συσκευών και τεχνολογιών επικοινωνίας των καταναλωτών.

VII. IEEE P1914.1™: Αυτό το πρότυπο καθορίζει:

1) Την αρχιτεκτονική για τη μεταφορά της κίνησης δεδομένων χρήστη, διαχείρισης και του πλάνου ελέγχου.

2) Τις απαιτήσεις και τους ορισμούς για τα δίκτυα νέας γενιάς συμπεριλαμβανομένων των ρυθμών δεδομένων, χρονισμού και συγχρονισμού, καθώς και της ποιότητας των υπηρεσιών.

Στον δρόμο προς τα μελλοντικά δίκτυα 5G, είναι σαφές ότι είναι απαραίτητο ένα αποτελεσματικό δίκτυο μεταφορών και οι παραδοσιακές λύσεις δεν είναι κατάλληλες για την εξέλιξη του 5G. Αυτό το έργο είναι απαραίτητο για τη διευκόλυνση της υλοποίησης των βασικών τεχνολογιών 5G, ιδιαίτερα του δικτύου πρόσβασης τεχνολογίας νέφους (Cloud-RAN) και της μαζικής πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου (MIMO).

VIII. IEEE P1915.1™: Πρότυπο για δικτύωση που καθορίζεται από το λογισμικό για τις εικονικές λειτουργίες ασφάλειας δικτύου: Αυτό το πρότυπο

καθορίζει το πλαίσιο ασφαλείας, τα μοντέλα, τα αναλυτικά στοιχεία και τις απαιτήσεις σε εικονικά δίκτυα καθορισμένα από το λογισμικό. Στα δίκτυα της επόμενης γενιάς είναι ανάγκη να καθοριστούν τα μοντέλα ,η ορολογία και τα βασικά συστατικά του SDN / NFV για να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και η διαθεσιμότητα του δικτύου.

IX. IEEE P1916.1 <sup>TM</sup>: Πρότυπο για δικτύωση SDN και για την απόδοση του NFV: Αυτό το πρότυπο καθορίζει το πλαίσιο επιδόσεων που περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά, τις μετρήσεις, τις απαιτήσεις, τα μοντέλα και τις περιπτώσεις χρήσης για τη δικτύωση που καθορίζεται από το λογισμικό και τη λειτουργία SDN / NFV. Το πρότυπο αυτό παρέχει ένα πλαίσιο για την κατασκευή και τη λειτουργία υποδομής παροχής υπηρεσιών SDN / NFV που ικανοποιεί τις επιδόσεις τις προσδοκίες των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων, των παρόχων υπηρεσιών και των τελικών χρηστών. Εξετάζει επίσης τα μοντέλα απόδοσης, την ορολογία και τα αναλυτικά στοιχεία για να επιτρέψει βελτιστοποιημένες λειτουργίες του συστήματος και παροχή υπηρεσιών σε υποδομές SDN / NFV.

X. IEEE P1917.1 <sup>TM</sup>: Αυτό το πρότυπο παρέχει ένα πλαίσιο για την κατασκευή και λειτουργία υποδομής παροχής υπηρεσιών SDN / NFV που ικανοποιεί τις προσδοκίες αξιοπιστίας των διαχειριστών δικτύων, των παρόχων υπηρεσιών / περιεχομένου και των τελικών χρηστών. Εξετάζει τα μοντέλα αξιοπιστίας, την ορολογία και τα αναλυτικά στοιχεία που επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του συστήματος και την παροχή υπηρεσιών σε υποδομές SDN / NFV.

XI. IEEE P1920.1 <sup>TM</sup>: Στα δίκτυα νέας γενιάς υπάρχει η αναγκαιότητα να καθοριστούν τα πρότυπα για την επικοινωνία εναέριων μέσων διαφόρων τύπων και μεγέθους. Η ανάπτυξη μη επανδρωμένων αεροσκαφών και η ενσωμάτωση τους στον εθνικό εναέριο δίκτυο καθιστά επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης προτύπου που θα ελέγχει την κατάσταση του δικτύου που αφορά τη θέση και την πορεία επανδρωμένων και μη αεροσκαφών.



XII. IEEE P1921.1™: Τα δίκτυα νέας γενιάς έχουν χαρακτηριστικά τμηματοποίησης των επιμέρους δικτύων για την επίτευξη των προδιαγραφών λειτουργίας τους. Οι διάφορες επιμέρους υπηρεσίες δικτύωσης απαιτείται στα πλαίσια της διαλειτουργικότητας να έχουν μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ελέγχου των επιμέρους διαχειριζόμενων πόρων. Αυτές οι αρχιτεκτονικές πρέπει να είναι σε θέση να παίρνουν αποφάσεις, όπως η κατανομή πόρων, επιβολής πολιτικής, ως συνάρτηση της υπηρεσίας που πρέπει να παραδοθεί, των κατευθυντήριων γραμμών του φορέα εκμετάλλευσης, των διαθέσιμων πόρων, των υποκείμενων λειτουργικών δυνατοτήτων και όλων των άλλων παραμέτρων που περιλαμβάνουν οδηγίες που προέρχονται από το δίκτυο. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμο να αποκτά με μικρή καθυστέρηση όλες εκείνες τις πληροφορίες των επιμέρους δικτύων σχετικά με την λειτουργία τους. Ένας ελεγκτής εκκίνησης SDN πρέπει να αποκτά δυναμικά τις πληροφορίες που σχετίζονται με το δίκτυο, την τοπολογία, τις λειτουργικές δυνατότητές του, τις εισροές από άλλους ελεγκτές (εάν υπάρχουν) και τις λειτουργίες υπηρεσιών που υποστηρίζουν, καθώς και την κατάσταση των λειτουργιών αυτών κατά την εκκίνηση.

XIII. IEEE P1930.1™: Το πρότυπο αυτό καθορίζει το λογισμικό για τη διαχείριση ασύρματων δικτύων και συγκεκριμένα τη διαχείριση και τον έλεγχο σημείων πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα τοπικής εμβέλειας (WLAN) βασισμένων στο IEEE 802.11 και για ασύρματα δίκτυα περιφερειακής εμβέλειας βασισμένα στο IEEE 802.22. Η ανάπτυξη συσκευών βασισμένες στο IEEE802.11 και IEEE802.22 και η προσδοκία της αυξανόμενης αύξησης τους κάνει απαραίτητο ένα τέτοιο πρότυπο. Ένα ανοιχτό πρότυπο τύπου SDN που αναπτύξει λογισμικό ανοικτού κώδικα που θα ελέγχει και θα διαχειρίζεται τα σημεία πρόσβασης για συσκευές WLAN και σταθμούς βάσης WRAN. Μια τέτοια εργασία αναμένεται να φέρει πλεονεκτήματα τόσο στην ανάπτυξη διαλειτουργικών συσκευών από διάφορους παρόχους υπηρεσιών, στην διαχείριση των αερομεταφορών αλλά και γενικότερα στην ανάπτυξη τέτοιων δικτύων.

XIV. IEEE P1931.1™: Αυτό το πρότυπο ορίζει ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο, τα πρωτόκολλα και τις διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) για την παροχή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο. Οι υπολογισμοί και η δικτύωση για τα δεδομένα και τις συσκευές περιλαμβάνουν τη συνδεσιμότητα για τις συσκευές, τη δημιουργία πλαισίου σε πραγματικό χρόνο και την ενεργοποίηση αποφάσεων με σκοπό την αποδοτική συνδεσιμότητα, την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα. Το πρότυπο αυτό καλύπτει τη διαλειτουργικότητα, τη συνεργασία και την αυτόνομη λειτουργία ενός συστήματος Internet of Things (IoT) με υπολογιστές που απαιτούνται για τη δημιουργία περιβάλλοντος, την ασφάλεια, τον έλεγχο πρόσβασης, την αποθήκευση δεδομένων, τη συγκέντρωση δεδομένων και την ικανότητα επιλογής διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών cloud και εφαρμογών. Το πρότυπο αυτό παίζει μεγαλύτερο ρόλο στην ανάπτυξη προϊόντων και λύσεων IoT που μπορούν να ενσωματωθούν οριζόντια, πράγμα που θα έχει ως αποτέλεσμα καλύτερα και πιο ευέλικτα δίκτυα IoT.

XV. IEEE P2413™: Αυτό το πρότυπο ορίζει ένα πλαίσιο αρχιτεκτονικής για το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), περιλαμβάνοντας περιγραφές διαφόρων τομέων IoT, ορισμούς περιοχών IoT και προσδιορισμό κοινών στοιχείων μεταξύ διαφορετικών τομέων IoT. Το πρότυπο αυτό παρέχει ένα μοντέλο για την ανάκτηση των δεδομένων και την ποιότητα της ασφάλειας. Μελετά τον τρόπο τεκμηρίωσης μιας αρχιτεκτονικής που θα έχει την ικανότητα της βασικής δομής ενός δικτύου αλλά και να ενσωματώνει τα δομικά της στοιχεία σε άλλα πολυεπίπεδα συστήματα που θα συγκροτήσουν ένα δίκτυο IoT [71].

#### 4.6– Internet Engineering Task Force-IETF



Η αποστολή της IETF είναι να παράγει υψηλής ποιότητας τεχνικά έγγραφα που επηρεάζουν τον τρόπο που οι άνθρωποι σχεδιάζουν, χρησιμοποιούν και χειρίζονται το διαδίκτυο [72]. Η εργασία του IETF δεν είναι συγκεκριμένη για το 5G. Ωστόσο, στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας, ειδικά η 3GPP υιοθέτησε μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων της IETF στην αρχιτεκτονική κυψελοειδούς συστήματος του. Η IETF και το 3GPP διατηρούν στενή σχέση σύνδεσης για την παρακολούθηση τεχνικών θεμάτων [73].

Η πέμπτη γενεά της αρχιτεκτονικής του συστήματος 3GPP ξεκινώντας από το έκδοση 14 προτείνει ένα κοινό σύστημα ενιαίου πρωτοκόλλου διαδικτύου (all over Internet Protocol-All IP). Η πρόοδος ενθαρρύνεται από την ευρεία υιοθέτηση τεχνολογιών κέντρου δεδομένων, την εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου, τον διαχωρισμό των συστημάτων πλάνων ελέγχου και δεδομένων και τη μετακίνηση όλων των εφαρμογών πολυμέσων σε κοινές τεχνολογίες μέσω διαδικτύου για την αρχιτεκτονική κυψελοειδούς συστήματος, που είναι ήδη μέρος της αρχιτεκτονικής του 5G.

Παρακάτω επισημαίνονται μερικές ομάδες εργασίας και τομείς που σχετίζονται με την IETF και σχετίζονται με την ανάπτυξη του 5G:

1) Επίπεδο Δρομολόγησης (Routing area): Αναπτύσσει πρωτόκολλα δρομολόγησης, τεχνολογίες για δίκτυα μεταφορών και πολλές τεχνολογίες σχετικές με κέντρα δεδομένων και τεχνολογίες βασισμένες στα εικονικά δίκτυα. Ο χαρακτήρας της δικτύωσης και του τεμαχισμού υπηρεσιών βασισμένος σε χαρακτηριστικά υψηλών απαιτήσεων δίνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών που απαιτούν URLLC (ultra-reliable low-latency communication), όπως τα αυτοκίνητα αυτόνομης οδήγησης, την επαυξημένη πραγματικότητα και τη αυτοματοποίηση των βιομηχανιών και των οχημάτων.

2) Διαδίκτυο: Οι εργασίες στον τομέα του πρωτοκόλλου του διαδικτύου συνδέονται ουσιαστικά και με την προτυποποίηση του 5G. Η σημασία του IPv6 (π.χ. 6MAN WG) είναι αναμφισβήτητη λόγω του "απεριόριστου" του χώρου

διεύθυνσης και της καταλληλότητας του για πολλαπλή πρόσβαση / πολλαπλή επίσκεψη που επιτρέπει έναν πρακτικά άπειρο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών για τελικούς χρήστες. Οι τελικοί χρήστες είναι εξοικειωμένοι με την απρόσκοπτη περιαγωγή και πλέον σε διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης χωρίς διακοπή της συνδεσιμότητας. Η IETF εργάστηκε επί μακρόν σε διανεμημένες, μη κεντρικές αρχιτεκτονικές κινητικότητας με ξεχωριστά επίπεδα ελέγχου και χρήστη, η οποία μοιράζεται ομοιότητες με την επικείμενη αρχιτεκτονική συστήματος 3GPP 5G.

3) Εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο: Κυρίως λόγω της σημασίας των εφαρμογών φωνής και των πολυμέσων / επικοινωνιών μέσω διαδικτύου υπήρξε πολύ σημαντική στην αρχιτεκτονική των δικτύων. Η εργασία αναμένεται να συνεχιστεί και να προωθηθεί περαιτέρω από το έργο IoT που έχουν χαρακτηριστεί ως μία από τις βασικές υπηρεσίες 5G.

4) Επίπεδο Μεταφοράς: Στο επίπεδο μεταφοράς δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην συμπεριφορά του πρωτοκόλλου ανάμεσα στα ενσύρματα και τα ασύρματα δίκτυα. Υπάρχει το τμήμα αναμονής, οι λύσεις πολλαπλής πρόσβασης και νέα πρωτόκολλα μεταφοράς που αφορούν και το 5G. Οι εργασίες για το νέο πρωτόκολλο μεταφοράς έχουν σαν στόχο να παρέχεται καλύτερη εμπειρία στον τελικό χρήστη κατά την πρόσβαση σε υπηρεσίες μέσω διαδικτύου (π.χ. ταχύτερη φόρτωση περιεχομένου). Σημαντικό είναι επίσης να ελέγχεται και η δραστηριότητας της διαδρομής των δεδομένων ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα σημεία συμφόρησης σε ένα δίκτυο μεταφοράς ή σε μια σύνθετη υπηρεσία σε ένα κέντρο δεδομένων.

5) Επίπεδο Ασφάλειας: Οι λύσεις ασφάλειας είναι εξαιρετικά σημαντικές. Από την άποψη των τελικών χρηστών, η αντιμετώπιση των ανησυχιών περί προστασίας της ιδιωτικής ζωής είναι ένας από τους τομείς επικαιρότητας που είναι κρίσιμοι για όλες τις εργασίες ασφάλειας του IETF [73].

Η IETF ίδρυσε τον Οκτώβριο του 2015 την ομάδα εργασίας Ντετερμινιστική δικτύωση (Deterministic Networking-Detnet). Η ομάδα επικεντρώνεται στο επίπεδο 2 και 3 του μοντέλου OSI έχοντας στόχο την μείωση της καθυστέρησης, την

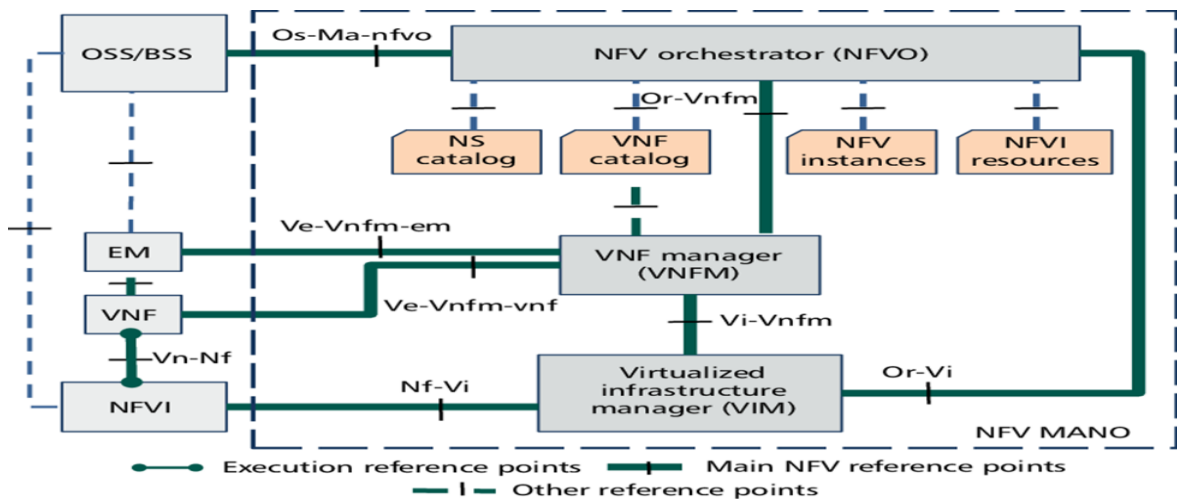
απώλεια πακέτων, την υψηλή αξιοπιστία, εξαιτίας της ανάγκης υποστήριξης υπηρεσιών που είναι ευαίσθητες στο χρόνο και υλοποιούνται σε δίκτυο βασισμένο σε πρωτόκολλο διαδικτύου. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για την καθυστέρηση και την απώλεια πακέτων στο δίκτυο μεταφοράς στο 5G δίκτυο καθίστανται επίσης αυστηρότερες σε σύγκριση με τα σημερινά δίκτυα. Το Detnet εφαρμόζει την παροχή διαδρομής πολλαπλών σημείων μεταξύ κόμβων (evolved NodeBs-eNBs) με συγκεκριμένη καθυστέρηση. Η συντονισμένη μετάδοση / λήψη πολλών σημείων (coordinated multipoint transmission/reception-CoMP) που προσδιορίζεται ως τεχνολογία 5G μπορεί να επωφεληθεί από τον συντονισμένο προγραμματισμό διαφορετικών κυψελών μόνο εάν η καθυστέρηση σηματοδότησης των κόμβων είναι εντός 1-10ms [74].

#### 4.7– Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI-European Telecommunications Standards Institute)



Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο προτυποποίησης τηλεπικοινωνιών (ETSI) παρέχει στα μέλη ένα ανοιχτό και χωρίς αποκλεισμούς περιβάλλον για να υποστηρίξει την έγκαιρη ανάπτυξη, επικύρωση και δοκιμή παγκοσμίως εφαρμόσιμων προτύπων για συστήματα, εφαρμογές και υπηρεσίες με τεχνολογία ΤΠΕ σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας και της κοινωνίας.

Η ομάδα εργασίας για την οικονομικοποίηση του δικτύου (ETSI Industry Specification Group-NFV) δραστηριοποιείται από το 2012. Στο χρονικό διάστημα 2013-2014, διεξήγαγε εκτεταμένη μελέτη προτυποποίησης και δημοσίευσε τις προδιαγραφές έκδοσης 1 σχετικά με την αρχιτεκτονική πλαισίου NFV, τις περιπτώσεις χρήσης και την ορολογία. Το 2016 δημοσίευσε τις προδιαγραφές και εκθέσεις της έκδοσης 2, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργικών απαιτήσεων, του μοντέλου διασύνδεσης και πληροφοριών των σημείων αναφοράς για το μπλοκ λειτουργίας διαχείρισης. Επιπλέον, καθορίστηκαν οι προδιαγραφές του σταδίου 3 για τα σημεία αναφοράς που ανήκουν στο ETSI ISG NFV και θα συμπεριληφθούν.



Εικόνα 22 – Αρχιτεκτονική NFV [75]

στην έκδοση 2. Στην εικόνα (22) [75] περιγράφεται σχηματικά η αρχιτεκτονική του πλαισίου NFV

Η εικονοποίηση των επιμέρους λειτουργιών του δικτύου σχετίζεται με μεγάλο αριθμό περιπτώσεων χρήσης που θα υλοποιήσουν το 5G. Πολλοί είναι οι ενδιαφερόμενοι φορείς, οργανισμοί και εταιρείες που ασχολούνται με το NFV την ανάπτυξη οικοσυστήματος πολλών διαφορετικών τεχνολογιών.

Το ETSI ίδρυσε μια ομάδα προδιαγραφών για τη βιομηχανία MEC [14] το 2014 (ETSI Industry Specification Group-MEC). Μέχρι τον Φεβρουάριο του 2016, η ομάδα έχει ολοκληρώσει τρεις προδιαγραφές του σταδίου 2 που αφορά την ορολογία, τις τεχνικές απαιτήσεις και την αρχιτεκτονική πλαισίου και αναφοράς. Το περιβάλλον MEC χαρακτηρίζεται από:

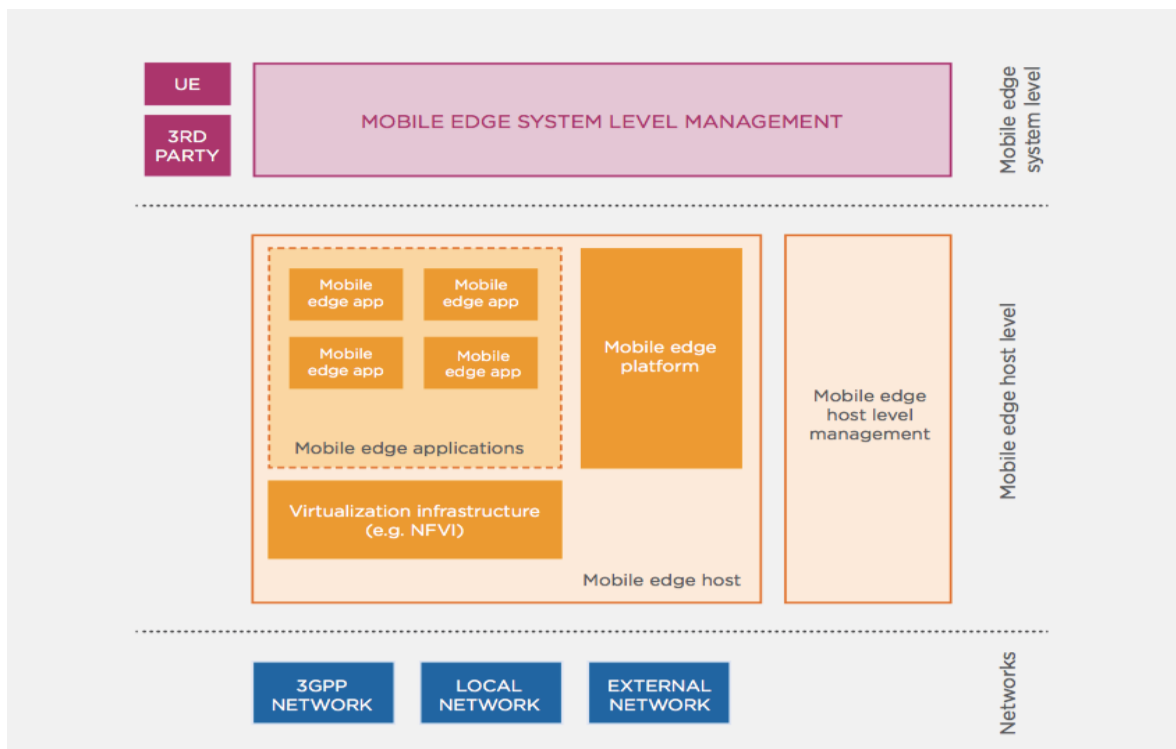
1. Χαμηλή καθυστέρηση: Οι υπηρεσίες Mobile Edge μπορούν να λειτουργούν κοντά στις συσκευές τελικού χρήστη για να παρέχουν τη χαμηλότερη δυνατή καθυστέρηση
2. Εγγύτητα: Κοντά στην πηγή πληροφοριών, το Mobile Edge Computing είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη λήψη βασικών πληροφοριών την ανάλυση και τα μεγάλα δεδομένα.

3. Υψηλό εύρος ζώνης: Η θέση του Mobile Edge που είναι στην άκρη του δικτύου σε συνδυασμό με τη χρήση πληροφοριών από το κυψελοειδές δίκτυο σε πραγματικό χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης για τις εφαρμογές.

4. Ευαισθητοποίηση σχετικά με την τοποθεσία: Το Mobile Edge μπορεί να αξιοποιήσει τις πληροφορίες σηματοδότησης χαμηλού επιπέδου για να καθορίσει τη θέση κάθε συνδεδεμένης συσκευής

5. Ενσωμάτωση σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών και περιεχομένου: Τα δεδομένα δικτύου σε πραγματικό χρόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες για να προσφέρουν υπηρεσίες που σχετίζονται με το περιεχόμενο.

Στην εικόνα (23) έχουμε ένα παράδειγμα αρχιτεκτονικής MEC.



Εικόνα 23 – Αρχιτεκτονική MEC [76]

Όπως βλέπουμε το σύστημα μετάδοσης από άκρο σε άκρο (mobile edge system) αποτελείται από άκρο υποδοχής (mobile edge host) και την διαχείριση στα άκρα του δικτύου που είναι απαραίτητη για την εκτέλεση εφαρμογών σε ένα δίκτυο χρήστη ή σε ένα υποσύνολο ενός δικτύου χειριστών.

Το Σύστημα μετάδοσης (mobile edge host) περιλαμβάνει τα εξής:

- Υποδομή εικονικοποίησης που παρέχει πόρους υπολογιστών, αποθήκευσης και δικτύου για το σκοπό της χρήσης της πλατφόρμας και των εφαρμογών που τρέχουν στο mobile edge.

- Μια πλατφόρμα που είναι η συλλογή των απαραίτητων λειτουργιών που απαιτούνται για την εκτέλεση εφαρμογών σε μια συγκεκριμένη υποδομή εικονικοποίησης.

- Οι εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας που βάσει διαμόρφωσης ή αιτημάτων επικυρωμένων από το σύστημα διαχείρισης.

- Η διαχείριση επιπέδου κεντρικού φορέα περιλαμβάνει τον διαχειριστή της πλατφόρμας και τον διαχειριστή της υποδομής εικονικοποίησης [77][78][ 79][ 80].

#### 4.8– Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology-NIST)



Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) ιδρύθηκε το 1901 και είναι τώρα μέλος του Υπουργείου Εμπορίου των ΗΠΑ. Το NIST είναι ένα από τα παλαιότερα εργαστήρια φυσικής επιστήμης του έθνους. Το συνέδριο ίδρυσε τον οργανισμό για να απομακρύνει μια σημαντική πρόκληση για τη βιομηχανική ανταγωνιστικότητα των ΗΠΑ.

Από το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο και τα ηλεκτρονικά αρχεία υγείας έως τα ατομικά ρολόγια και τα τσιπ υπολογιστών, αναρίθμητα προϊόντα και υπηρεσίες βασίζονται κατά κάποιον τρόπο στην τεχνολογία, τις μετρήσεις και τα πρότυπα που παρέχει το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας.



Σήμερα, οι μετρήσεις NIST υποστηρίζουν τις μικρότερες τεχνολογίες για το μεγαλύτερο και πιο περίπλοκο δημιουργίες που παράγονται από ανθρώπους - από συσκευές ναοκλίμακας τόσο μικροσκοπικές ώστε δεκάδες χιλιάδες μπορούν να χωρέσουν στο τέλος μιας και μόνο ανθρώπινης τρίχας μέχρι σεισμούς και παγκόσμια δίκτυα επικοινωνίας [81].

Το πρόγραμμα "5G και Beyond" στο NIST έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στον κλάδο της ασύρματης επικοινωνίας νέα τεχνολογία, πρότυπα και όργανα. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα έργα.

- Τρανζίστορ mmWave
- Μετρήσεις τρανζίστορ MmWave και μοντέλα σχεδιασμού πρώτης διέλευσης
- Φίλτρα ακουστικού κύματος
- Χαρακτηρισμός σήματος mmWave



8-element TX Switched-array Antenna



16-element RX Switched-array Antenna

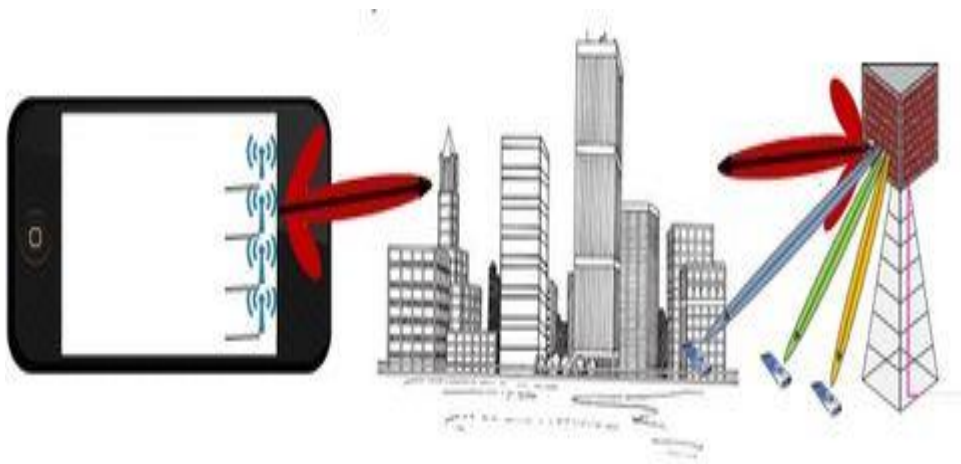
Εικόνα 24 – Σύστημα MIMO [82]

- Μέτρηση και μοντελοποίηση καναλιών
  - Εντοπισμός καναλιών
  - Μοντελοποίηση καναλιών
  - 28, 60, 83 GHz

Αυτήν τη στιγμή λειτουργούν συστήματα 60 GHz και 83 GHz. Οι έρευνες μέχρι τώρα επικεντρώθηκαν στην επεξεργασία μοντέλων καναλιών σε διάφορα εσωτερικά περιβάλλοντα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κοινότητα είναι η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ζωνών συχνότητας mmWave. Το NIST είναι ένα από τα λίγα εργαστήρια στον κόσμο με συστήματα πολλαπλών ζωνών κατάλληλο ώστε οι μετρήσεις να έχουν ένα ακριβή και ουσιαστικό αποτέλεσμα.

Η μοναδικότητα των συστημάτων έγκειται στην ταχύτητά τους και στην κινητή πλατφόρμα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα μετρήσεων σε περιβάλλοντα με υψηλή κινητικότητα, όπως αυτό του 5G [82]. Μερικές από τις δοκιμές περιλαμβάνουν:

- Δοκιμή για μαζικό MIMO
  - Μέτρηση κεραίας.
  - Δοκιμή κεραίας MIMO.
  - Δοκιμή σήματος με ελεύθερο πεδίο.



Εικόνα 25 – Παράδειγμα MIMO [83]

- Κατανομή πόρων ραδιοσυχνοτήτων και διαμόρφωσης αλγορίθμων
  - Έξυπνα μονοπάτια δέσμης με βάση μοντέλα κεραίας και καναλιών.
  - Αλγοριθμική πλατφόρμα Beamforming.

Τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας 5G θα διαθέτουν συστοιχίες κεραιών με στενά μοτίβα δέσμης σε σταθμούς βάσης και χρήστη. Επειδή οι δέσμες θα είναι στενές, μπορούν να κατευθύνονται κατά μήκος των διαδρομών μετάδοσης μεταξύ σταθμών βάσης και χρηστών. Στην πραγματικότητα, οι συστοιχίες θα είναι ικανές να παράγουν πολλαπλές δέσμες έτσι ώστε κάθε δέσμη να μπορεί να μεταφέρει ένα σύνολο πληροφοριών, ενισχύοντας το ρυθμό δεδομένων. Ο αριθμός των διαδρομών θα εξαρτηθεί από το περιβάλλον ή το κανάλι διάδοσης. Παραπάνω δίνεται μια τέτοια διάταξη. Για παράδειγμα, αν υπάρχουν πολλά κτίρια στο περιβάλλον, θα υπάρχουν πολλά μονοπάτια λόγω του μεταδιδόμενου σήματος που αντανακλά τα κτίρια στον δέκτη. Για να ενεργοποιηθεί η μετάδοση, οι δέσμες πρέπει να ευθυγραμμιστούν με τις διαδρομές, απαιτώντας ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με το κανάλι διάδοσης. Αυτό θα δημιουργήσει νέες προκλήσεις, ειδικά στο κινητό περιβάλλον όπου πρέπει να ελέγχονται συνεχώς οι ροές πληροφοριών από τις δέσμες [83].

Ανταποκρινόμενη στην ανάγκη αυτή, το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) των Η.Π.Α. έχει σχηματίσει μια Συμμαχία 5G (mmWave Channel Model Alliance) από εταιρείες, ακαδημαϊκούς και κυβερνητικούς οργανισμούς για να υποστηρίξει την ανάπτυξη πιο ακριβών, συνεπών και προγνωστικών μοντέλων καναλιών.

Η Συμμαχία 5G ασχολείται με την προώθηση της έρευνας για τη μέτρηση, ανάλυση, ταυτοποίηση φυσικών παραμέτρων και στατιστικές αναπαραστάσεις των διαύλων διάδοσης mmWave. Στόχος της συμμαχίας εκτός από τη θεωρητική προσέγγιση είναι και η ανάπτυξη σεναρίων χρήσης για εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα

Οί στόχοι που έχουν προταθεί είναι:

- Διευκόλυνση, βελτίωση και αντιμετώπιση προβλημάτων των αρχικών μοντέλων καναλιών που αναπτύχθηκαν από διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης.
- Εστίαση σε σενάρια χρήσης, παραμέτρους, συχνότητες και αρχιτεκτονική.
- Υποστήριξη για τα ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται σε διαφορετικά στάδια στον κύκλο ζωής ανάπτυξης προτύπων.
- Λειτουργία ως σύνδεσμος σε άλλες κοινοπραξίες και διεθνείς ομάδες.
- Συγκέντρωση νέων και βελτιωμένων μεθοδολογιών μέτρησης και μοντελοποίησης καναλιών και καλύτερων μεθόδων.

Η Οργανωτική δομή του 5G Millimeter-Wave Channel Alliance από έξι διαφορετικές ομάδες εργασίας:

I. Συμβουλευτική Επιτροπή: Η Διευθύνουσα Επιτροπή Συμμαχικών Μοντέλων Channel Model Channel 5G εστιάζει στον συντονισμό των δραστηριοτήτων της ομάδας εργασίας που επικοινωνούν με εξωτερικούς οργανισμούς, όπως είναι οι οργανισμοί τυποποίησης και άλλες κοινοπραξίες στο πλαίσιο του τηλεπικοινωνιακού τοπίου της επόμενης γενιάς

II. Μεθοδολογία Μέτρησης: Η Ομάδα Εργασίας Μεθοδολογίας Μετρήσεων θα εργαστεί σε όλες τις ομάδες εργασίας που βασίζονται σε σενάριο χρήσης, προκειμένου να συμβάλει στην τυποποίηση της μεθοδολογίας, της βαθμονόμησης και της επαλήθευσης για ολόκληρη τη 5G mmWave Channel Model Alliance.

III. Μεθοδολογία Μοντελοποίησης: Η Ομάδα Εργασίας Μεθοδολογίας Μοντελοποίησης θα εργαστεί σε όλες τις ομάδες εργασίας που βασίζονται σε σενάριο χρήσης για να συμβάλει στην τυποποίηση προσεγγίσεων και δυνατοτήτων μοντελοποίησης για ολόκληρη τη Συμμαχία μοντέλων καναλιών 5G mmWave.

IV. Σενάρια Εσωτερικής Χρήσης: Αυτή η ομάδα εργασίας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη περιπτώσεων χρήσης, πλαισίων (στατιστικών με βάση τη γεωμετρία) και παραμέτρων μικρής και μεγάλης κλίμακας για σενάρια εσωτερικής χρήσης. Η 5G mmWave Channel Model Alliance έχει θέσει ως προτεραιότητα τα ακόλουθα σενάρια εσωτερικής χρήσης για βραχυπρόθεσμα:

1. Επικοινωνίες σε πολύ μικρή απόσταση (Ultra Short Range-USR)
2. Ενισχυμένες συσκευές εικονικής πραγματικότητας
3. Συστήματα διανομής βίντεο / δεδομένων

V. Σενάρια για χρήση στην ύπαιθρο: Αυτή η ομάδα εργασίας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη περιπτώσεων χρήσης, πλαισίων (στατιστικών σε σχέση με τη γεωμετρία) και παραμέτρων μικρής και μεγάλης κλίμακας για σενάρια εξωτερικής χρήσης.

VI. Μελλοντικά σενάρια χρήσης: Αυτή η ομάδα εργασίας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη περιπτώσεων χρήσης, πλαισίων (στατιστικών και γεωμετρικών) και παραμέτρων μικρής και μεγάλης κλίμακας για σενάρια μακροπρόθεσμης χρήσης [84].

#### 4.9– 5G AMERICA

Η 5G AMERICA είναι ένας οργανισμός που ασχολήθηκε με την προτυποποίηση του 5G από τα αρχικά στάδια του ως ο υπεύθυνος οργανισμός 5G και LTE για την περιοχή της Αμερικής. Η 5G AMERICA έχει ασχοληθεί ενεργά με την ανάπτυξη τεχνικών κειμένων, κυβερνητικών κανονισμών και πολυεθνικών εταιρικών σχέσεων που σχετίζονται με τον καθορισμό και την προώθηση δραστηριοτήτων 5G. Τα παρακάτω είναι μερικά από αυτά τα τεχνικά εγχειρίδια και τις συνεργασίες:

- Τον Ιούνιο του 2014 δημοσιεύθηκε η Περίληψη των Πρωτοβουλιών Παγκόσμιας Πρωτοβουλίας 5G (4G Americas' Summary of Global 5G

Initiatives)” από την 4G America [85]. Τον Φεβρουάριο του 2016, η 5G America ξεκίνησε ένα έργο τεχνικής ομάδας εργασίας για την επικαιροποίηση του εγγράφου. Αυτή η ενημερωμένη λευκή βίβλος παρέχει μια γενική περίληψη των τοπικών πρωτοβουλιών 5G συμπεριλαμβανομένων των περιγραφών, της κατάστασης και της προόδου των διαφόρων προγραμμάτων.

- Τον Ιούνιο του 2015 δημοσιεύθηκε "Η εξέλιξη της κινητής ευρυζωνικότητας προς την κατεύθυνση 5G: έκδοση 12 και έκδοση 13 και μετέπειτα " που αφορά την εξέλιξη των συστημάτων 4G προς 5G, περιλαμβάνοντας περιγραφές νέων χαρακτηριστικών και βελτιώσεων που θα εισαχθούν και η χρήση του LTE ως θεμέλιο για την εξέλιξη του 5G [86].

- Τον Αύγουστο του 2015 δημοσιεύθηκε «Συστάσεις για το φάσμα 5G». Συζητά το πώς οι απαιτήσεις του φάσματος 5G καθοδηγούνται κυρίως από τον συνδυασμό των αναμενόμενων αυξήσεων των απαιτήσεων της χωρητικότητας και της υποστήριξης για νέες περιπτώσεις χρήσης που θα αναπτυχθούν στο οικοσύστημα του 5G [87].

- Τον Οκτώβριο του 2015, η 5G Αμερική δημοσίευσε το "5G Προδιαγραφές τεχνικής εξέλιξης". Το έγγραφο του 2015 δείχνει την άποψη του 5G από την Αμερική, συμπεριλαμβανομένης της αγοράς και των τεχνικών απαιτήσεων στην εξέλιξη στο 5G [88].

Εκτός από το μνημόνιο συνεργασίας με τις ITU, 3GPP, NGMN, ATIS και το Small Cell Forum, η 5G AMERICA έχει συνάψει ένα πολυμερές μνημόνιο συμφωνίας με πολλές από τις κορυφαίες εθνικές και περιφερειακές ενώσεις στον κόσμο για την ανάπτυξη της 5G μέσω της φιλοξενίας ενός διετούς Παγκοσμίου Γεγονότος 5G. Τα μέρη της συνεργασίας περιλαμβάνουν το Φόρουμ Προώθησης Κινητών Επικοινωνιών της 5ης Γενιάς (5GMF) (Ιαπωνία), το Φόρουμ 5G (Δημοκρατία της Κορέας), την Ομάδα Προώθησης IMT-2020 (5G) (μη κερδοσκοπικός οργανισμός, Κίνα) Εταιρική σχέση (5G ΣΔΙΤ) (Ευρώπη) [88].

#### 4.10– Chinese Evaluation Group IMT2020

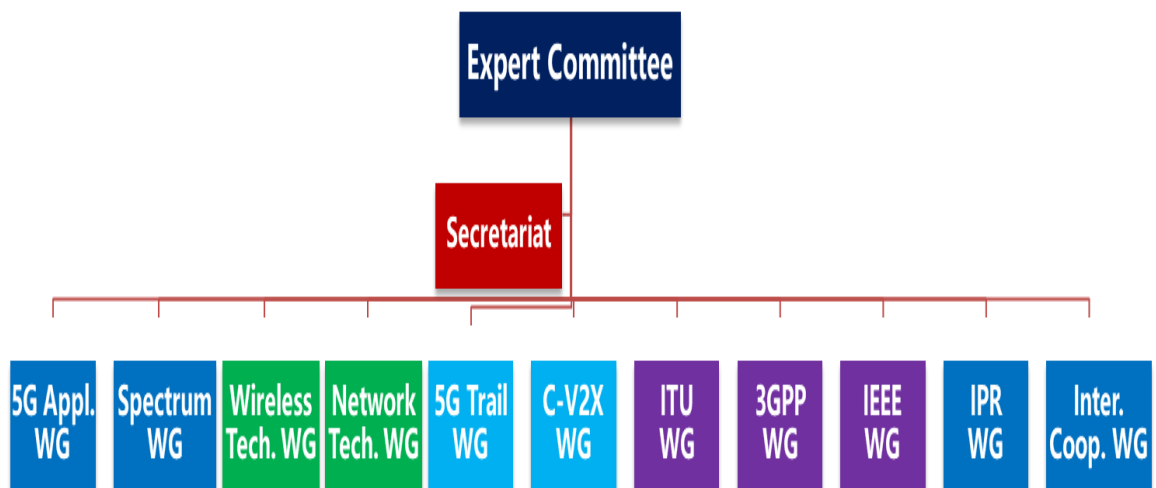


Η ομάδα προώθησης IMT-2020 (5G) ιδρύθηκε από κοινού από τρία υπουργεία στην Κίνα (το Υπουργείο Βιομηχανίας και Πληροφορικής, την Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρύθμισης και το Υπουργείο Επιστημών και Τεχνολογίας) τον Φεβρουάριο του 2013, με βάση την αρχική IMT- Προηγμένη ομάδα προώθησης. Τα μέλη της περιλαμβάνουν τους κορυφαίους φορείς εκμετάλλευσης, εταιρείες εξοπλισμού, πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα στον τομέα των κινητών επικοινωνιών.

Η δομή του IMT-2020 (5G) Promotion Group :

Αποτελείται από:

- Επιτροπή εμπειρογνομόνων: αποφασίζει σημαντικά ζητήματα σχετικά με την έρευνα και τη στρατηγική της Ομάδας Προώθησης IMT2020.
- 5G Ομάδα εργασίας εφαρμογών: απαιτήσεις μελέτης και λύσεις ενσωμάτωσης 5G και κάθετων βιομηχανιών, διεξαγωγή δοκιμών και επιδείξεων και προώθηση εφαρμογών 5G [89].



Εικόνα 26 – δομή του IMT-2020 (5G) PG [89]

- Ομάδα εργασία για το Φάσμα: εργασίες σε θέματα που σχετίζονται με το φάσμα συχνοτήτων [90].
- Ομάδα Εργασίας για την Ασύρματη τεχνολογία : μελέτη του 5G που επιτρέπει ασύρματες τεχνολογίες 5G [91].
- Ομάδα Εργασίας Τεχνολογία δικτύων: μελέτη αρχιτεκτονικής δικτύων 5G και βασικών τεχνολογιών.
- Ομάδα Εργασίας C-V2X: μελέτη βασικών τεχνολογιών V2X, δοκιμές περιπτώσεων χρήσης V2X.
- Ομάδα Εργασίας 5G δοκιμών: διεξαγωγή δοκιμής 5G στην Κίνα [92].
- Πρότυπα: Οι διεθνείς τυποποιημένες οργανώσεις, συμπεριλαμβανομένων των ITU, 3GPP, IEEE κ.λπ.
- Ομάδα Εργασίας για τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας (IPR WG): ασχολείται με θέματα δικαιωμάτων και σχετική πολιτική.
- Ομάδα Εργασίας για τη διεθνή συνεργασία: μελέτη αρχιτεκτονικής δικτύου 5G και βασικών τεχνολογιών.

Το IMT-2020 (5G) PG είναι ο επίσημος οργανισμός 5G που ξεκίνησε από κοινού από τρία υπουργεία στο Πεκίνο στην Κίνα, συμπεριλαμβανομένου του MIIT, του Υπουργείου Επιστήμης και Τεχνολογίας και της Επιτροπής Μεταρρυθμίσεων. Συντονίζει την προώθηση 5G από την άποψη της έρευνας, των προτύπων, των τεχνικών δοκιμών, της διάταξης του κλάδου, του σχεδιασμού του έργου, της διεθνούς συνεργασίας ως εθνικός οργανισμός τυποποίησης, ανακοίνωση της Κίνας.

Το IMT 2020 (5G) PG διοργανώνει συναντήσεις , οι οποίες παρουσιάζουν την πρόοδο του 5G, κάθε χρόνο. Το 2017 δημιουργήθηκε μια ομάδα εργασίας C-V2X και κατασκευάστηκαν πιλοτικές περιοχές για το LTE V2X. Το 2018, η αρχική ομάδα εργασίας έχει μετατραπεί σε ομάδα εργασίας εφαρμογών, με στόχο την προώθηση τυπικών εφαρμογών 5G στην κάθετη βιομηχανία. Επίσης, σύμφωνα με την πολιτική του «5» (5G σε 5 πόλεις με 50 σταθμούς βάσης και 500 χρήστες) από



την Επιτροπή Μεταρρυθμίσεων της Κίνας, οι φορείς εκμετάλλευσης στην Κίνα κατασκευάζουν δίκτυα κλίμακας 5G, προετοιμάζοντας την εμπορική διάθεση.

Η Κινεζική Ένωση Προτυποποίησης Επικοινωνιών (China Communication Standard Association-CCSA) ασχολείται με την προετοιμασία εγγράφων για τα πρότυπα 5G. Επιπλέον, άλλες πρωτοβουλίες όπως η Συμμαχία Βιομηχανικού Διαδικτύου (Alliance of Industrial Internet-AII) και η Διαδικτυακή Συμμαχία Οχημάτων (Internet of Vehicles Alliance-IOVA) δείχνουν μεγάλο ενδιαφέρον για την εξέλιξη της τεχνολογίας 5G [93].

#### 4.11– Συμμαχία για λύσεις στην Βιομηχανία των Τηλεπικοινωνιών (Alliance for Telecommunications Industry Solutions -ATIS)



Η ATIS αναλαμβάνει ηγετικό ρόλο για να εξασφαλίσει ότι η 5G θα είναι έτοιμη να προσφέρει τη μακρόχρονη σύγκλιση όλων των υπηρεσιών σε ένα κοινό πλαίσιο, με αντίστοιχες βελτιώσεις στην αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την ταχύτητα εξυπηρέτησης. Υποστηρίζοντας τις απαιτήσεις της Βόρειας Αμερικής 5G παγκοσμίως, η ATIS θα αποτελέσει τη βάση για την ηγετική σκέψη των μελών και για τον αναγνωρισμένο ρόλο της περιοχής ως εκκολαπτήριο νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Για να υλοποιήσει το βορειοαμερικανικό όραμα 5G, η ATIS έχει διεξάγει μια πολύ απαραίτητη βιομηχανική πρωτοβουλία για να καθορίσει μια συνεπή εξέλιξη του δικτύου από 4G / LTE σε 5G. Οι πάροχοι υπηρεσιών της Βόρειας Αμερικής έχουν επενδύσει πολύ και στρατηγικά σε 4G / LTE. Η ταχεία ανάπτυξη του LTE και των αριθμών συνδρομητών προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί τουλάχιστον για αρκετά ακόμη χρόνια. Ένας από τους στόχους της ATIS είναι να δώσει τη δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσιών να αξιοποιήσουν τις υπάρχουσες και προγραμματισμένες επενδύσεις LTE για να εξασφαλίσουν την επιτυχία της 5G.

Η ATIS εξετάζει πιθανές νέες αρχιτεκτονικές για τον εντοπισμό πρωτοποριακών ευκαιριών 5G. Χρησιμοποιώντας μια άλλη προσέγγιση η ATIS θα προτείνει πώς η 5G θα μπορούσε:

- Να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα καθώς και τη δημιουργία ρόλων για νέους τύπους παρόχων.
- Βελτιστοποιήσει την εμπειρία των χρηστών σε τρέχουσες και μελλοντικές συσκευές.

Η Επιτροπή Ασύρματων Τεχνολογιών και Συστημάτων (WTSC) της ATIS συνεργάζεται με την ITU-R στις προσπάθειες του IMT-2020. Η ATIS υποστηρίζει επίσης και συνεργάζεται με το 3GPP σε τεχνολογίες 2G, 3G, 4G και 5G. Η ATIS έχει πολλές ομάδες που ασχολούνται με θέματα 4G, τα οποία πιθανώς θα αξιοποιηθούν σε 5G, όπως το SDN / NFV, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η χωρητικότητα του καναλιού [94].

#### 4.12– GSMA



Το Παγκόσμιο Σύστημα για τις Κινητές Τεχνολογίες (Global System for Mobile Communications-GSMA) [95] αντιπροσωπεύει τα συμφέροντα των φορέων κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως, ενώνοντας σχεδόν 800 φορείς εκμετάλλευσης με σχεδόν 300 εταιρείες στο ευρύτερο κινητό οικοσύστημα, συμπεριλαμβανομένων κατασκευαστών συσκευών και συσκευών, εταιρειών λογισμικού, παρόχων εξοπλισμού και εταιρειών διαδικτύου, καθώς και οργανισμών σε παρακείμενους βιομηχανικούς τομείς .

Κατά τη διάρκεια του Mobile World Congress 2013, η GSMA ξεκίνησε μια προσπάθεια για να σκεφτεί το μέλλον της βιομηχανίας κινητών υπηρεσιών. Πρόσφατα συμερίζεται την έκβαση της ομάδας του "Όραμα 2020", η οποία προτείνει ένα πρόγραμμα συνεργασίας που βασίζεται σε τέσσερις πυλώνες και ένα σύνολο προτεραιοτήτων. Ένας από τους τέσσερις πυλώνες είναι το "Network 2020", το οποίο προτίθεται να "δημιουργήσει ένα δίκτυο για ασφαλείς, έξυπνες και απρόσκοπτες υπηρεσίες" και περιλαμβάνει τις βασικές απαιτήσεις για το δίκτυο 5G.

Η GSMA εξετάζει την εξέλιξη του δικτύου μέχρι το 2020, η οποία κατά πάσα πιθανότητα θα συμπέσει με την αρχική ανάπτυξη των 5G. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος «Δίκτυο 2020», το οποίο έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους φορείς εκμετάλλευσης να αντιμετωπίζουν και να πλοηγούν στην πολυπλοκότητα των εξελισσόμενων δικτύων σε μια λύση που βασίζεται σε όλους.

Στο πλαίσιο του προγράμματος GSMA Network 2020, η GSMA δημοσίευσε το 2016 ένα έγγραφο με τίτλο "Unlocking Commercial Opportunities - From 4G Evolution to 5G" [96]. Το έγγραφο υποδηλώνει ότι ορισμένες βασικές αναδυόμενες τεχνολογίες στον οδικό χάρτη εξέλιξης 4G, όπως το NFV, να διευκολύνουν την απελευθέρωση των εμπορικών ευκαιριών 5G νωρίτερα από ό, τι περιμένουν πολλοί παρατηρητές. Συνεπώς, υποστηρίζει τη συνεχιζόμενη εξέλιξη των συστημάτων 4G από τώρα έως την έναρξη των συστημάτων 5G για την αποτελεσματικότερη υποστήριξη των υφιστάμενων υπηρεσιών και την έναρξη της δημιουργίας μιας αγοράς για τις αναδυόμενες εφαρμογές.

#### 4.13– 5GPP



Η σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα 5G (5G PPP) αποτελεί κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ΤΠΕ (κατασκευαστές ΤΠΕ, τηλεπικοινωνιακοί φορείς, πάροχοι υπηρεσιών, ΜΜΕ και ερευνητικά ιδρύματα). Το 5G PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις επικοινωνιακές υποδομές επόμενης γενιάς της επόμενης δεκαετίας. Η πρόκληση για τη 5G PPP είναι να εξασφαλίσει την ηγετική θέση της Ευρώπης στους συγκεκριμένους τομείς στην Ευρώπη δυνατότητα δημιουργίας νέων αγορών, όπως οι έξυπνες πόλεις, η ηλεκτρονική υγεία, οι ευφυείς μεταφορές. Η πρωτοβουλία 5G PPP θα ενισχύσει την ευρωπαϊκή βιομηχανία ώστε να ανταγωνιστεί επιτυχώς στις παγκόσμιες αγορές και να ανοίξει νέες ευκαιρίες καινοτομίας [97].

Το πρόγραμμα 5G PPP έχει επηρεάσει την τρέχουσα εξέλιξη των προτύπων καταγράφοντας το όραμα του τι πρέπει να είναι το 5G (eMBB, MTC και URLLC) και διατυπώνοντας τους συνολικούς δείκτες επιδόσεων 5G [9]. Η πρόοδος μέχρι σήμερα έχει προταθεί σε σχετικούς οργανισμούς τυποποίησης, 3GPP, ETSI και ITU. Οι συνεισφορές των αποτελεσμάτων περιλαμβάνουν:

- Στην 3GPP-RAN προδιαγραφές του φυσικού στρώματος της διεπαφής ραδιοεπικοινωνιών για την αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα της ραδιοεπικοινωνίας, τον έλεγχο και τη διαχείριση των πόρων και τις υπηρεσίες που παρέχονται στα ανώτερα στρώματα του ραδιο δικτύου.
- Στην 3GPP-SA προδιαγραφές υπηρεσιών και χαρακτηριστικών, τον ορισμό και την εξέλιξη της συνολικής αρχιτεκτονικής και την αντιμετώπιση της ασφάλειας και της ιδιωτικής ζωής από σχεδίαση.
- Στη συμβολή του ETSI στην MEC (Mobile Edge Computing) [98].

Στο πλαίσιο της 5G-PPP υπάρχουν διάφορες ομάδες εργασίας που ασχολούνται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας του 5G.

1. Η 5GPP δημιούργησε την ομάδα εργασίας προτυποποίησης (Pre-Standardization WG). Η ομάδα συμμετέχει και συντονίζει τη συνεργασία με π.χ. ETSI, 3GPP, IEEE, ITU-R και άλλους αρμόδιους φορείς τυποποίησης. Να αναπτυχθεί ένας οδικός χάρτης σχετικών θεμάτων τυποποίησης και κανονιστικών ρυθμίσεων για το 5G. Η ομάδα ασχολείται επίσης με την αξιολόγηση υφιστάμενων οδικών χαρτών σε διεθνές επίπεδο. Συμμετέχει στην προτυποποίηση 5G σε διεθνές επίπεδο.

2. Ομάδα εργασίας για το φάσμα (Spectrum WG): Ασχολείται με προώθηση των αποτελεσμάτων της έρευνας του ραδιοφάσματος που προέκυψαν από τα έργα 5G PPP / H2020. Ελέγχει για την συνεργασία μεταξύ ομάδων που μελετούν το πεδίο σχετικά με το φάσμα καθώς και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Έχει σκοπό τη δημιουργία βάσης γνώσεων από ευρωπαϊκά και άλλα παγκόσμια αποτελέσματα σχεδίων σχετικά με την πρόοδο στην έρευνα του ραδιοφάσματος,

3. Ομάδα εργασίας αρχιτεκτονικής (5G Architecture WG): Ο σκοπός της ομάδας εργασίας είναι να χρησιμεύσει ως κοινή πλατφόρμα για τη διευκόλυνση της συζήτησης μεταξύ των ομάδων της 5GPPP που αναπτύσσουν αρχιτεκτονικές για το 5G.

4. Ομάδα εργασίας SDN / NDF : Σκοπός αυτής της ομάδας εργασίας είναι να αναλύσει και να αντιμετωπίσει την ενοποίηση και την εφαρμογή των βασικών ερευνητικών θεμάτων που σχετίζονται με το SDN, συμπεριλαμβανομένων των έννοιων, των υποδομών, των συστημάτων και των εξαρτημάτων που έχουν καθοριστεί από το λογισμικό για τα ασύρματα και τα ενσύρματα δίκτυα.

5. Διαχείριση δικτύου και ποιότητα υπηρεσιών (Network Management & QoS WG) Ασχολείται με τη διαχείριση δικτύου, την ποιότητα της υπηρεσίας και τη ασφάλεια.

1. Η Διαχείριση Δικτύου στοχεύει ώστε οι λειτουργίες του δικτύου να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται ότι οι απαιτούμενες υπηρεσίες παρέχονται σωστά στους χρήστες, ότι επιβάλλεται η προσδοκώμενη ποιότητα υπηρεσιών για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών στον τελικό χρήστη και ότι διατηρείται η ασφάλεια.

2. Η Ασφάλεια Δικτύου καλύπτει τους τομείς της συνολικής ανθεκτικότητας του δικτύου, στην απάτη και τη δεισδυσία ή στις προσπάθειες υπονόμευσης των λειτουργιών ή της ακεραιότητας του δικτύου. Η ασφάλεια στο επίπεδο ελέγχου του δικτύου θα είναι ο κυρίως στόχος της ομάδας.

3. Η ποιότητα της υπηρεσίας καλύπτει τομείς όπως η δικτύωση, ο προγραμματισμός πακέτων, η προσαρμογή της κυκλοφορίας και οποιαδήποτε άλλη τεχνική που εφαρμόζεται τόσο σε επίπεδο δεδομένων όσο και σε επίπεδο ελέγχου, ώστε να εξασφαλίζεται η εφαρμογή μιας αναμενόμενης ποιότητας υπηρεσίας για την παροχή υπηρεσιών στον τελικό χρήστη (εύρος ζώνης, κινητικότητα και διαθεσιμότητα)

6. Όραμα και κοινωνικές προκλήσεις WG (Vision and Societal Challenges WG): Σκοπός της ομάδας είναι η ανάπτυξη του 5G στην Ευρώπη, οι προκλήσεις και οι τομείς που θα επωφεληθούν. Η εργασία της ομάδας έχει ως στόχο να συλλέξει και να ενσωματώσει στην έρευνα τα οφέλη της ανάπτυξης του 5G σε όλους τους τομείς της κοινωνίας. Επίσης σημαντική θα είναι επίσης και η προσπάθεια ελέγχου τυχόν κοινών εργασιών αλλά και διαφορών στην τεχνική εξέλιξη του 5G. Τέλος η ομάδα θα πρέπει να ετοιμάσει και τις σχετικά έγγραφα για τις ομάδες που ασχολούνται με την προτυποποίηση ώστε να ετοιμαστούν και οι προτάσεις που θα υποβληθούν ώστε να υλοποιηθεί ο στόχος του H2020.

7. Ομάδα εργασίας για την Ασφάλεια: Η ομάδα αυτή ξεκίνησε το 2016 σχηματίζοντας την εργασία της πρώτης φάσης για την ασφάλεια στο 5G. Στο τέλος του 2017 μεταφέρθηκε στην ευθύνη στο 5G IA. Σκοπός της ομάδας η προώθηση των ερευνών στην τομέα της ασφάλειας στο 5G [99].

#### 4.14– Συμμαχίας Νέων Γενεών Κινητών Δικτύων (Next Generation Mobile Networks-NGMN)



Το όραμα της Συμμαχίας Νέων Γενεών Κινητών Δικτύων (NGMN) είναι να επεκτείνει την επικοινωνιακή εμπειρία παρέχοντας μια πραγματικά ολοκληρωμένη και διαχειριζόμενη πλατφόρμα που κάνει προσιτές τις ευρυζωνικές υπηρεσίες στον τελικό χρήστη, με ιδιαίτερη έμφαση στα LTE και LTE-Advanced. Το NGMN διαδραμάτισε κεντρικό ρόλο στον καθορισμό των απαιτήσεων του φορέα εκμετάλλευσης που συνέβαλαν σημαντικά στη συνολική επιτυχία του LTE. Το LTE έχει καταστεί μια πραγματική παγκόσμια και επικρατούσα κινητή τεχνολογία και θα συνεχίσει να υποστηρίζει τις ανάγκες των πελατών και της αγοράς.

Το NGMN θεωρεί την τυποποίηση της τεχνολογίας απαραίτητη για την παγκόσμια επιτυχία του μελλοντικού 5G. Η τυποποίηση εξασφαλίζει τη

διαλειτουργικότητα και επιπλέον, ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα μειώνοντας τελικά το κόστος της τεχνολογίας. Λαμβάνοντας υπόψη το φάσμα των διασυνδέσεων, των στοιχείων του δικτύου και των κληροδοτημένων συστημάτων, πολλοί οργανισμοί τυποποίησης (με πολλούς συνεισφέροντες) αναμένεται να συμμετάσχουν στην εργασία τυποποίησης 5G. Υπάρχει ο κίνδυνος αντικρουόμενα πρότυπα, περιπτώσεις επιλογές και καθυστερήσεις στην ανάπτυξη λόγω της ποικιλίας των συμφερόντων από τα ενδιαφερόμενα μέρη. Πρέπει να διασφαλιστεί ότι:

- Αποφεύγεται η παράλληλη εργασία σε παρόμοιους τομείς (με δυνητικά αντικρουόμενα πρότυπα).
- Οι εναρμονισμένες λύσεις των διαφόρων οργανισμών.
- Οι επιλογές μειώνονται στο απόλυτο ελάχιστο όριο.

Τα SDOs πρέπει να αναπτύξουν πρότυπα με απώτερο στόχο να υποστηρίξουν την έγκαιρη παράδοση ανταγωνιστικών προϊόντων, τα οποία θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των φορέων εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών και των πελατών τους .

Το NGMN ενθαρρύνει τη βιομηχανία να συμβάλει αποφασιστικά στην εργασία τυποποίησης 5G για την εξασφάλιση της έγκαιρη και επιτυχημένη ανάπτυξη λύσεων 5G [18].

#### **4.15– Τεχνική Συμβουλευτική Ομάδα της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (Federal Communications Commission Technical Advise Council-FCC TAC ACTIVITIES)**



Το Τεχνολογικό Συμβουλευτικό Συμβούλιο της FCC (TAC) [100] δημιούργησε μια ομάδα εργασίας για τις μελλοντικές τεχνολογίες ώστε να προσδιορίσει τις τεχνικές προκλήσεις στην ανάπτυξη 5G, να αναπτύξει τρόπους για την ταχεία ανάπτυξη στις ΗΠΑ και να εξετάσει πιθανά νέα επιχειρηματικά μοντέλα . Το 2016, η ομάδα εργασίας ξεκίνησε τη μελέτη δυναμικών, εικονικοποιημένων

δικτύων. Τέλος, η ομάδα εργασίας θα συνεχίσει τις προσπάθειές της για τον εντοπισμό βασικών νέων και αναδυόμενων τεχνολογιών.

Το TAC ασχολείται κυρίως με τις παρακάτω περιοχές γνώσης του 5G:

- Φασματική απόδοση και κάλυψη (έξυπνες κεραιές,).
- Αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση.
- MmWave σε συχνότητες άνω των 24GHz.
- Υποδομές νέφους και εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (NFV).

Επιπλέον, η ομάδα εργασίας του TAC για την Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity) έχει κληθεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που έχει αποκτήσει η Cyber WG σχετικά με την ασφάλεια του διαδικτύου. Αυτές οι πληροφορίες θα του επιτρέψουν να συστήσει στην FCC τη στρατηγική, τις διαδικασίες και τα βήματα που απαιτούνται για την ενσωμάτωση της έννοιας της "ασφάλειας από το σχεδιασμό" στον ίδιο τον ιστό της 5G, τις προδιαγραφές σχεδίασης και, συνεπώς, το σύνθετο οικοσύστημα πολλών προϊόντων της 5G [101].

## 4.16– Ακαδημαϊκή κοινότητα

### 4.16.1 – Πανεπιστήμιο του Surrey

Το Πανεπιστήμιο του Surrey αποτελεί ένα σημαντικό κέντρο έρευνας 5G στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το πανεπιστημιακό Κέντρο Καινοτομίας 5G άνοιξε το Σεπτέμβριο του 2015 και φιλοξενεί περισσότερους από 170 ερευνητές. Έχει επίσης προσελκύσει πάνω από 90 εκατομμύρια δολάρια σε επενδυτικά κεφάλαια.

Το Κέντρο Έρευνας 5G αναφέρει ότι έχει ήδη αναπτύξει μια τεχνολογία που θα επιτρέψει ταχύτητες 1 Tb / s, οι οποίες είναι πάνω από 1.000 φορές πιο γρήγορα από τα σημερινά δίκτυα LTE. Έχει επίσης καταθέσει περισσότερες από 15 ευρεσιτεχνίες.

Ορισμένα από τα έργα στα οποία ασχολείται, περιλαμβάνουν ένα πρωτόκολλο μετάδοσης βίντεο σε 5G, το οποίο θα παράγει βίντεο 4K και μια νέα ή τεχνολογία





Εικόνα 27 – Κέντρο Έρευνας 5GIC Surrey (5G) PG [102]

που ονομάζεται Sparse Coding Multiple Access (SCMA), η οποία θα μπορεί να αυξήσει την χωρητικότητα του καναλιού μετάδοσης. Στο κέντρο έρευνας είναι επικεφαλής ο Καθηγητής Rahim Tafazolli και τα ιδρυτικά του μέλη περιλαμβάνουν τηλεπικοινωνιακούς φορείς υψηλού προφίλ όπως Vodafone, Huawei, Telefonica και EE [102].

#### 4.16.2 Πανεπιστήμιο του Τέξας

Το Πανεπιστήμιο του Τέξας στο Όστιν ανέπτυξε την έρευνα για το 5G όταν με επικεφαλής τον Καθηγητή Gustavo de Veciana απονεμήθηκαν στο Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών \$ 978,000 το 2013.

Έγιναν μελέτες που αφορούν την διαχείριση των δεδομένων σε πολλά σημεία πρόσβασης. Αποτελεί επίσης το σπίτι της ομάδας ασύρματων δικτύων και επικοινωνιών, ενός διεπιστημονικού κέντρου έρευνας και εκπαίδευσης.

Η ομάδα εξετάζει το mmWave και το ρόλο που θα διαδραματίσει στις επικοινωνίες 5G. Διερευνά επίσης περιοχές όπως η υβριδική μετάδοση δέσμης ακτινών καθώς και η εκτίμηση του διαύλου διάδοσης [103].

#### 4.16.3 – Πανεπιστήμιο της Νέα Υόρκης (NYU)

Το «NYU Wireless» βρίσκεται στο Brooklyn του Πανεπιστημίου της Νέας Υόρκης και είναι ένα πρόγραμμα βιομηχανικής εταιρικής σχέσης που συγκεντρώνει σπουδαστές αλλά και τη βιομηχανία με στόχο την έρευνα. Μερικές από τις εταιρείες που συνεργάζονται με τη NYU Wireless είναι οι AT & T, CableLabs, Intel, Ericsson, Huawei, Nokia, Qualcomm.

Μερικά από τα έργα του «NYU Wireless» περιλαμβάνουν μοντέλα καναλιών mmWave, προσομοίωση μοντέλου καναλιού 5G και αρχιτεκτονική κατανεμημένου πυρήνα.

Το ίδρυμα διοργανώνει την Διάσκεψη για τα ασύρματα δίκτυα (Brooklyn Wireless Summit) του Μπρούκλιν, μια εκδήλωση που γίνεται κάθε άνοιξη με τη Nokia. Η σύνοδος προσελκύει κορυφαίους ερευνητές από τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο και επικεντρώνεται στη γενική σχεδίαση, ρύθμιση και χρήση 5G συστημάτων [104].

#### 4.16.4– Ερευνητικό Κέντρο Ασύρματης Τεχνολογίας του Μπέρκλεϋ (UC Berkeley Wireless Research Center-Berkeley)

Το ερευνητικό κέντρο Μπέρκλεϋ φιλοξενεί έρευνα σε τεχνολογίες ραδιοσυχνότητας (RF) και mmWave και άλλα ολοκληρωμένα ασύρματα συστήματα και εφαρμογές. Λόγω των συνεργασιών της με πολλούς ηγέτες της βιομηχανίας, παραμένει στην πρώτη γραμμή της έρευνας 5G. Επικεντρώνεται στην αναζήτηση τρόπων βελτιστοποίησης της ασύρματης τεχνολογίας για τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και χρησιμοποιεί έρευνα αιχμής για την αξιολόγηση διαφορετικών τύπων καινοτομιών.

Ένας άλλος τομέας επίσης κρίσιμος για το 5G είναι το «Swarm Lab, το οποίο είναι επίσης μέρος του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϋ. Η αποστολή του εργαστηρίου περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών, λογισμικού και υλικού και την εκπαίδευση της επόμενης γενιάς μηχανικών.

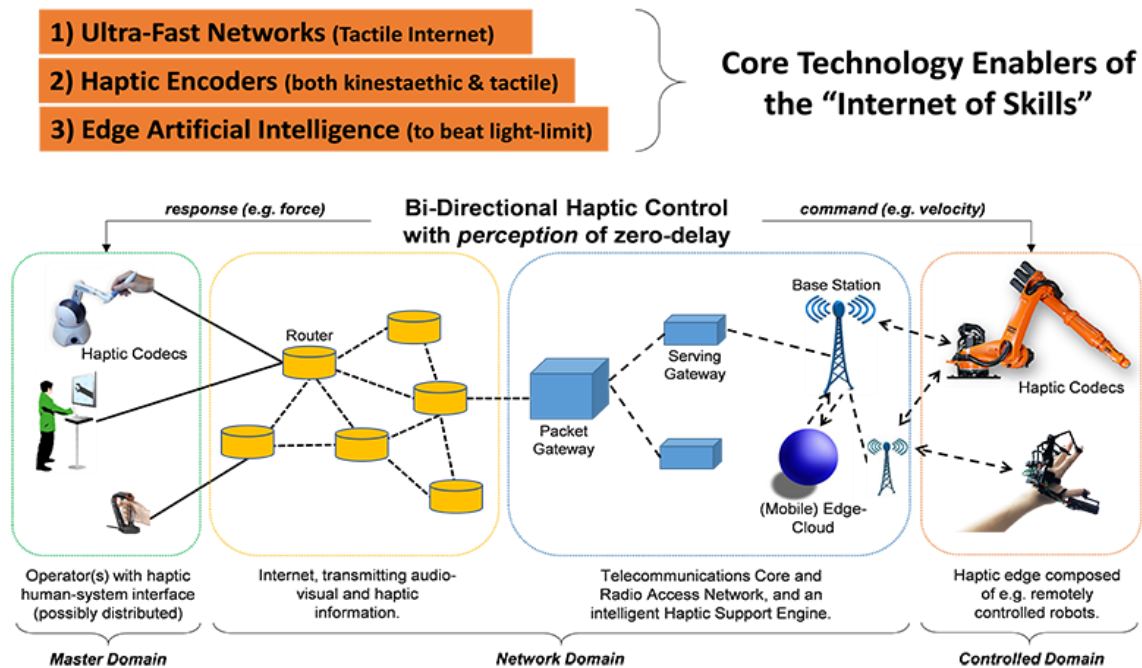
Το Swarm Lab ασχολείται επίσης με την ολοκλήρωση και την οικοδόμηση γεφυρών μεταξύ διαφορετικών πεδίων. Κορυφαίοι εταιρικοί χορηγοί και κυβερνητικοί οργανισμοί χρηματοδότησης βοηθούν ώστε το εργαστήριο να έχει καθοριστική σημασία για την πραγματοποίηση πραγματικά σημαντικών και καινοτόμων προόδων [105].

#### 4.16.5 – Τεχνικό πανεπιστήμιο της Δρέσδης (TU DRESDEN)

Από το Σεπτέμβριο του 2014, το 5G Lab Germany συγκεντρώνει 20 καθηγητές από το Τεχνικό πανεπιστήμιο της Δρέσδης με περισσότερους από 500 επιστήμονες. Το εργαστήριο περιλαμβάνει τέσσερα χωριστά κομμάτια που επιτρέπουν στα μέλη να επικεντρωθούν σε τομείς ενδιαφέροντος όπως ασύρματα δίκτυα, τις απτικές εφαρμογές διαδικτύου και εφαρμογές συστημάτων τεχνολογίας νέφους.

Ο καθηγητής Τζέραλντ Φέτβαις (Gerhard Fettweis) που βρίσκεται εκεί εισήγαγε τον όρο το Απτικό Διαδίκτυο "tactile Internet". Αυτός και η ομάδα του είχαν αρχίσει να σκέφτονται να χρησιμοποιούν την αφή για τον έλεγχο των ρομποτικών συστημάτων εξ αποστάσεως και σε πραγματικό χρόνο ήδη από το 2012. Το εργαστήριο έχει δημιουργήσει πάνω από 10 νεοσύστατες επιχειρήσεις στον χώρο των τηλεπικοινωνιών και κάνει σημαντικές θεωρητικές συνεισφορές στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών.

Η Ericsson και το King's College του Λονδίνου συνεργάζονται στην έρευνα 5G που αντιμετωπίζει τόσο τις τεχνικές επιπτώσεις όσο και τις κοινωνικές προκλήσεις προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης ενός απτικού διαδικτύου μαζί με την TU Dresden. Βασίζεται επίσης σε άλλα κορυφαία ευρωπαϊκά ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστημιακές συνεργασίες στο 5G, όπως το Βασιλικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Chalmers και το Πανεπιστήμιο Lund στη Σουηδία [106].



Εικόνα 28 – Απτικό Διαδίκτυο (Tactile Internet) [106]

#### 4.16.6 – Tokyo Institute of Technology

Το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Τόκιο συνεργάζεται με την ιαπωνική εταιρεία NTT DoCoMo σε δικτύωση 5G με στόχο να υπολογίσει πώς να επιτύχει ταχύτητες δικτύου 10 Gb / s ή υψηλότερες.

Σε ένα κοινό υπαίθριο πείραμα που διεξήχθη πρόσφατα, οι δύο πέτυχαν να επιτύχουν ταχύτητες άνω ζεύξης περίπου 10 Gb / s χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης 400 MHz στο φάσμα των 11 GHz. Η δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε MIMO, πολλαπλών ρευμάτων δεδομένων χρησιμοποιώντας οκτώ κεραίες μετάδοσης και 16 κεραίες λήψης στην ίδια συχνότητα. Αυτές οι δοκιμές επωφελούνται από τεχνολογίες όπως το mmWave, η διαμόρφωση δέσμης και η παρακολούθηση δέσμης.

#### 4.16.7 – Κέντρου Τηλεπικοινωνιακών Ερευνών (CTR) King's College

Η αποστολή του Κέντρου Τηλεπικοινωνιακών Ερευνών (CTR) είναι να είναι παγκόσμιος ηγέτης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της επεξεργασίας

δεδομένων και πληροφοριών. Βρίσκεται στο προσκήνιο της έρευνας και της καινοτομίας σε δίκτυα 5G, ενσύρματων και συγκλιόντων δικτύων, για το πλήρες διαδίκτυο της επόμενης γενιάς, την τεχνητή νοημοσύνη, την επεξεργασία σήματος, τις προηγμένες τεχνολογίες RF και ήχου, καθώς και τις οικονομικές και πολιτικές επιπτώσεις αυτών των τεχνολογιών [106].

Το πανεπιστήμιο έχει ουσιαστική συμβολή στο πρότυπο 3GPP 5G. Συγκεκριμένα, η συμβολή του κέντρου με τη μελέτη R15 3GPP SA2 σχετικά με τον κίνδυνο πρόσβασης, τη μεταγωγή και τη διάσπαση έγινε αποδεκτή ως τεχνικό έγγραφο TR 23.793 [107]. Η βασική αρχή είναι να εξασφαλιστεί η ασφαλής διαχείριση της κυκλοφορίας μεταξύ τεχνολογιών 3GPP και να ευθυγραμμιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο με την αρχιτεκτονική και τις διεπαφές της έκδοσης 15.

Πάνω από την καινοτομία και την εφαρμογή προηγήθηκε η μακρόχρονη έρευνα των 5G. Το προσωπικό του Κέντρου έχει κάνει πρωτοποριακές συνεισφορές στο περιβάλλον έρευνας και καινοτομίας 5G.

#### **4.17– Επίλογος κεφαλαίου**

Η παγκόσμια βιομηχανία πρέπει να αξιοποιήσει και να επενδύσει στη συμμετοχή ενός ευρέος φάσματος οργανισμών ανάπτυξης προτύπων και έργων για τη δημιουργία των προτύπων που θα χρειαστούν για την ανάπτυξη των σύνθετων υποδομών επικοινωνιών, διοίκησης και ελέγχου για την υποστήριξη του οράματος 5G. Είναι γεγονός ότι η επένδυση στο εργατικό δυναμικό και το πνευματικό κεφάλαιο είναι σημαντική, αλλά είναι αυτή που έχει αποδείξει ότι προσφέρει εξαιρετική απόδοση βασισμένη στην τεράστια ιστορική επιτυχία των προτύπων. Παραπάνω παρουσιάστηκαν οι διαδικασίες προτυποποίησης παγκοσμίως από οργανισμούς, φορείς, οργανώσεις και ιδρύματα με σκοπό την υλοποίηση του στόχου που είναι η προτυποποίηση να ολοκληρωθεί το 2020.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5– Δοκιμές

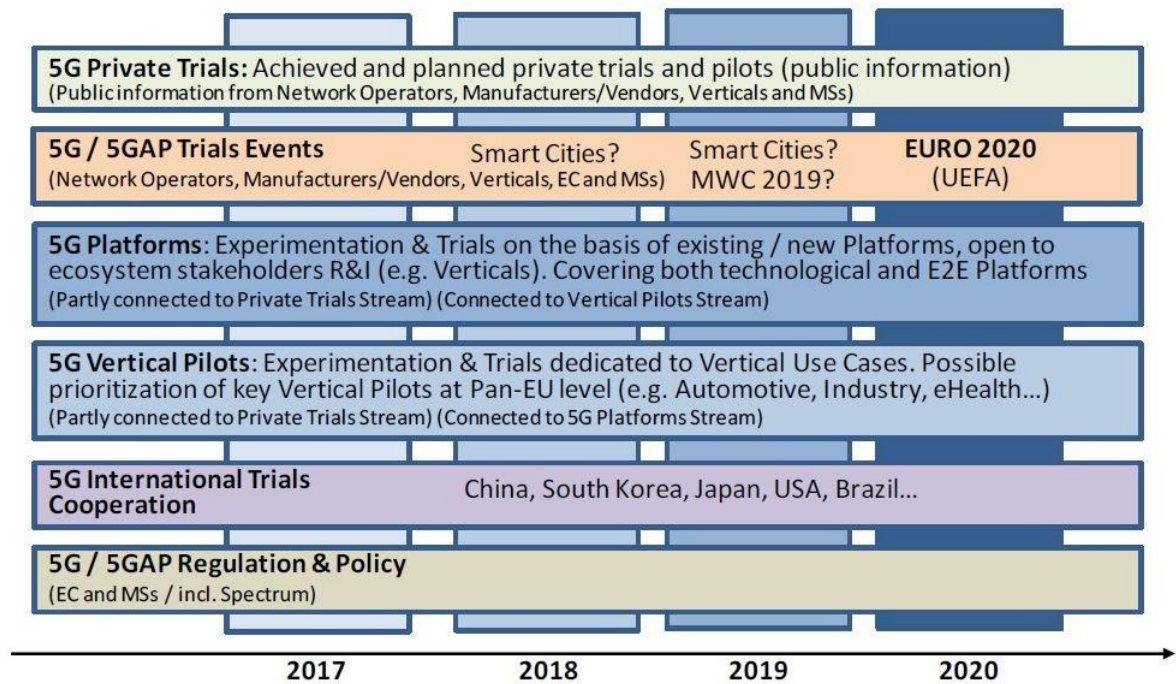
### 5.1 – Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διαδικασίες που ακολουθούν οι διάφοροι φορείς και εταιρείες ώστε να αναπτύξουν τις πρώτες εφαρμογές και δοκιμές με βάση τις δυνατότητες που θα φέρει η ανάπτυξη του 5G. Οι δοκιμές που πραγματοποιούνται τώρα δείχνουν τι θα συμβεί ή θα μπορούσε να γίνει μέρος του προτύπου 5G. Η εμπορική ανάπτυξη αναμένεται να ολοκληρωθεί και να υπάρξουν τα νέα προϊόντα διαθέσιμα στην αγορά πιθανώς από το 2020 όταν θα έχει ολοκληρωθεί και η προτυποποίηση. Μέχρι τότε, θα υπάρξουν αρκετές δοκιμές και πρώιμες υλοποιήσεις με σκοπό να αποδείξουν τι είναι ικανό και μπορεί να προσφέρει το 5G.

### 5.2 – Δοκιμές στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη το 5G αποτελεί σημείο πολύ μεγάλου ενδιαφέροντος. Υπάρχει συνεργασία του τομέα έρευνας με προμηθευτές εξοπλισμού ώστε με τη προτυποποίηση να αναπτυχθούν τα πρώτα προϊόντα για την αγορά. Το ενδιαφέρον που υπάρχει για δοκιμές στον τομέα του 5G φανερώνει και την αξία του στην τεχνολογική ανάπτυξη του μέλλοντος.

Οι δοκιμές θα γίνουν από διάφορους φορείς, οργανισμούς, ιδιωτικές πρωτοβουλίες, διαχειριστές δικτύου, προμηθευτές εξοπλισμού, την βιομηχανία, και ιδρύματα, ώστε αργότερα να αναλάβουν ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη εμπορικών προϊόντων. Υπάρχουν ακόμα και δοκιμές που περιλαμβάνουν διεθνή συνεργασία. Μια επισκόπηση εκδόθηκε από την Ένωση Υποδομών 5G (5G Infrastructure Association 5G IA) [109] παρέχεται στην εικόνα (28). Ο οδικός χάρτης δοκιμών έχει εκπονηθεί από την ομάδα εργασίας των Ευρωπαϊκών Δοκιμών (European Trials working group WG) που συντονίζεται από την 5G IA [110].



Εικόνα 29 – Οδικός Χάρτης Δοκιμών 5G PG [110]

Οι κύριοι στόχοι του χάρτη πορείας είναι:

1. Υποστήριξη της τεχνολογίας 5G, ανάπτυξη δικτύων 5G και κερδοφόρα επιχείρηση 5G.
2. Ο έλεγχος για τα οφέλη του 5G σε κάθετους τομείς, δημόσιο τομέα, επιχειρήσεις και καταναλωτές.
3. Η πορεία προς την επιτυχή και έγκαιρη ανάπτυξη 5G.
4. Η εμπορικές δοκιμές και επιδείξεις.

Το μεγαλύτερο μέρος της υλοποίησης αναμένεται να καλυφθεί από τη βιομηχανία σε ιδιωτική βάση, με μέρος αυτής της υλοποίησης να υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω της Φάσης 3 της Δημόσιας Εταιρικής Σχέσης 5G για τη Υποδομή, του Επενδυτικού Ταμείου 5G και των κρατών μελών μέσω συγκεκριμένων εθνικών προγραμμάτων.

### 5.2.1 – Δημιουργία της ετοιμότητας της Ευρώπης στο 5G μέσω ιδιωτικών δοκιμών-Βιομηχανίας

Στην Ευρώπη ο ιδιωτικός τομέας έχει αναλάβει ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη εφαρμογών και δοκιμών 5G. Διάφοροι πάροχοι δικτύων στην Ευρώπη έχουν ήδη ανακοινώσει τις πρώτες επιδείξεις και τα πειραματικά αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν και σχεδιάστηκαν για την επίδειξη ειδικών χαρακτηριστικών 5G. Οι δοκιμές στο 2016-2017 είχαν επικεντρωθεί κυρίως σε τεχνολογίες που αφορούσαν τη διαχείριση του φάσματος, νέες τεχνολογίες κεραιών, την αρχιτεκτονική του νέου δικτύου τις υπηρεσίες νέφους την εισαγωγή νέων τεχνολογιών για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης.

Αν και δεν έχει ολοκληρωθεί η προτυποποίηση είναι σημαντικό οι τεχνολογικές επιδείξεις και δοκιμές να εφαρμοστούν σε διάφορες χώρες, με γνώμονα την τοποθεσία των διαφόρων φορέων εκμετάλλευσης δικτύου. Αυτές οι δοκιμές θα γίνουν εν μέρει ανεξάρτητα από την κατάσταση της τυποποίησης, αν και οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων μπορούν να δώσουν προτεραιότητα σε χαρακτηριστικά που έχουν προχωρήσει ώστε να καλλιεργήσουν ένα οικοσύστημα γύρω από αυτές τις νέες δυνατότητες. Συνεπώς, οι δοκιμές και τα πειράματα που διεξάγονται σήμερα δημιουργούν συγκεκριμένη τεχνογνωσία για την ανάπτυξη των εφαρμογών του 5G, όταν τα πρότυπα θα έχουν ολοκληρωθεί.

Οι δοκιμές θα χρησιμεύσουν για την επικύρωση της τεχνολογίας καθώς και για τον εντοπισμό περαιτέρω χαρακτηριστικών για την εξυπηρέτηση των αναγκών συγκεκριμένων βιομηχανικών τομέων και ομάδων χρηστών. Ένας δευτερεύων και εξίσου σημαντικός στόχος είναι να αυξηθεί η κατανόηση των νέων δυνατοτήτων προσφοράς τεχνολογιών 5G σε κλάδους της βιομηχανίας που δεν έχουν άμεση ενασχόληση με την πληροφόρηση και την τεχνολογία επικοινωνίας (ΤΠΕ).

Είναι επίσης σημαντικό σε διεθνές επίπεδο, οι πολλαπλές δοκιμές δικτύων 5G που θα πραγματοποιηθούν έως το 2018 να συντονιστούν. Η Ευρώπη οφείλει να συνάψει διμερείς και πολυμερείς συμφωνίες με άλλες πρωτοβουλίες 5G στην Κίνα, την Ιαπωνία, την Κορέα, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Βραζιλία ώστε να επιτευχθεί ο συντονισμός και η διαλειτουργικότητα των νέων τεχνολογιών 5G.



### 5.2.2 – Το 5G στο UEFA EURO 2020

Η Ένωση Ευρωπαϊκών Ποδοσφαιρικών Ομοσπονδιών (UEFA) θα διεξάγει το EURO 2020 σε 13 διαφορετικές πόλεις της Ευρώπης (Γλασκώβη, Δουβλίνο, Κοπεγχάγη, Βουδαπέστη, Βουκουρέστι, Βρυξέλλες, Μπιλμπάο, Άμστερνταμ, Αγία Πετρούπολη, Ρώμη, Μόναχο, Μπακού και Λονδίνο). Αυτό κάνει το EURO 2020 μια εξαιρετική ευκαιρία για μια Πανευρωπαϊκή δοκιμή 5G. Το χρονοδιάγραμμα του EURO 2020 το καλοκαίρι του 2020, λίγο πριν από τους Ολυμπιακούς Αγώνες της Ιαπωνίας το 2020, ταιριάζει με το χρονοδιάγραμμα που έχει τεθεί σαν στόχος για την ολοκλήρωση της προτυποποίησης.

Το EURO 2020 θα αποτελέσει την εκκίνηση του 5G στην Ευρώπη με μια σειρά 5G υπηρεσιών που θα δοκιμαστούν γύρω από το ποδόσφαιρο. Προτείνονται τρεις διαφορετικοί τύποι δοκιμαστικών υπηρεσιών:

- Στα γήπεδα, στην περίμετρο των γηπέδων και στις ζώνες των οπαδών, οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας βασισμένες στο 5G που σχετίζονται με το EURO 2020 ή το ποδόσφαιρο γενικά, μπορούν να παρέχουν τρόπους ψυχαγωγίας στους οπαδούς πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τα παιχνίδια, συμπεριλαμβανομένων των εμπειριών σχετικών με τη διοργάνωση.
- Το EURO 2020 θα είναι η ευκαιρία να επιδείξει υπηρεσίες που σχετίζονται με την αυτοματοποιημένη μεταφορά γύρω από τα γήπεδα και τις σχετικές οδούς μεταφοράς. Τα σενάρια περιλαμβάνουν τη μεταφορά από τα αεροδρόμια καθώς και αυτοματοποιημένα οχήματα για τη μεταφορά υπαλλήλων, προσωπικού και υποστηρικτών.
- Οι αρχές δημόσιας ασφάλειας που είναι παρόντες για την ασφάλεια γύρω από τα γήπεδα θα μπορούσαν να επωφεληθούν από προηγμένες υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας. Για παράδειγμα, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτική σήμανση ατόμων με βάση την αναγνώριση προσώπου βελτιώνοντας την ποιότητα της ασφάλεια της διοργάνωσης.

### UEFA EURO 2020\* – The Winning Europe

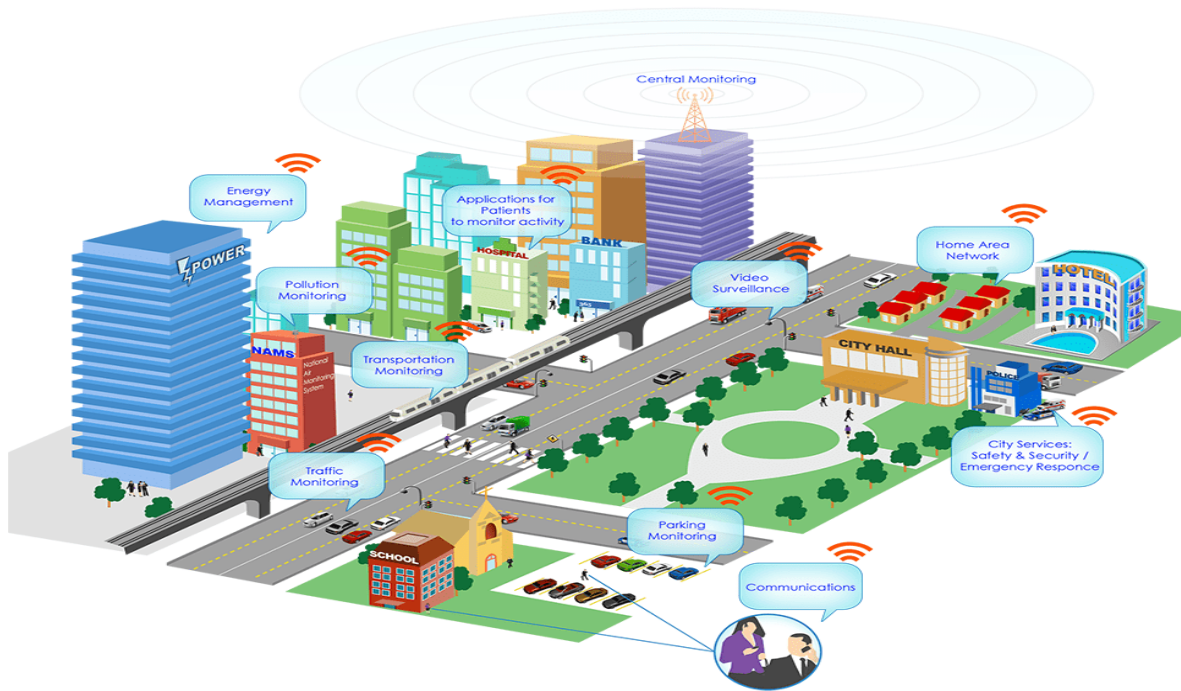
- Flag-ship event
- Launch commercial 5G in selected UEFA sites in European cities
- Showcase first 5G IoT applications



Εικόνα 30 – Δοκιμές στο EURO 2020 [111]

#### 5.2.3 – 5G Trials Cities

Το 5G θα είναι σαφώς μέρος των μελλοντικών πόλεων και η διεξαγωγή σχετικών δοκιμών είναι ένας τρόπος για να διασφαλιστεί η ανάπτυξη των καλύτερων δυνατών λύσεων. Τα χαρακτηριστικά του 5G όπως αναλύσαμε και παραπάνω περιλαμβάνουν υψηλές ταχύτητες, συνδεσιμότητα όλων των συσκευών. Η χαμηλή καθυστέρηση, οι συνδέσεις χαμηλής ισχύος είναι χαρακτηριστικά που θα αναπτύξουν εφαρμογές που θα επιταχύνουν την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων [112]. Ένας κατάλογος των έξυπνων πόλεων είναι: Άμστερνταμ, Μπάρι, Βερολίνο, Λονδίνο, Μαδρίτη, Μάλαγα, , Μιλάνο, Στοκχόλμη, Ταλίν και Τορίνο. Επιπλέον, εκτελούνται επίσης προγράμματα έρευνας και καινοτομίας 5G σε πολλά κράτη μέλη, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης συγκεκριμένων εργαστηρίων, πλατφορμών πειραματισμού και δοκιμών. Ορισμένες από τις 13 πόλεις στις οποίες θα διοργανωθεί το EURO 2020 ήδη εργάζονται για τις πιθανές επιδείξεις.



Εικόνα 31 – Εξυπνες Πόλεις [113]

#### 5.2.4 – 5G Δοκιμές ιδιωτικής πρωτοβουλίας

Η Deutsche Telekom ανακοίνωσε ότι οι "πρώτες 5G κεραιές στην Ευρώπη" ενεργοποιήθηκαν Σε μια δήλωση, η Deutsche Telekom δήλωσε ότι οι κεραιές, που βρίσκονται σε έξι κελιά σε όλη την πόλη του Βερολίνου, υποστηρίζουν "το νέο πρότυπο επικοινωνιών" και τώρα λειτουργούν σε πραγματικές συνθήκες στο δίκτυο. Οι κεραιές βασίζονται στις προδιαγραφές για το μη αυτόνομο 5G New Radio (που ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2017). Χάρη στην αναβάθμιση των κεραιών αυτών η εταιρεία ισχυρίζεται ότι έχει αποδείξει "την πρώτη σύνδεση δεδομένων 5G της Ευρώπης σε ένα ζωντανό δίκτυο". Η Huawei προμηθεύει όλο των εξοπλισμό (συμπεριλαμβανομένων των τερματικών). Οι κεραιές χρησιμοποιούν συχνότητες στη ζώνη φάσματος 3.7GHz σε δοκιμαστική άδεια και η προ-εμπορική αυτή εγκατάσταση επιτρέπει επίσης "αλληλεπίδραση" μεταξύ του εξοπλισμού 5G και του φάσματος 4G της εταιρείας [114].

Η Deutsche Telekom, η Intel και η Huawei πέτυχαν την πρώτη δοκιμή διαλειτουργικότητας και ανάπτυξης 5G παγκοσμίως (IODT) με βάση το πρότυπο

3GPP R15 με εμπορικό σταθμό βάσης σε περιβάλλον εργαστηρίου. Αυτή η επιτυχημένη δοκιμή στη Βόννη της Γερμανίας, είναι ένα ακόμη σημαντικό ορόσημο αφού οι τρεις εταίροι επαλήθευσαν αρχικά την πρώτη διαλειτουργικότητα 5G NR στα εργαστήρια της Huawei στη Σαγκάη. Η δοκιμή βασίζεται στον εμπορικό σταθμό βάσης 5G της Huawei και στην τρίτη γενιά 5G NR κινητής πλατφόρμας (Mobile Platform Trial-MTP) της Intel. Πρόκειται για ένα κρίσιμο βήμα προς την πρώιμη ανάπτυξη του πλήρους εμπορικού εξοπλισμού 5G το 2019, επιταχύνοντας το οικοσύστημα 5G [115].

Η Nokia και η T-Mobile ανακοίνωσαν την ανταλλαγή δεδομένων 5G για αμφίδρομη χρήση σε ένα σύστημα 5G New Radio (NR) συμβατό με 3GPP στο εργαστήριο Εργαστήριο της T-Mobile. Η δοκιμή διεξήχθη επιτυχώς με ένα προσομοιωτή εξοπλισμού χρήστη και της χρήσης του φάσματος στη ζώνη των 28 GHz. Η μετάδοση δεδομένων 5G διεξήχθη με τη βάση την πλατφόρμα της Nokia AirScale, το διακομιστή AirFrame και το AirScale Cloud RAN με συμβατό λογισμικό συμβατό με το 5G NR 3GPP. Η ίδια λύση έχει αποδειχθεί πλήρως στο περιβάλλον της T-Mobile μέσω συνεχιζόμενων εργαστηριακών δοκιμών και δοκιμών πεδίου [116].

Η Nokia και η Γαλλική εταιρεία τηλεπικοινωνιών SFR ανακοίνωσαν ότι ολοκλήρωσαν επιτυχώς μια κλήση 5G, χρησιμοποιώντας το σύστημα ραδιοσυχνοτήτων 5G New Radio 3GPP πάνω στη ζώνη συχνοτήτων των 3,5 GHz. Οι δύο εταιρείες δήλωσαν ότι η δοκιμή 5G πραγματοποιήθηκε την περασμένη εβδομάδα στο εργαστήριο δοκιμών στο Παρίσι-Σακλέι της Γαλλίας. Η κλήση 5G χρησιμοποίησε την τεχνολογία Nokia 5G NR, συμπεριλαμβανομένης της πλατφόρμας ραδιοεπικοινωνίας AirScale της Nokia και της τεχνολογίας Cloud RAN μαζί με τις συσκευές δοκιμής τελικών χρηστών που είναι συμβατές με τις προδιαγραφές της 3GPP. Το πρότυπο 5G New Radio NR, το οποίο συμφωνήθηκε από το 3GPP τον Δεκέμβριο του 2017, έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών 5G και βελτιωμένων υπηρεσιών κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης (eMBB). Τα συστήματα Nokia 5G NR χρησιμοποιούν έξυπνες κεραιές για να παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης

και χαμηλή καθυστέρηση επιτρέποντας στους χειριστές να αυξάνουν την χωρητικότητα δικτύου σε φάσμα κάτω από τις ζώνες συχνοτήτων των 6GHz παρέχοντας κάλυψη ευρείας περιοχής [117].

### 5.3 – Δοκιμές στην Αμερική

Η χρήση των δεδομένων τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ριζικά. Μόνο το 2016 αυξήθηκε κατά 63% σε παγκόσμιο επίπεδο και κατά 18 φορές κατά τη διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών, σύμφωνα με τον δείκτη Visual Networking της Cisco [118]. Τα εμπορικά δίκτυα 5G θα πρέπει να είναι εγκαίρως ευρέως διαθέσιμα σε ολόκληρη τη Βόρεια Αμερική για την παροχή της ταχύτητας και της φασματικής απόδοσης που είναι απαραίτητες για την ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης. Οι φορείς εκμετάλλευσης και οι ρυθμιστικές αρχές κάνουν ήδη σημαντικά βήματα προς αυτόν τον στόχο. Η διαχείριση του φάσματος ώστε να επιτευχθούν υψηλή μετάδοση δεδομένων είναι μια πρόκληση και το 5G στοχεύει να την αντιμετωπίσει υποστηρίζοντας πολύ περισσότερες μπάντες, από 600 MHz μέχρι ενδεχομένως 95 GHz. Αυτή η ευρεία επιλογή επίσης θα επιτρέψει το 5G να υποστηρίξει ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών και σεναρίων ανάπτυξης από ό, τι οι προκάτοχοί του.

#### 5.3.1 – Δοκιμές σε νέες δυνατότητες στη διαχείριση της ζώνης φάσματος

Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών (Federal Communications Commission-FCC) έθεσε τα θεμέλια για δοκιμές 5G που αφορούν τη χρήση του φάσματος τον Οκτώβριο του 2014, όταν εξέδωσε μια ειδοποίηση έρευνας (notice of inquiry-NOI) για να διερευνήσει τη χρήση ζωνών κυψέλης άνω των 24 GHz. Κατά τη διαδικασία, η FCC έγινε ο πρώτος ρυθμιστικός φορέας στον κόσμο για να κινήσει επίσημα διαδικασία για φάσμα 5G [119].

Η FCC τον Ιούλιο του 2016 ανακοίνωσε ότι οι κάτοχοι αδειών χρήσης των συχνοτήτων 28 GHz, 37 GHz και 39 GHz "θα έχουν την ευελιξία να παρέχουν κάθε σταθερή ή κινητή υπηρεσία που είναι συνεπής με την κατανομή του φάσματος τους [120]. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το πρόσφατο παρελθόν, κατά

το οποίο οι κάτοχοι αδειών περιορίστηκαν μόνο σε άδειες ενιαίας χρήσης σε αυτές τις ζώνες. "Αυτές οι τρεις μπάντες βρίσκονται υπό μελέτη για το WRC-19. Η απόφαση του FCC βοήθησε ώστε να παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 5G στο χιλιοστομετρικό κύμα (mmWave).

Παρόλο που τα συστήματα κυψέλης έχουν παραδοσιακά χρησιμοποιήσει μόνο αδειοδοτημένο φάσμα, μερικές εφαρμογές 5G θα χρησιμοποιήσουν μη αδειοδοτούμενες ζώνες. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει συσσώρευση αδειοδοτημένων και μη αδειοδοτημένων συχνοτήτων ώστε να δημιουργηθεί μια σύνδεση αρκετά γρήγορη για να υποστηρίξει μια εφαρμογή που απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης ή να χρησιμοποιεί μόνο το φάσμα χωρίς άδεια από μόνη της. Η διάθεση μη αδειοδοτημένων ζωνών για κυψελοειδή συστήματα είναι ένα από τα πολλά σημαντικά στοιχεία για την ελάττωση της χρόνιας έλλειψης φάσματος.

Η ανακοίνωση της προτεινόμενης νομοθεσίας (notice of proposed rulemaking - NPRM) από την FCC τον Οκτώβριο του 2015 περιλαμβάνει τη χρήση της μη αδειοδοτημένης ζώνης 64-71 GHz, ενώ άλλοι οργανισμοί ασχολούνται με ζώνες χωρίς άδεια άνω των 95 GHz. [119]. Αυτές οι υψηλές συχνότητες θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για οικιακές εφαρμογές, όπως βίντεο και ευρυζωνικές συνδέσεις, διότι μπορούν να παρέχουν υψηλό εύρος ζώνης, ενώ η περιορισμένη εμβέλειά τους μειώνει τον κίνδυνο να παρεμβαίνει το σύστημα ενός νοικοκυριού με εκείνο των γειτόνων του. Αυτό το παράδειγμα δείχνει επίσης πως το 5G σε μη αδειοδοτημένο φάσμα χιλιοστομετρικού κύματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παροχή υπηρεσιών που προσφέρονται επί του παρόντος μόνο με χαλκό ή ίνες, δίνοντας έτσι στους καταναλωτές περισσότερες επιλογές.

### **5.3.2 – Δοκιμές ιδιωτικού τομέα της Αμερικής**

Η AT & T, η Sprint, η T-Mobile και η Verizon συνεισέφεραν σημαντικά στην 3GPP για τα πρότυπα 5G από τις αρχές του 2016. Η συνεισφορά δεν βασίζεται μόνο στη συμμετοχή σε πολλές τεχνικές προδιαγραφές για όλα τα επίπεδα του δικτύου πρόσβασης αλλά και στην πρόοδο της ανάπτυξης προτύπων.

Η AT & T ξεκίνησε τη διεξαγωγή δοκιμών πεδίου 5G με φάσμα mmWave στα μέσα του 2016 και δοκίμασε την υπηρεσία 5G με οικιακούς πελάτες, μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις, και μεγάλες θέσεις λιανικής κυκλοφορίας. Το 2017, η AT & T ξεκίνησε πρότυπες δοκιμές 5G σε αρκετές περιοχές. Η AT & T αναμένει να εισαγάγει υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας 5G σε 12 αγορές στα τέλη του 2018. Οι πρώτες συσκευές 5G αναμένεται να λειτουργήσουν ως κινητά hotspots, ενώ περιμένουν τα πρώτα τηλέφωνα 5G να είναι έτοιμα το 2019. Το 2018 η AT & T σχεδιάζει να συνεχίσει να ενισχύει το δίκτυό της με τεχνολογία 5G Evolution σε εκατοντάδες επιπλέον περιοχές χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες LTE Advanced Pro. Ο στόχος της AT & T χρησιμοποιεί πολλαπλές τεχνολογικές αρχιτεκτονικές για την παροχή ταχύτητας 1 Gbps στις ΗΠΑ. Η AT & T σημειώνει επίσης σημαντική πρόοδο με την εικονικοποίηση του δικτύου της. Μετά την επίτευξη του στόχου της κατά 55% για το τέλος του 2017, η εταιρεία σχεδιάζει να εικονικοποιήσει το 75% του δικτύου της έως το 2020 [120].

Η Sprint έχει ανακοινώσει σχέδια για την παροχή εμπορικών υπηρεσιών και συσκευών 5G από το πρώτο εξάμηνο του 2019 μέσω της ανάπτυξης των τεράστιων σταθμών MIMO των 2,5 GHz που προορίζονται για εμπορική χρήση το 2018. Με αναβάθμιση λογισμικού σε 5G NR, η Sprint θα υποστηρίξει τα LTE και 5G NR ταυτόχρονα. Η Sprint ανακοίνωσε πρόσφατα ότι, από τον Απρίλιο του 2018, οι πελάτες της στις επιλεγμένες αγορές των ΗΠΑ θα αρχίσουν να αντιμετωπίζουν δυνατότητες παρόμοιες με τις 5G. Το Σικάγο, το Ντάλας και το Λος Άντζελες θα είναι οι τρεις πρώτες πόλεις, με την Ατλάντα, το Χιούστον και την Ουάσινγκτον αργότερα.

Το 2018 και το 2019 η Sprint θα αναπτύξει τεχνολογία MIMO, αυξάνοντας σημαντικά την ταχύτητα δεδομένων και την ικανότητα δικτύου για εκατομμύρια πελάτες σε όλη τη χώρα. Αναβαθμίζει το υπάρχον δίκτυο της για να αξιοποιήσει και τις τρεις ζώνες φάσματος (800 MHz, 1,9 GHz και 2,5 GHz) και χτίζει χιλιάδες νέες περιοχές κυψέλης για να την επεκτείνει [121].



Εικόνα 32 – Δοκιμές Sprint's σε διάφορες πόλεις [121]

Η T-Mobile στοχεύει στην επίτευξη εθνικής κάλυψης 5G έως το 2020, αξιοποιώντας τις πηγές ραδιοσυχνοτήτων 600 MHz που απέκτησε τον Απρίλιο του 2017. Σύμφωνα με τον φορέα εκμετάλλευσης των ΗΠΑ, αυτή η ζώνη φάσματος θα επιτρέψει στις αγροτικές περιοχές να βιώσουν την τελευταία τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας ταυτόχρονα με τις αστικές περιοχές. Στα τέλη Φεβρουαρίου του 2018, η T-Mobile ανακοίνωσε τα σχέδια για τεχνολογία 5G σε 30 πόλεις το 2018. Η Νέα Υόρκη, το Λος Άντζελες, το Ντάλας και το Λας Βέγκας θα είναι οι πρώτες πόλεις που θα βιώσουν το 5G. τα πρώτα 5G έξυπνα τηλέφωνα θα είναι διαθέσιμα στις αρχές του 2019. Εκτός από την ανάπτυξη εξοπλισμού έτοιμου για 5G σε φάσμα 600 MHz, η T-Mobile σχεδιάζει να ξεκινήσει να κατασκευάζει 5G σε φάσμα mmWave.

Η T-Mobile ξεκίνησε την ανάπτυξη φάσματος 600 MHz, σε 586 πόλεις σε 28 κράτη μέλη καλύπτοντας 300.000 τετραγωνικά μίλια μέχρι το τέλος του 2017. Το T-Mobile, πέραν της εθνικής του ανάπτυξης δικτύου 5G, στοχεύει στο να επιτρέψει υψηλό εύρος ζώνης και μαζική απόδοση σε αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μέσης ζώνης και φάσμα mmWave. Η T-Mobile συνεχίζει επίσης να επεκτείνει τη χωρητικότητά της μέσω της ανανέωσης του υφιστάμενου φάσματος και της εφαρμογής νέων τεχνολογιών [122].



Η Verizon ίδρυσε το δικό της Τεχνολογικό Φόρουμ 5G, το οποίο περιλαμβάνει την Apple, Cisco, Ericsson, Intel, LG, Nokia, Qualcomm και Samsung, ολοκληρώνοντας της δικές της προδιαγραφές ραδιοσυχνοτήτων 5G το 2016. Με βάση την εστίαση του FCC σε mmWave για 5G, η Verizon έχει αποκτήσει φάσμα στις ζώνες 28 GHz και 39 GHz. Έχοντας παραδώσει προ-εμπορικές υπηρεσίες 5G σε πιλοτικούς πελάτες σε 11 μητροπολιτικές περιοχές σε ολόκληρη τη χώρα το 2017, η Verizon θα δρομολογήσει ασύρματες υπηρεσίες που βασίζονται σε 5G σε τρεις έως πέντε αμερικανικές αγορές κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2018, με στόχο διείσδυση 20-30% στις αγορές αυτές.



Εικόνα 33 – Verizon Κέντρο Τεχνολογίας [123]

Η Verizon επίσης εξελίσσεται συνεχώς και αναβαθμίζει το δίκτυο 4G της και προετοιμάζει το 5G. Για παράδειγμα, το 2017, η Verizon, η Ericsson και η Qualcomm ολοκλήρωσαν μια επιτυχημένη δοκιμή MIMO FDD με μια πλήρως συμβατή συσκευή πελάτη. Το MIMO είναι βασικό συστατικό της τεχνολογίας στην εξέλιξη της Verizon προς το 5G και έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά την εμπειρία του πελάτη αυξάνοντας τη φασματική απόδοση του δικτύου και τις ταχύτητες των πελατών. Στις αρχές Φεβρουαρίου του 2018, οι πρόεδροι /

διευθύνοντες σύμβουλοι της Verizon και της KT διενήργησαν με επιτυχία βιντεο κλήση 5G σε δύο πλήρως λειτουργικές πρωτότυπες ταμπλέτες (tablets) 5G που αναπτύχθηκαν από τη Samsung [123].

## 5.4– Δοκιμές στην Ασία

Η τεράστια αγορά της ασιατικής ηπείρου αναμένεται να δώσει ώθηση στην ανάπτυξη του 5G τα επόμενα χρόνια. Οι χώρες της Ασιατικής ηπείρου έχουν κατανόηση τη δυναμική της ανάπτυξης της νέας γενιάς της κινητής επικοινωνία και στοχεύουν στην υλοποίηση δοκιμών και εφαρμογών ώστε να αναλάβουν ισχυρό ρόλο στην τελική εφαρμογή μετά την ολοκλήρωση του προτύπου.

### 5.4.1 – Κίνα

Οι δοκιμές 5G στην Κίνα περιλαμβάνουν δύο φάσεις, τη δοκιμή τεχνολογίας E & A (Φάση 1) και τη δοκιμή προϊόντων E & A (Φάση 2). Ο στόχος της φάσης 1 είναι να προωθήσει την έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας πυρήνα 5G στην Κίνα, να επαληθεύσει τα συστήματα τεχνολογίας 5G και να υποστηρίξει παγκόσμια ενοποιημένα πρότυπα 5G. Στη συνέχεια, η φάση 2 στοχεύει στην επικύρωση του προϊόντος 5G. Πιο συγκεκριμένα:

- Η Τεχνολογία Έρευνας και Τεχνολογίας (Φάση 1) καθοδηγείται από την Ομάδα Προώθησης IMT-2020 (5G) και διεξάγεται από το 2016 έως το 2018 [124].
- Η δοκιμή Έρευνας Προϊόντος (Φάση 2) θεωρείται επίσης ως δοκιμή κλίμακας 5G και στην Κίνα, η οποία θα διεξαχθεί από κινέζους φορείς από το 2018 έως το 2020 [125].

Τον Ιανουάριο του 2016, το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογίας της Πληροφορίας (Ministry of Industry and Information Technology-MIIT) στην Κίνα ξεκίνησε τη δοκιμή 5G της τεχνολογίας .

Τα τρία βήματα αυτής της δοκιμής έχουν ως εξής:

1. Βήμα 1 (βασική δοκιμή τεχνολογίας): υλοποιήθηκε από τον Ιανουάριο του 2016 έως τον Σεπτέμβριο του 2016, εστιάζοντας στη δοκιμή των πρωτότυπων τεχνολογιών 5G, στην αξιολόγηση της λειτουργίας και των επιδόσεων και στην προαγωγή της οικοδόμησης συναινετικών προτύπων.

2. Στάδιο 2 (Δοκιμαστικό σύστημα τεχνολογίας): υλοποιήθηκε από τον Ιούνιο του 2016 έως τον Δεκέμβριο του 2017, με στόχο τη δοκιμή της απόδοσης ενός σταθμού βάσης (BS) και την επαλήθευση της λειτουργικότητας και της απόδοσης των συστημάτων τεχνολογίας 5G διαφορετικών προμηθευτών.

3. Στάδιο 3 (Δοκιμή συστήματος): Εφαρμόστηκε από τον Ιούνιο του 2017 έως τον Οκτώβριο του 2018, στοχεύοντας να επαληθεύσει τις επιδόσεις δικτύωσης και διασύνδεσης του συστήματος 5G και να επιδείξει τις τυπικές υπηρεσίες 5G.

Η Κίνα έχει δημιουργήσει τη μεγαλύτερη δοκιμή πεδίου 5G στον τομέα Huairou του Πεκίνου. Σχεδιάστηκαν 30 τοποθεσίες, οι οποίες θα υποστηρίξουν τις απαιτήσεις δοκιμής επιδόσεων δικτύου για 6 προμηθευτές εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των Huawei, Ericsson, ZTE, Datang, Nokia και Samsung [126].

Η Κίνα έχει επίσης καλέσει τους κατασκευαστές οργάνων δοκιμών και τις εταιρείες παροχής εξοπλισμού να συμμετάσχουν στη δοκιμή πεδίου και επομένως ολόκληρη η βιομηχανία μπορεί να συνεργαστεί για να οικοδομήσει ένα βιομηχανικό οικοσύστημα 5G.

Επιπλέον, η έρευνα για και ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G της Κίνας είναι ανοικτή σε ξένες επιχειρήσεις και καλεί τόσο τους εγχώριους όσο και τους διεθνείς μεγάλους φορείς εκμετάλλευσης, προμηθευτές εξοπλισμού, εταιρίες εξοπλισμού, επιχειρήσεις μετρήσεων και οργάνων καθώς και ερευνητικά ιδρύματα να συμμετάσχουν. Για την ώρα έχουν συμμετάσχει 21 εταιρείες. Συνεργάζονται για να διατυπώσουν τις προδιαγραφές δοκιμών και να εκτελέσουν τη δοκιμή. Ο τελικός στόχος είναι να επιτευχθεί η εμπορική ανάπτυξη δικτύων 5G το έτος 2020.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των δικτύων 5G και των οχημάτων θεωρείται ως βασική εστίαση της Κίνας. Σήμερα, αρκετές επαρχίες και πόλεις, όπως η Σαγκάη, η Zhejiang, το Πεκίνο-Χεμπέι, το Τσονγκκίνγκ, το Jilin, το Hubei και το Wuxi σχεδίασαν περιοχές επίδειξης ή δοκιμαστικές περιοχές για να διερευνήσουν και να προωθήσουν ευφυή συνδεδεμένα οχήματα.

Ο Σουηδός κατασκευαστής τηλεπικοινωνιακών συσκευών Ericsson, μαζί με το Ινστιτούτο Κινητών Ερευνών της Κίνας και ο Τεχνολογικός Οργανισμός της Κίνας, ολοκλήρωσε μια τηλεφωνική κλήση 5G που βασίζεται στο 3GPP 5G NR στο Πεκίνο, σηματοδοτώντας το έναυσμα στην εμπορευματοποίηση της πέμπτης γενιάς επικοινωνίας.

Το 5G θα είναι μέχρι 10 φορές ταχύτερο από 4G και θα λειτουργήσει ως μια σημαντική πλατφόρμα για τις νέες τεχνολογίες. Η Κίνα είναι από τις πρώτες χώρες που θα εκδώσουν άδειες 5G στον κόσμο, πιθανότατα μεταξύ του δεύτερου εξαμήνου του 2019 και του πρώτου εξαμήνου του 2020 [127].

Η China Mobile, η μεγαλύτερη εταιρεία κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως, σχεδιάζει να κατασκευάσει το μεγαλύτερο δοκιμαστικό δίκτυο 5G παγκοσμίως. Η εταιρεία δήλωσε ότι θα ξεκινήσει δοκιμές 5G σε πέντε κινεζικές πόλεις φέτος. Οι υπαίθριες δοκιμές θα διεξαχθούν στις πόλεις Hangzhou, Shanghai, Guangzhou, Suzhou και Wuhan και αποσκοπεί στην ανάπτυξη περισσότερων από 100 σταθμών βάσης 5G σε κάθε πόλη για τις δοκιμές 5G.

Η China Mobile σχεδιάζει επίσης να αναπτύξει μικρής κλίμακας δοκιμές "επίδειξης εφαρμογών" σε μια δωδεκάδα άλλων πόλεων, όπως το Πεκίνο και το Shenzhen. τα δοκιμαστικά δίκτυα θα λειτουργούν ως επί το πλείστον στη ζώνη των 3,5 GHz [127].

#### **5.4.2 – Ιαπωνία**

Στην Ιαπωνία έγιναν αντιληπτές οι απαιτήσεις για την παροχή νέων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας που μπορούν να χειριστούν τα αυξημένα επίπεδα κυκλοφορίας που προκύπτουν από την εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών δικτύων.

Αναμένεται επίσης ότι το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), όπου όλα συνδέονται με ένα δίκτυο, να είναι σύντομα σε πλήρη εξέλιξη.

Η σύσταση της ομάδας μελέτης Ασύρματης Πολιτικής 2020 (Radio Policy 2020 Study Group), η οποία ξεκίνησε από τον Ανώτερο Υφυπουργό Εσωτερικών και Επικοινωνιών από τον Ιανουάριο έως τον Ιούλιο του 2016 και αφορά το Σχέδιο Δοκιμών Πεδίου 5G στην Ιαπωνία. Η ομάδα μελέτησε πολιτικές προώθησης που αποσκοπούν στην υλοποίηση νέων υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που θα φέρει το 5G. Στην τελική έκθεση του παρουσιάζει εννέα πεδία χρήσης, τρία έργα και εννέα μοντέλα προώθησης και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προώθηση αυτών των έργων θα επιταχύνει τις προσπάθειες για την επίτευξη 5G έως το 2020.

Η τεχνολογία 5G όχι μόνο παρέχει ενισχυμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας ( enhanced Mobile Broadband-eMBB), αλλά διευκολύνει επίσης τις επικοινωνίες εξαιρετικής αξιοπιστίας χαμηλής καθυστέρησης (Ultra Reliable Low Latency Communications-URLLC) και τις μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (massive Machine Type Communications-mMTC)) σε μεγάλους αριθμούς αισθητήρων και τερματικών και αναμένεται να χρησιμοποιηθεί σε πολύ ευρύτερη ποικιλία τομέων συμπεριλαμβανομένων και των αυτοκινήτων. Η επίτευξη οριζόντιας ανάπτυξης στους ακόλουθους εννέα τομείς είναι ζωτικής σημασίας για τη διάδοση του 5G:

- 1) Αθλητισμός (γυμναστήριο κ.λπ.).
- 2) Διασκέδαση (παιχνίδια, τουρισμός, κ.λπ.).
- 3) Γραφεία / χώρους εργασίας.
- 4) Ιατρική περίθαλψη (υγειονομική περίθαλψη, νοσηλεία).
- 5) Έξυπνα σπίτια / καθημερινή ζωή (καθημερινές ανάγκες, επικοινωνίες κ.λπ.).
- 6) Λιανικό εμπόριο (χρηματοδότηση, πληρωμές).
- 7) Γεωργία, δασοκομία και αλιεία.
- 8) Έξυπνες πόλεις / έξυπνες περιοχές.

9) Κυκλοφορία (μεταφορά επιβατών, διανομή εμπορευμάτων κ.λπ.).

Για να επιτευχθεί η έγκαιρη ανάπτυξη του 5G σε αυτά τα εννέα πεδία, με βάση τις βασικές απαιτήσεις του 5G (eMBB, mMTC και URLLC), αποφασίστηκε να προωθηθούν τρία έργα:

- η υψηλή ευρυζωνική σύνδεση
- η ασύρματη σύνδεση για το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων IoT
- ITS επόμενης γενιάς, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα

Όσον αφορά αυτά τα τρία έργα, παρουσιάστηκαν ταυτόχρονα τρία συγκεκριμένα "μοντέλα προώθησης" για κάθε έργο,. Για την πρόοδο των μελλοντικών έργων απαιτείται η συνεργασία πολλών ξεχωριστών ενδιαφερόμενων όπως παρόχους επικοινωνιών, τους πωλητές εξοπλισμού επικοινωνίας αλλά και τους χρήστες αυτής της τεχνολογίας .

Το Υπουργείο Εσωτερικών και Επικοινωνιών της Ιαπωνίας (MIC) ενέκρινε ένα τετραετές πλάνο έρευνα και επαλήθευσης στον τομέα του 5G. Αυτά τα έργα 5G περιλαμβάνουν έρευνα για βασικές τεχνολογίες για χαρακτηριστικά 5G, όπως υπερβολικά υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης, μεγάλη χωρητικότητα, μαζική σύνδεση και συνεργατική έρευνα με την Ευρώπη. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα των έργων έρευνας και ανάπτυξης 5G, από το 2017, ξεκίνησαν οι δοκιμές πεδίου συστήματος 5G που προωθούνται επίσης από το MIC και έχουν διάρκεια τρία χρόνια. Οι δοκιμές αυτές διεξάγονται στο Τόκιο και στις τοπικές περιοχές σε διάφορους τομείς εφαρμογής του 5G και στοχεύουν να συμπεριλάβουν συνεισφορές στις διεθνείς δραστηριότητες τυποποίησης, δημιουργώντας ένα ανοιχτό περιβάλλον όπου μπορούν να συμμετέχουν εταιρείες και πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο,.

Στις δοκιμές πεδίου συστήματος 5G, θεωρούνται ως εξής πολλαπλά περιβάλλοντα δοκιμών:

- Αστικά μικροκυτταρικά ή αστικά μακροκυτταρικά,
- Προαστιακό μακροκυτταρικό ή αγροτικό μακροκυττάρου

- Hotspot εσωτερικού χώρου.

Επίσης, οι ακόλουθες τρεις βασικές δυνατότητες θα αποδειχθούν με τις δοκιμές:

- eMBB (μέγιστη ταχύτητα δεδομένων 10 Gbps),
- mMTC (1 εκατομμύριο συνδεδεμένες συσκευές / km<sup>2</sup>), και
- URLLC (λανθάνοντα καθυστέρηση 1 ms).

Η NTT DOCOMO, INC, ανακοίνωσε ότι μαζί με την NEC Corporation και την Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) έχει επιτύχει την πρώτη επιτυχή μετάδοση ασύρματων δεδομένων 28 GHz μεταξύ σταθμού βάσης 5G και κινητού τηλεφώνου 5G δοκιμές πεδίου χρησιμοποιώντας ένα αυτοκίνητο που κινείται στα 305 km / h.

Οι δοκιμές πέτυχαν μετάδοση δεδομένων 1.1 Gbps εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας σε κινητό σταθμό που κινείται με ταχύτητα 293 km / h και γρήγορη παράδοση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας μεταξύ σταθμών βάσης 5G και κινητού σταθμού 5G που κινείται στα 290 χλμ. / ώρα.

Οι δοκιμές, που διεξήχθησαν στις 8 Απριλίου στο Ιαπωνικό Ινστιτούτο Έρευνας για την Αυτοκινητοβιομηχανία (JARI), δημιούργησαν ένα περιβάλλον δοκιμής εξαιρετικά υψηλής κινητικότητας χρησιμοποιώντας ένα αυτοκίνητο που ταξιδεύει με ταχύτητες παρόμοιες με εκείνες των σιδηροδρόμων μεγάλης ταχύτητας.



Εικόνα 34 – 5G DOCOMO [128]

Τον Μάρτιο, ο ιαπωνικός φορέας εκμετάλλευσης KDDI και η Samsung Electronics της Νότιας Κορέας ανακοίνωσαν την επιτυχή ολοκλήρωση μιας δοκιμής πεδίου που διεξήχθη στο στάδιο Okinawa, ένα γήπεδο μπέιζμπολ με χωρητικότητα 30.000 ατόμων στην Ιαπωνία[129].

Η δοκιμή, η οποία χρησιμοποίησε τις λύσεις 5G end-to-end της Samsung που καλύπτουν έναν εικονικοποιημένο πυρήνα, εικονικοποιημένο RAN, μονάδες πρόσβασης 5G και συσκευές πολλαπλών πρωτοτύπων 5G παρουσίασαν ζωντανές ροές περιεχομένου βίντεο 4K, τα οποία κατέβασαν και μεταδόθηκαν ταυτόχρονα σε ταμπλέτες 5G σε φάσμα mmWave [130].

### 5.4.3 – Νότια Κορέα

Η Κορέα κατατάσσεται ως η χώρα με τη μεγαλύτερη διείσδυση στην κινητή τηλεφωνία η οποία την οδήγησε σε μια σχετικά πρόωρη έναρξη στην έρευνα και την εξέλιξη των 5G. Το Υπουργείο Επιστήμης, Πληροφοριών και Σχεδιασμού Μελών (Information and Future Planning-MSIP) ανακοίνωσε την 5G Mobile Strategy 1.0 τον Ιανουάριο του 2014 με διάρκεια έως το 2020. Έλαβε κοινά σχέδια για έρευνα και ανάπτυξη της βιομηχανίας, των κρατικών νοσημάτων και του ακαδημαϊκού χώρου για την υλοποίηση των eMBB, mMTC και URLLC [131].

Περιλαμβάνει επίσης διεθνή συνεργασία σε θέματα έρευνας και ανάπτυξης φάσματος και πολιτικής με κυβερνήσεις και παγκόσμιους οργανισμούς προώθησης 5G. Η 5G Mobile Strategy 2.0 ανακοινώθηκε επίσης τον Δεκέμβριο του 2016, υπογραμμίζοντας την υπηρεσία σύγκλισης 5G με άλλες βιομηχανίες και την οικοδόμηση οικοσυστημάτων έως το 2022.

Στο πλαίσιο των προσπαθειών στρατηγικής συνεργασίας με νέες κάθετες αγορές, η SK Telecom έχει συνάψει μια συνεργασία με την BMW και την Ericsson για την ανάπτυξη και επίδειξη 5G συνδεδεμένων αυτοκινήτων με διάφορες σχετικές περιπτώσεις χρήσης V2X, όπως:

- 28 GHz ραδιοσυχνοτήτων 5G, γρήγορη παρακολούθηση δέσμης με υψηλή κινητικότητα,
- Λειτουργίες ασφαλείας βασισμένες στην αναγνώριση βίντεο.



- 4K UHD Streaming και 360 VR ζωντανή ροή.
- 5G Δοκιμή με AR και VR.

Οι προσπάθειες για δοκιμές 5G βραβευτήκαν από την παγκόσμια κοινότητα. Το πρώτο συνδεδεμένο αυτοκίνητο στον κόσμο 5G έλαβαν το βραβείο MWC Shanghai (Ιούνιος 2017) ως η "Καλύτερη Καινοτομία για LTE" στο 5G Evolution), το βραβείο Telecom Asia (Μάιος 2017, η πιο καινοτόμος στρατηγική εταιρικής σχέσης) και το βραβείο GTB (Μάιος 2017, Καινοτομία Υποδομής), βλέπε εικόνα () Από το 2017, η SK Telecom έχει συνεργαστεί με φορείς και εταιρείες και έχει διεξάγει μια σειρά από δοκιμές-πυλόνους στην τεχνολογία 5G.



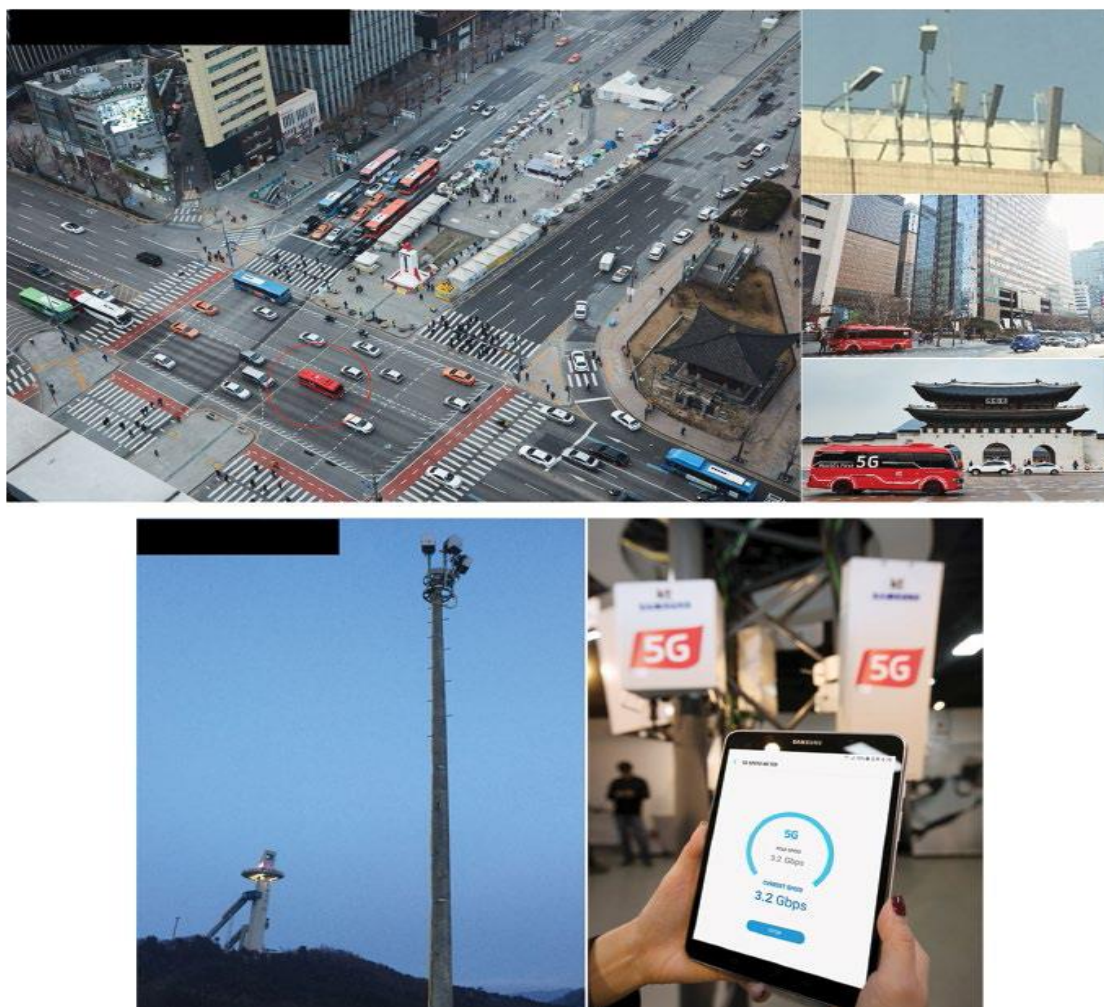
Εικόνα 35 – Δοκιμές SK Telecom [132]

Η Korea Telecom (KT) προωθεί την εμπορία 5G το 2019 αναπτύσσοντας μια δοκιμές 5G για έγκαιρη επαλήθευση των βασικών τεχνολογιών, ανάπτυξη τεχνικών προδιαγραφών και δοκιμές υπηρεσιών παράλληλα με τους Ολυμπιακούς Αγώνες του PyeongChang 2018. Από το άνοιγμα του Κέντρου Έρευνας και Ανάπτυξης KT 5G τον Ιούλιο του 2015, η KT εργάζεται ενεργά σε τεχνολογίες 5G, μαζί με πολλές πρώτες δοκιμές στον κόσμο, συμπεριλαμβανομένου του μαζικού MIMO, ενοποιημένης ενσύρματης και ασύρματης πρόσβασης, σχεδιασμού κυψελών mmWave, MIMO πολλαπλών χρηστών (MU-MIMO) , 5G πρώτη κλήση και 5G αυτο-οδήγηση αυτοκινήτου



Εικόνα 36 – ΚΤ Δοκιμές [133]

Για το 2018, η ΚΤ ανέπτυξε τις προδιαγραφές PeongChang 5G - τις πρώτες 5G κοινές προδιαγραφές του κόσμου που συνεργάζονται με τις εταιρείες Ericsson, Intel, Nokia, Samsung και Qualcomm. Η ΚΤ εξέδωσε προδιαγραφές στο φυσικό επίπεδο 5G τον Μάρτιο του 2016 και πλήρεις προδιαγραφές 5G, συμπεριλαμβανομένων των ανώτερων επιπέδων (L2 / L3) τον Ιούνιο του 2016 [134]. Με βάση τις προδιαγραφές 5G PyeongChang, η ΚΤ ανέπτυξε 5G σταθμούς και συσκευές και κατά συνέπεια δημιούργησε ένα εξωτερικό δοκιμαστικό δίκτυο γύρω από την πλατεία Gwanghwamun στην κεντρική Σεούλ, μια πολυσύχναστη περιοχή με μεγάλο πληθυσμό και αρκετά ψηλά κτίρια, όπως φαίνεται στη εικόνα (37).



Εικόνα 37 – ΚΤ Δοκιμές στην Ganghwamun and PyeongChang [134]

Επίσης, δημιούργησαν το δοκιμαστικό δίκτυο στην περιοχή Gangnam, ένα άλλο κέντρο της Σεούλ και το PyeongChang, την πόλη φιλοξενίας των Χειμερινών Ολυμπιακών Αγώνων του 2018. Οι Χειμερινοί Ολυμπιακοί Αγώνες οι δοκιμές 5G επικεντρώνονται κυρίως σε υπερρεαλιστικές υπηρεσίες μέσω ενημέρωσης πάνω από τα δοκιμαστικά δίκτυα 5G της ΚΤ, ως εξής:

(1) "Συγχρονισμένη Προβολή" : Επιτρέπει την προβολή βίντεο πραγματικού χρόνου 360 VR από την άποψη του παίκτη, κάνοντας τους θεατές να αισθάνονται σαν να ήταν στην πραγματικότητα με το πλήρωμα «bobsleigh» κατά τη διάρκεια του αγώνα (PyeongChang Alpensia Sliding Center, Οκτώβριος 2016).

(2) "Omni point view" : Παρέχει πολλαπλές στιγμές βίντεο συνεχούς ροής ταυτόχρονα με κάμερες που τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις γύρω από την πορεία σκι αντοχής (2017 Cross Country World Cup, Μάρτιος 2017).

(3) "Interactive time slice" : Παρέχει 3D βίντεο που έχουν καταγραφεί σε διαφορετικές γωνίες στους αθλητές, γεγονός που επιτρέπει τη επιλογή γωνίας που θέλουν να παρακολουθήσουν οι θεατές (Four Nations Continental Championship Skating Games, Φεβρουάριος 2017).

(4) "To Hologram live" : Υποστηρίζει επικοινωνίες αλληλεπιδραστικών ολογραμμάτων σε πραγματικό χρόνο, κάνοντας τους ανθρώπους να αισθάνονται πιο κοντά στους αθλητές στη συνέντευξη. Η ΚΤ έδειξε συνέντευξη ζωντανής σύνδεσης με ολόγραμμα μεταξύ Σεούλ και PyeongChang που απέχουν απόσταση 200 χλμ. (Μάρτιος 2016).

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του των δοκιμών για τους Ολυμπιακούς Αγώνες η ΚΤ διέθετε αυτόνομο λεωφορείο 5G στην περιοχή του PyeongChang, το οποίο ήταν το πρώτο αυτοκινούμενο αυτοκίνητο στον κόσμο που υποστηρίζει συνδεσιμότητα 5G για την παροχή πληροφοριών σχετικών με την οδήγηση.



Εικόνα 38 – ΚΤ 5G CAR [135]

Η ΚΤ, ως επίσημος τηλεπικοινωνιακός συνεργάτης των Χειμερινών Ολυμπιακών Αγώνων Pyeong Chang, στοχεύει στη δρομολόγηση μιας δοκιμαστικής υπηρεσίας 5G πριν από την έναρξη του γεγονότος [135].

Η ΚΤ σχεδιάζει να παρέχει υπηρεσίες δοκιμών 5G τους Ολυμπιακούς Αγώνες του PyeongChang 2018, κυρίως στους Ολυμπιακούς χώρους και τις γύρω περιοχές. Ένα δίκτυο 5G αναπτύσσεται επίσης σε στοχευόμενες περιοχές εντός της μητροπολιτικής περιοχής της Σεούλ, της KTX (Korea Train eXpress) και του Διεθνούς Αεροδρομίου Incheon .

Το 2018 η ΚΤ σχεδιάζει να ασχοληθεί κυρίως με τα 28 GHz για τις δοκιμές των 5G, για εμπορικές υπηρεσίες 5G που χρησιμοποιούν τόσο τα 3,5 GHz για μη αστικά κέντρα όσο και τα 28 GHz για τα αστικά κέντρα το 2019. Ξεκινώντας από τις πολύ πυκνοκατοικημένες περιοχές των μεγάλων πόλεων, να επεκτείνει την κάλυψη 5G σε εθνικό επίπεδο με βάση την υποδομή οπτικών ινών και να αναπτύξει το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 5G παγκοσμίως.



Εικόνα 39 – 5G Ολυμπιακοί Αγώνες Τοκιο 2020 [136]

Η SK Telecom, μαζί με τις AT & T, KT, NTT DoCoMo, Vodafone, Ericsson και άλλους, οδήγησαν το πρόγραμμα επιτάχυνσης 3GPP 5G NR. Τον Ιούνιο του 2017, ως προετοιμασία για την εμπορική εξέλιξη του 5G, η SK Telecom ολοκλήρωσε μια δοκιμή συστήματος 5G E2E των 3,5 GHz και έτσι εξασφάλισε συστήματα 5 GHz και 28 GHz. Εκτός από τις βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης του RAN, οι δυνατότητες του δικτύου πυρήνα (CN) όπως ο τεμαχισμός σε δίκτυα και η κινητή υπολογιστική ακρίβεια θα είναι επίσης μέρος της εμπορευματοποίησης του 5G της SK Telecom. Τα 5G δίκτυα θα έχουν δυναμική συμπεριφορά και θα είναι προσαρμοσμένα, ώστε να διασφαλίζεται η απόδοση [136].

### 5.5 – Επίλογος κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι δοκιμές αλλά και η στρατηγική κυβερνήσεων, φορέων και ιδιωτών στην Ευρώπη, την Αμερική και την Ασία. Παρουσιάστηκε το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των δοκιμών αυτών που στοχεύουν κυρίως στα μεγάλα αθλητικά γεγονότα ώστε να δοκιμάσουν τις νέες προδιαγραφές. Συμπερασματικά, το κεφάλαιο έδωσε μια πλήρη εικόνα του χάρτη πορείας προς την κατεύθυνση του 5G, τις δραστηριότητες που οδηγούν σε πρώιμη ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση. Τα χαρακτηριστικά και οι νέες τεχνολογικές δυνατότητες της Πέμπτης Γενιάς έχουν συγκεντρώσει μεγάλο ενδιαφέρον από την παγκόσμια κοινότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 –ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (PROJECT) 5G

### 6.1 – Εισαγωγή

Το 5GPP είναι μια συνεργασία μεταξύ της Ευρωπαϊκής επιτροπής της βιομηχανίας και των ερευνητικών ιδρυμάτων προκειμένου να υπάρξει η κατάλληλη ώθηση της Ευρώπης στο χώρο των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς. Στη φάση 1 από τον Ιούλιο του 2015 έως τα μέσα του 2017, 18 συνεργαζόμενα έργα (projects) ξεκίνησαν με πολλά και σημαντικά αποτελέσματα στις επιδόσεις δικτύου και στις τεχνολογίες νέφους. Στον πίνακα 1 αναφέρεται η περιγραφή του κάθε ερευνητικού προγράμματος και η διάρκεια του. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα σημαντικότερα ερευνητικά προγράμματα της φάσης 2 που ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2017. Τα έργα φάσης 2 του 5G PPP θα επεκτείνουν αυτά τα αποτελέσματα της φάσης 1 και θα δημιουργήσουν στενότερες σχέσεις μεταξύ της Ευρωπαϊκής κοινότητας και των κάθετων βιομηχανιών [137]. Τέλος τα ερευνητικά έργα φάσης 3 του 5G PPP ξεκίνησαν τον Ιούλιο του 2018 και 1 και θα δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία εκτεταμένων δοκιμών και θα βοηθήσουν την προτυποποίηση στην έκδοση 16 της 3GPP.

Πίνακας 3 –Πίνακας Ερευνητικών Προγραμμάτων Φάση 1 5GPPP [138]

Ερευνητική Εργασία	Περιγραφή	Διάρκεια
Flex5Gware	Ευέλικτες και αποδοτικές πλατφόρμες υλικού / λογισμικού για στοιχεία και συσκευές δικτύου 5G	1/7/15-1/7/17
Norma	5G νέο δίκτυο αρχιτεκτονικής	1/7/15-1/1/18
Metis II	Κινητές και ασύρματες επικοινωνίες (2020) Κοινωνία της Πληροφορίας-II	1/7/15-1/7/17
Euro5G	Euro-5G	1/7/15-1/10/17
5G-XHaul	Δυναμικά επαναρυθμισμένο οπτικό-ασύρματο backhaul / Fronthaul με γνωστικό επίπεδο ελέγχου για μικρά κελιά και cloud-RAN	1/7/15-1/7/18

<b>Ερευνητική Εργασία</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Διάρκεια</b>
5G Ensure	Επιτεύγματα για ένα ασφαλές, αξιόπιστο και βιώσιμο δίκτυο 5G	1/11/15-1/11/17
CHARISMA	Συγκεντρωμένη ετερογενής προηγμένη αρχιτεκτονική Cloud-RAN 5G για έξυπνη και ασφαλή πρόσβαση πολυμέσων	1/7/15-1/1/18
SESAME	Μικροσυντονισμός κελιών για υπηρεσίες πολλαπλών μισθώσεων στα άκρα του δικτύου	1/7/15-1/1/18
Selfnet	Πλαίσιο για τη διαχείριση του δικτύου σε εικονικοποιημένα και καθοριζόμενα από λογισμικό	1/7/15-1/7/18
CogNet	Δημιουργία ενός ευφυούς συστήματος γνώσεων και δράσης για τη διαχείριση δικτύου 5G	1/7/15-1/1/18
VIRTUWIND	Εικονικό και προγραμματιζόμενο πρωτότυπο βιομηχανικού δικτύου που αναπτύσσεται σε λειτουργικό αιολικό πάρκο	1/7/15-1/7/18
5GeX	5G Exchange	30/6/15-30/6/17
FANTASTIC 5G	Ευέλικτη υπηρεσία πλαισίου για κλιμακούμενη παροχή υπηρεσιών μέσω δικτύων επικοινωνίας της 5ης γενιάς	30/6/15-30/6/17
Coherent	Συντονισμένος έλεγχος και διαχείριση φάσματος 5G Δικτύων	1/7/15-1/1/18
Sonata	Προγραμματισμός και ενορχήστρωση υπηρεσιών για δίκτυα εικονικού λογισμικού	1/7/15-1/1/18
5GXCrossshaul	Το ενσωματωμένο δίκτυο μεταφοράς fronthaul / backhaul 5G	1/7/15-1/1/18
mmMAGIC	Δίκτυο κινητής ραδιοεπικοινωνίας βασισμένο σε χιλιοστομετρικό κύμα	30/6/15-30/6/17
Speed5G	την ποιότητα της παροχής υπηρεσιών και την επέκταση της χωρητικότητας για 5G	1/7/15-1/1/18
Superfluidity	Ένα ευέλικτο ετερογενές δίκτυο τεχνολογίας νέφους	1/7/15-1/1/18



## 6.2 – 5G-XHaul



Αξιοποιώντας την κινητικότητα των χρηστών, η υποδομή θα επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των πόρων του δικτύου σε περιοχές με αυξημένη κίνηση (hotspots). Για να υποστηριχθεί η νέα αυτή αρχιτεκτονική, θα αναπτυχθούν:

- Πομποδέκτες οι οποίοι θα είναι δυναμικά προγραμματιζόμενοι, υψηλής χωρητικότητας, με χαμηλή καθυστέρηση και οι οποίοι θα συνεργάζονται με συστήματα που λειτουργούν σε συχνότητες χαμηλότερες των 6-GHz.
- Δίκτυο οπτικών ινών με δυνατότητα να προσφέρει ελαστική κατανομή του εύρους ζώνης σε συνεργασία με προηγμένα παθητικά οπτικά δίκτυα.
- Επίπεδο ελέγχου ικανό να προβλέπει τη ζήτηση της κίνησης στο χρόνο και στο χώρο, καθώς επίσης να αναδιαμορφώνει τα στοιχεία του δικτύου.

Η κοινοπραξία βιομηχανικών και ερευνητικών εταιρών 5G-XHaul με μοναδική εμπειρία και δεξιότητες σε όλους τους τομείς των συστημάτων και δικτύων επικοινωνίας θα δημιουργήσει:

- Ανάπτυξη νέων συγκλινουσών οπτικών / ασύρματων αρχιτεκτονικών και αλγορίθμων διαχείρισης δικτύου για σενάρια περιαγωγής.
- Εισαγωγή προηγμένων πομπών mmWave και οπτικών πομποδεκτών και λειτουργιών ελέγχου.
- Υποστήριξη της ανάπτυξης διεθνών προτύπων μέσω τεχνικών και τεχνολογικών συνεισφορών.

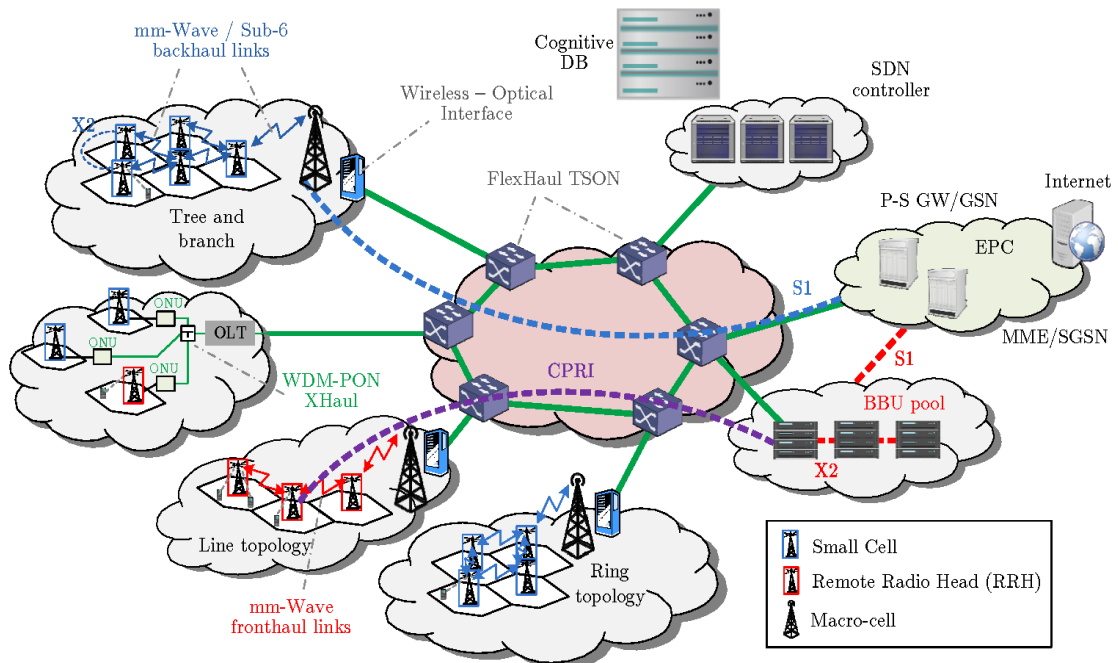
Οι τεχνολογίες 5G-XHaul θα ενσωματωθούν σε μια δοκιμαστική πλατφόρμα σε όλη την πόλη στο Μπρίστολ (Ηνωμένο Βασίλειο). Αυτό θα υποστηρίξει μοναδικά την αξιολόγηση νέων οπτικών και ασύρματων στοιχείων και την απόδοση από άκρο σε άκρο [139]. Το έργο συγχρηματοδοτείται από την ΕΕ μέσω του προγράμματος Horizon 2020 και έχει συνολική διάρκεια 36 μήνες. Συμμετέχουν 12 φορείς από 4 χώρες.

### 6.3 – 5G-ESSENCE



Το 5G ESSENCE εξετάζει τις τεχνολογίες νέφους (cloud edge) και των μικροκυψελών (Small Cell) ως υπηρεσία, με σκοπό την ανάπτυξη τους έως το 2020 και πέραν αυτού ώστε να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην 5G οικοσύστημα. Η 5G ESSENCE προσφέρει μια εξαιρετικά ευέλικτη και κλιμακούμενη πλατφόρμα, ικανή να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ροές εσόδων, δημιουργώντας αγορά υποδοχής και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος παρέχοντας νέες ευκαιρίες ιδιοκτησίας, ανάπτυξης, λειτουργίας και απόσβεσης.

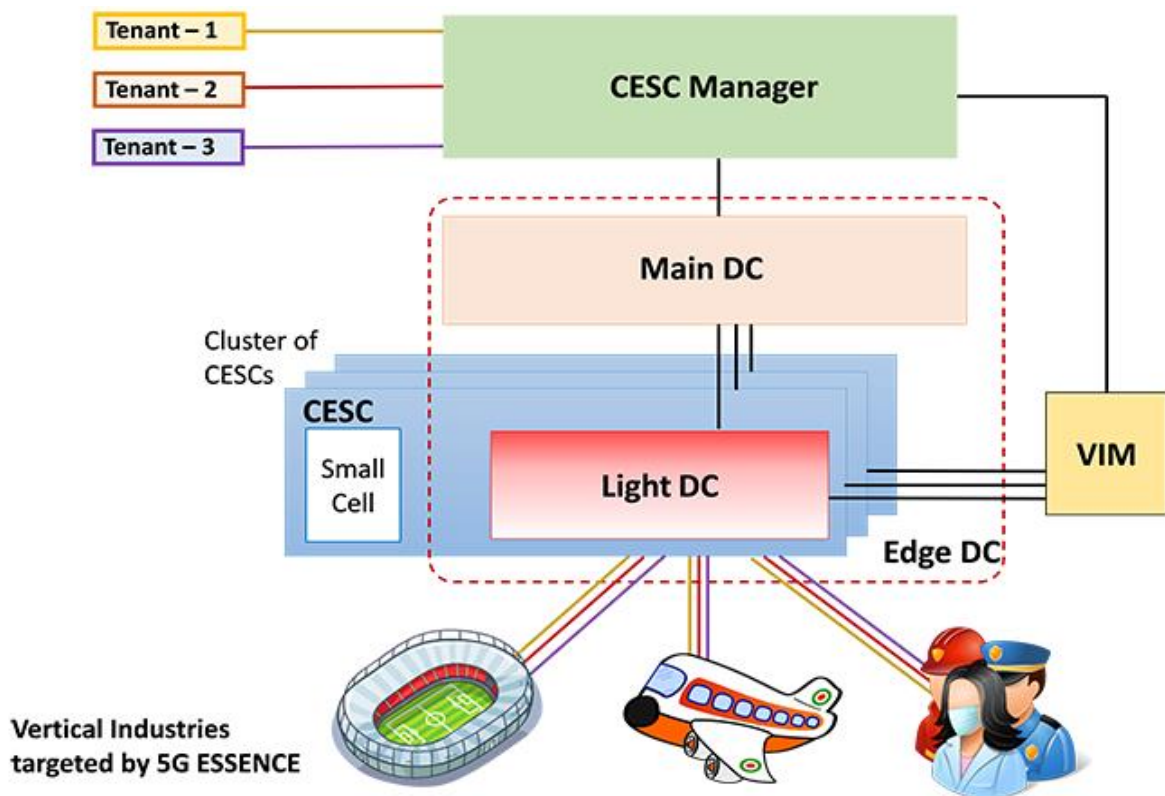
Η τεχνική προσέγγιση εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης των λειτουργιών των microcells καθώς η κλίμακα αναπτύσσεται μέσω ενός περιβάλλοντος νέφους βασισμένου σε μια αρχιτεκτονική δύο επιπέδων:



Εικόνα 40 – Αρχιτεκτονική 5G-XHaul [139]

Μια πρώτη κατανεμημένη βαθμίδα για την παροχή υπηρεσιών χαμηλής καθυστέρησης και μια δεύτερη κεντρική βαθμίδα για την παροχή υψηλής επεξεργαστικής ισχύος για εφαρμογές δικτύου. Αυτό επιτρέπει την αποσύνδεση των επιπέδων ελέγχου και του χρήστη του Δικτύου Πρόσβασης (RAN) και την επίτευξη των πλεονεκτημάτων του Cloud-RAN.

Η χρήση μηχανισμών τερματισμού δικτύων από άκρο σε άκρο θα επιτρέψει την κοινή χρήση της υποδομής 5G ESSENCE μεταξύ πολλών φορέων / κάθετων βιομηχανιών. Στην εικόνα (140) παρουσιάζεται η ευελιξία της αρχιτεκτονικής που ενισχύεται και από τις τεχνικές εικονικοποίησης, τη μείωση της καθυστέρησης και την αποδοτικότητα των πόρων [140].



Εικόνα 41 – Αρχιτεκτονική 5G ESSENCE [140]

## 6.4 – 5GCAR/ Αυτοκινητοβιομηχανία Έρευνα και καινοτομία Πέμπτης Γενιάς



Το 5GCAR συγκεντρώνει την αυτοκινητοβιομηχανία και τη βιομηχανία κινητών επικοινωνιών για να αναπτύξει την καινοτομία στη διασταύρωση των βιομηχανικών τομέων μαζί με την ακαδημαϊκή κοινότητα για να υποστηρίξει μια γρήγορη και επιτυχημένη πορεία προς ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη μελλοντική οδήγηση. Για να διασφαλιστεί αυτό, το 5GCAR προσδιορίζει και αποσαφηνίζει τις περιπτώσεις χρήσης και τις απαιτήσεις για μελλοντικά συνδεδεμένα. Αναλυτικά, οι ανάγκες σε δυνατότητες και λειτουργικότητα για τα επερχόμενα έξυπνα συστήματα μεταφορών και μελλοντική οδήγηση προβλέπεται να είναι:

- πολύ χαμηλές λανθάνουσες περιόδους κάτω από 5 ms.
- με πολύ υψηλή αξιοπιστία (99,999%).
- σε πολύ υψηλές ταχύτητες οχήματος, έως 150 km / h
- Πολύ υψηλή πυκνότητα οχημάτων, την υποστήριξη ενός ευρέος φάσματος υπηρεσιών V2X.

Στόχος του 5GCAR είναι να αναπτύξει τις έννοιες της επικοινωνίας οχήματος με οποιαδήποτε συσκευή (V2X) και να ενσωματωθούν στη συνολική αρχιτεκτονική του 5G [141].

## 6.5 – 5G-City



Η ερευνητική εργασία 5G-City θέλει να εισαγάγει μια νέα ιδέα για έξυπνες πόλεις, μέσω των οποίων οι πάροχοι (δηλ. Οι δήμοι) αναπτύσσουν βασικές υποδομές που στη συνέχεια μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν ή να ενοικιάσουν σε τρίτους.

Η 5G-City ασχολείται με την ανάπτυξη μιας οικονομικοποιημένης πλατφόρμας φιλοξενίας που θα επιτρέψει στα ενδιαφερόμενα μέρη να αναπτύξουν έξυπνες υπηρεσίες πόλης (virtualized city). Για να εξυπηρετήσει το ευρύτερο φάσμα των περιπτώσεων χρήσης και των δυνητικών πελατών, στην ίδια την πλατφόρμα θα αναπτυχθούν εφαρμογές όπως ασύρματη παραγωγή και μετάδοση σε πραγματικό

χρόνο. Επίσης με τη χρήση δικτύου καμερών θα μπορέσει να αποφευχθεί η αποκομιδή σκουπιδιών χωρίς άδεια και η αναγνώριση των υπευθύνων. Η πρόταση του 5GCity έχει ως στόχο να αναπτυχθεί σε τρεις διαφορετικούς δήμους: Βαρκελώνη, Μπρίστολ και Λούκα [142].

## 6.6 – 5G-MEDIA

Στο επίκεντρο της έρευνας του 5G PPP H2020 μέχρι τώρα ήταν σε μεγάλο βαθμό στην απαιτούμενη πρόοδο στις αρχιτεκτονικές δικτύων, τις τεχνολογίες και τις υποδομές. Έχει δοθεί λιγότερη προσοχή στις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που θα αξιοποιήσουν δυνατότητες δικτύου 5G. 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. Από αυτή την άποψη, η 5G-MEDIA επιδιώκει να αξιοποιήσει και να επεκτείνει κατάλληλα τα πολύτιμα αποτελέσματα των 5G έργων που προσφέρουν μια ευέλικτη πλατφόρμα προγραμματισμού, επαλήθευσης και ενορχήστρωσης για υπηρεσίες και μεγάλης κλίμακας αναπτύξεις.

Το 5G-MEDIA θα βασίζεται σε περιπτώσεις διαφόρων απαιτήσεων και ιδιαίτερων χαρακτηριστικών. Η ερευνητική αυτή εργασία θα ασχοληθεί με τη δημιουργία τρισδιάστατων εικόνων και την εικονική πραγματικότητα (VR), την έξυπνη παραγωγή και τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο περιεχομένου από τον χρήστη [143].

## 6.7 – 5G-MonArch



Η αναμενόμενη πολυμορφία των υπηρεσιών, οι περιπτώσεις χρήσης και οι εφαρμογές στο 5G απαιτούν μια ευέλικτη, προσαρμόσιμη και προγραμματιζόμενη

αρχιτεκτονική. Ενώ αυτό έχει αντιμετωπιστεί στη φάση 1 του 5G-PPP σε εννοιολογικό επίπεδο, πρέπει να τεθεί σε εφαρμογή στη φάση 2, λαμβάνοντας υπόψη την πρόοδο στα πρότυπα και την παροχή πειραματικών αποτελεσμάτων. Από αυτή την άποψη, οι κύριοι στόχοι του 5G-MoNArch συνοψίζονται παρακάτω.

- Λεπτομερής προδιαγραφή και επέκταση της αρχιτεκτονικής 5G.
- Επέκταση του υπάρχοντος σχεδιασμού αρχιτεκτονικής με βασικές καινοτομίες
  - Λειτουργικές καινοτομίες για τις βασικές τεχνολογίες που απαιτούνται για τις προσδιορισμένες περιπτώσεις χρήσης.
  - Ανθεκτικότητα και ασφάλεια
  - Ανάπτυξη και πειραματική εφαρμογή της αρχιτεκτονικής σε δύο περιπτώσεις χρήσης. Έξυπνο λιμάνι και τουριστική πόλη.
  - Αξιολόγηση, επικύρωση και επαλήθευση της απόδοσης της αρχιτεκτονικής [144].

## 6.8 – 5G- PICTURE

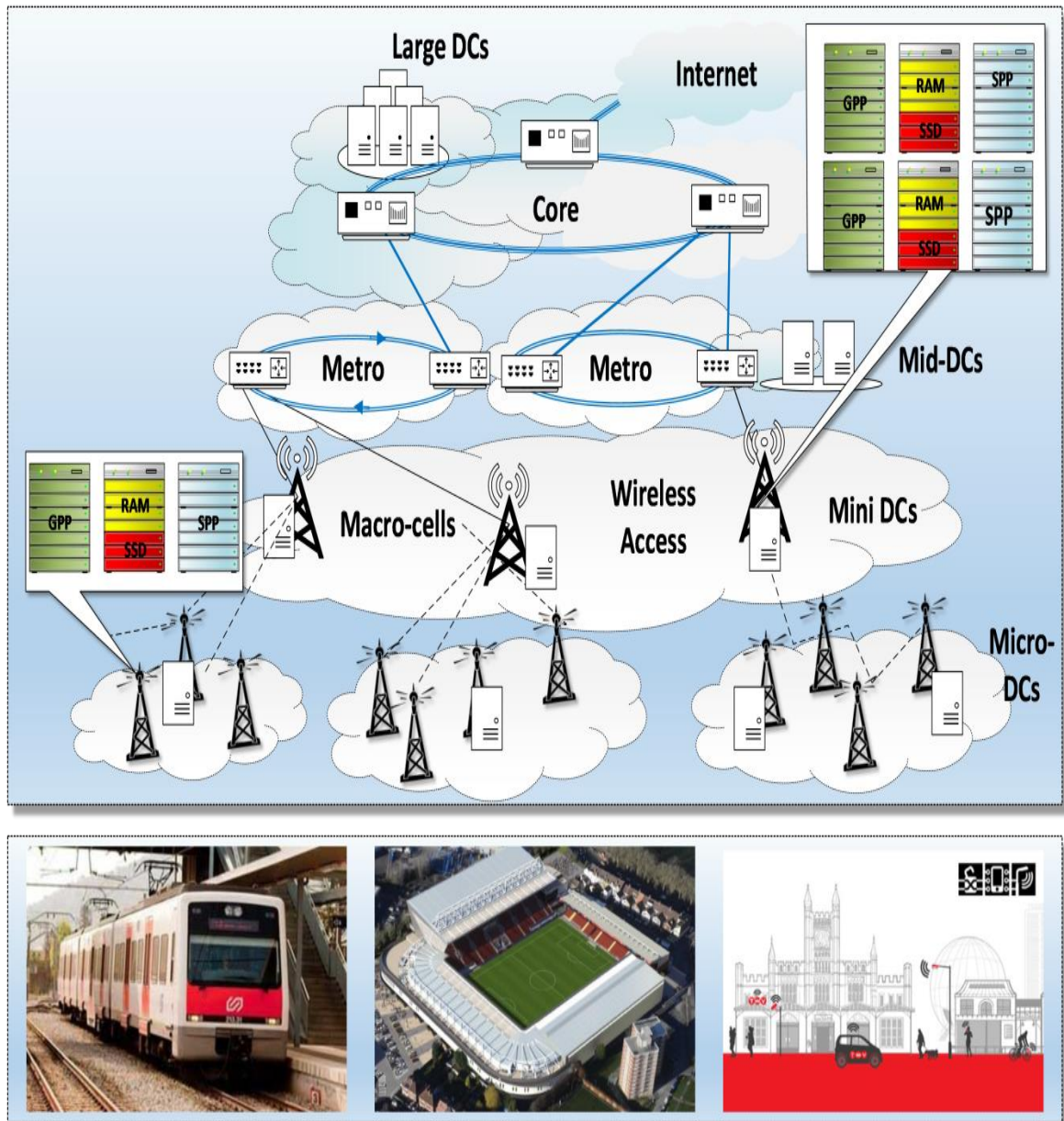


Η 5G-PICTURE θα σχεδιάσει και θα αναπτύξει ένα ολοκληρωμένη, κλιμακούμενη και ανοιχτή υποδομή 5G με στόχο την υποστήριξη των υπηρεσιών τελικού χρήστη τόσο για τις ΤΠΕ όσο και για τις "κάθετες" βιομηχανίες.

Για να επικυρώσετε αυτές τις δυνατότητες, η 5G-PICTURE θα παρουσιάσει τη σύγκλιση υπηρεσιών σε:

- ένα έξυπνο περιβάλλον πόλης,
- μια δοκιμαστική πλατφόρμα πειραματικής σιδηροδρομικής γραμμής 5G η οποία παρουσιάζει απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών και διαχείριση κινητικότητας σε κινούμενα περιβάλλοντα υψηλής ταχύτητας και
- ένα στάδιο με εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα χρηστών, υποστηρίζοντας υπηρεσίες μέσω (εικόνα 42) [145].

Η κοινοπραξία βιομηχανικών και ερευνητικών εταιρών της 5G-PICTURE με μοναδική εμπειρία και δεξιότητες σε όλους τους τομείς των συστημάτων επικοινωνίας και δικτύων επικοινωνίας. Στην εικόνα 42 [145] παρουσιάζεται η πρόταση της ερευνητικής εργασίας για μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική 5G.



Εικόνα 42 – Αρχιτεκτονική 5G PICTURE [145]

## 6.9 – 5G Transformer



Το 5G-Transformer στοχεύει στη μετατροπή του σημερινού δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε πλατφόρμα που βασίζεται σε SDN / NFV στις ειδικές ανάγκες των κάθετων βιομηχανιών.

Ο στόχος του 5G-Transformer είναι να σχεδιάσει, να υλοποιήσει και επιδείξει μια πλατφόρμα 5G που αντιμετωπίζει τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Το project θα ασχοληθεί με διάφορες περιπτώσεις χρήσης. Η αυτόνομη οδήγηση, η ηλεκτρονική υγεία, τα μέσα προβολής και η διασκέδαση είναι εφαρμογές που μπορεί να καλύψει η πλατφόρμα του Project.

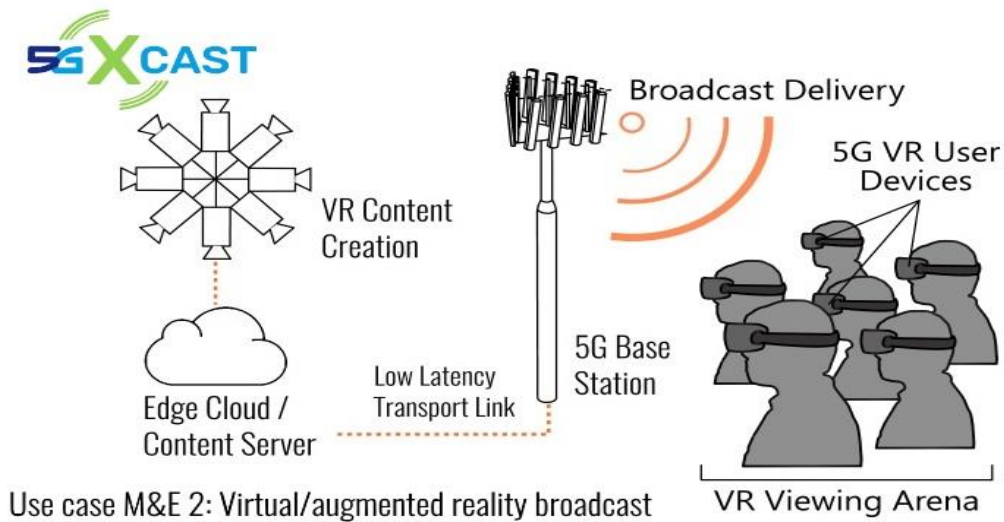
Το έργο 5G-TRANSFORMER είναι μια φιλόδοξη πρωτοβουλία που σίγουρα θα έχει ισχυρό αντίκτυπο στη βιομηχανία. Στην πραγματικότητα, το σχέδιο υλοποιεί ένα σχέδιο επικοινωνίας, διάδοσης και εκμετάλλευσης για να μεγιστοποιήσει τον αντίκτυπό του, το οποίο περιλαμβάνει προϊόντα και πρότυπα (π.χ. ETSI, IETF και ONF). Ως εκ τούτου, η καινοτομία στη διαχείριση αποτελεί επίσης βασικό στοιχείο. [146].

## 6.10 – 5G-Xcast



Η ερευνητική εργασία θα ασχοληθεί την ευρεία ζώνη υψηλής χωρητικότητας, μαζί με χαμηλό κόστος για τον καταναλωτή, μέσα στην επόμενη δεκαετία. Το 5G-Xcast θα σχεδιάσει, θα εκτιμήσει και θα επιδείξει μια εννοιολογικά καινοτόμο και προσανατολισμένη προς το μέλλον αρχιτεκτονική δικτύου για το 5G με βάση τις περιπτώσεις χρήσης μέσων, ψυχαγωγίας, αυτοκινητοβιομηχανίας, IoT. Το 5G-Xcast θα είναι το πρώτο έργο 5G-PPP που θα επικεντρωθεί στην υλοποίηση του multicast / broadcast ως κρίσιμο στοιχείο της τεχνολογίας στα συστήματα 5G επιπλέον και ως συμπλήρωμα του unicast. Οι τεχνολογίες 5G-Xcast θα είναι επίσης θεμελιώδεις για την πρόοδο προς το όραμα μιας συγκλίνουσας υποδομής 5G για σταθερές και κινητές προσβάσεις, στο οπτικοακουστικό περιεχόμενο των μέσων. Το έργο θα υιοθετήσει μια ολιστική προσέγγιση για την εναρμόνιση της παράδοσης των μέσων ενημέρωσης και την παροχή μιας βελτιστοποιημένης και απρόσκοπτης εμπειρίας χρηστών πολυμέσων [147].





Εικόνα 43 – Αρχιτεκτονική 5G XCAST [147]

## 6.11 – IoRL (Internet of Radio Light)



Τα ασύρματα δίκτυα σε κτίρια υποφέρουν από συμφόρηση, παρεμβολές, ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την ασφάλεια, περιορισμένη διάδοση και κακή ακρίβεια τοποθεσίας στο εσωτερικό. Το έργο Internet of Radio-Light (IoRL) αναπτύσσει ένα ασφαλέστερο, προσαρμόσιμο και έξυπνο δίκτυο κτιρίων, το οποίο παρέχει αξιόπιστα αυξημένη απόδοση (άνω των 10Gbps) από σημεία πρόσβασης που βρίσκονται παντού μέσα στα κτίρια, ελαχιστοποιώντας τις παρεμβολές και την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ακρίβεια μικρότερη από 10 cm.

Το έργο IoRL παρέχει λύσεις στα δύο βασικά εμπόδια για την ανάπτυξη αυτής της λύσης ευρυζωνικής δικτύωσης στα κτίρια, διότι:

(i) φέρνει σε επαφή μια ομάδα ερευνητικών ιδρυμάτων και βιομηχανιών σε ένα συνεργατικό σχέδιο για την ανάπτυξη και επίδειξη αυτού του οράματος.

(ii) Αναπτύσσει μια απόδειξη της έννοιας, η οποία θα αποτελέσει τη βάση για την τυποποίηση μιας παγκόσμιας λύσης.

Το σημείο εκκίνησης είναι ο διαδηλωτής επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC) στο Πανεπιστήμιο Tsinghua & ISEP, το mmWave στο Cobham Wireless και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύωσης και δικτυακών λειτουργιών (SDN / NFV) στο NCSR Demokritos. Οι προκλήσεις είναι:

(i) Ανάπτυξη λύσεων ευρυζωνικής επικοινωνίας για τα κτίρια με την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών ώστε να εκμεταλλευτεί τη διαπερατότητα και την προσβασιμότητα των υφιστάμενων σημείων πρόσβασης ηλεκτρικού φωτός, τις ευρυζωνικές ικανότητες των τεχνολογιών επικοινωνίας mmWave και ορατού φωτισμού (VLC) και την ευελιξία των λειτουργιών δικτύωσης και δικτύου εικονικοποίηση (SDN / NFV).

(ii) Σχεδιάση βιομηχανικών λύσεων ραδιοφωτισμού που μπορεί να ενσωματωθεί στα υπάρχοντα ηλεκτρικά συστήματα φωτισμού και των καταναλωτικών προϊόντων [148].

## 6.12 – MATILDA



Το όραμα της MATILDA είναι να σχεδιάσει και να εφαρμόσει ένα ολιστικό επιχειρησιακό πλαίσιο υπηρεσιών 5G από άκρο σε άκρο, το οποίο θα ασχολείται με τον κύκλο ζωής του σχεδιασμού, ανάπτυξης εφαρμογών 5G και υπηρεσιών δικτύου 5G μέσω προγραμματιζόμενης υποδομής δικτύων, ακολουθώντας ένα ενιαίο μοντέλο προγραμματισμού και ένα σύνολο των αφαίρεσης ελέγχου.

Το project αναμένεται να ασχοληθεί με μια πληθώρα περιπτώσεων χρήσης όπως και να προτείνει λύσεις σε:

- 5G Υποδομές και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.
- Έξυπνες πόλεις και ευφυή συστήματα φωτισμού.
- Απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση των ηλεκτρικών συστημάτων των αυτοκινήτων.
- Βιομηχανία 4.0 «Έξυπνο εργοστάσιο».



3. μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών (Capital Expenditure-CAPEX) 10% και μειώσεις των λειτουργικών εξόδων (OPEX) τουλάχιστον κατά 20%.

Ο αντίκτυπος του έργου πρέπει να γίνεται αισθητός σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η Ευρώπη έχει μερικούς μεγάλους προμηθευτές, οι οποίοι μπορούν να ξεκινήσουν τα σχέδιά τους για την υποστήριξη της 5G, με βάση την τεχνογνωσία MetroHaul [150].

#### 6.14 – NRG-5 / Enabling Smart Energy as a Service via 5G Mobile Network advances



Το έργο NRG-5 στοχεύει να συνεισφέρει στην Πρωτοβουλία Έρευνας και Ανάπτυξης 5G και να συμμετάσχει στις σχετικές ομάδες εργασίας 5G, παρέχοντας ένα νέο συμβατό, ασφαλές και ανθεκτικό πλαίσιο, ικανό να διαχειρίζεται όλων των ειδών τις ηλεκτρικές συσκευές και να υπολογίζει τους πόρους δημιουργώντας εικονικές υπηρεσίες μέσω υποδομών επικοινωνιών και ενέργειας.

Στόχος του έργου είναι να διευκολύνει, να διασφαλίσει ασφαλέστερη, και ανθεκτικότερη την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη διαχείριση των υφιστάμενων υποδομών αλλά και των νέων ενεργειακών υποδομών (στο πλαίσιο του Smart Energy-as-a-Service) από επιχειρησιακή και οικονομική άποψη. Επιπλέον, η NRG-5 θα διερευνήσει την εκτεταμένη μοντελοποίηση και εικονικοποίηση των ενεργειακών υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε συνδυασμό με την νέα τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις, οι πολιτικές και η απελευθέρωση της αγοράς μετασχηματίζουν το ενεργειακό δίκτυο από μια κλειστή και εξαιρετικά προβλέψιμη υποδομή σε ένα ανοικτό, πολυδύναμο, αποκεντρωμένο οικοσύστημα, δημιουργώντας τεράστιες προκλήσεις.

Σε αυτό το νέο και διαφορετικό ενεργειακό τοπίο, η πρωτοβουλία NRG-5 και του 5G θέλει να εγγυηθεί την καλύτερη επικοινωνία του ενεργειακού δικτύου, το οποίο πιστεύεται ότι είναι η πιο πολύπλοκη, ετερογενής και γιγαντιαία μηχανή που έγινε

ποτέ στην ανθρώπινη ιστορία . Το NRG-5 εξισορροπεί την καινοτομία και την ανάπτυξη ενεργειών, εκθέτοντας ταυτόχρονα συγκεκριμένες και στοχοθετημένες δραστηριότητες διάδοσης, επικοινωνίας και τυποποίησης [151].

### 6.15 – SLICENET



Η SLICENET θα μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των υποδομών 5G και των υπηρεσιών τους βασισμένες δίκτυα καθοριζόμενα από το λογισμικό και διαχείριση δικτύων με κοινή χρήση των υποδομών σε δίκτυα 5G με δυνατότητα SDN / NFV.

Για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων 5G, η SLICENET θα επιτρέψει ένα πραγματικά ολοκληρωμένο παράδειγμα διαδικτυακής διαχείρισης δικτύου. Για τους παρόχους υπηρεσιών και τους χρήστες 5G, η SLICENET θα επιτύχει σημαντικά υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών προς την εγγύηση της καλής ποιότητας μέσω του έξυπνου σχεδιασμού που βασίζεται στο QoE. Για επιχειρήσεις 5G, η SLICENET θα τους διευκολύνει να χρησιμοποιούν υπηρεσίες 5G με πολύ γρήγορο και αποδοτικό τρόπο μέσω μιας προσέγγισης "one-stop shop" [152].

### 6.16 – To-Euro-5G

Το έργο To-Euro-5G έχει πρωταρχικό στόχο για την υποστήριξη των ενεργειών της Ευρωπαϊκής Πρωτοβουλίας 5G κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης του 5G PPP από τον Ιούνιο του 2017 έως τον Ιούνιο του 2019. Το-Euro-5G έργο θα διευκολύνει τη νέα ομάδα εργασίας δοκιμών, η οποία ξεκίνησε από την 5G IA στο 5G PPP το Σεπτέμβριο του 2016.

Το σχέδιο To-Euro-5G έχει επίσης τη φιλοδοξία να διασφαλίσει ότι η Ευρώπη, μέσω των κάθετων τομέων, θα μπορεί να απολαμβάνει τα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που τα μελλοντικά δίκτυα 5G μπορούν να προσφέρουν [153].

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ερευνητικά προγράμματα της φάσης 2 του 5GPPP [154].

Πίνακας 4 –Πίνακας Ερευνητικών Προγραμμάτων Φάση 2 5GPPP [154]

<b>Ερευνητική Εργασία</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Διάρκεια</b>
5GESSENCE	Ενσωματωμένες υπηρεσίες δικτύου για 5G	1/6/2017 30 μήνες
5Gcar	Αυτοκινητοβιομηχανία Έρευνα και καινοτομία Επικοινωνία Πέμπτης Γενιάς	1/6/2017 24 μήνες
5GCity	5GCity	1/6/2017 30 μήνες
5GMEDIA	Προγραμματιζόμενη εικονικοποιημένη υπηρεσία νέφους για την βιομηχανία των MEDIA	1/6/2017 30 μήνες
5G-MONARCH	5G Αρχιτεκτονική δικτύου για ποικίλες υπηρεσίες, περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές 5G	1/6/2017 24 μήνες
5Gphos	5G ενσωματωμένα δίκτυα Fiber-Wireless που εκμεταλλεύονται υπάρχουσες τεχνολογίες για αρχιτεκτονικές δικτύου υψηλής πυκνότητας	1/9/2017 36 μήνες
5G-PICTURE	5G-PICTURE	1/6/2017 30 μήνες
5Gtango	5G πλατφόρμα ανάπτυξης και επικύρωσης για παγκόσμιες υπηρεσίες και εφαρμογές δικτύου	1/6/2017 30 μήνες
5GTRANSFORMER	Πλατφόρμα 5G για ανάπτυξη μεταφορών	1/6/2017 30 μήνες
5GXCAST	Δυνατότητες επικοινωνίας εκπομπής για την πέμπτη γενιά ασύρματων συστημάτων	1/6/2017 24 μήνες
5GblueSPACE	5G Υποδομές και Παρουσίαση προηγμένων τεχνολογιών και δυνατοτήτων δικτύωσης	1/6/2017 36 μήνες
IoRL	Internet of Radio Light	1/6/2017 36 μήνες
MATILDA	Καινοτομία για την σχεδίαση, ανάπτυξη και συναρμολόγηση εφαρμογών 5G	1/6/2017 30 μήνες
MetroHaul	Μεγάλο εύρος ζώνης, 5G Οπτικό δίκτυο με γνώση εφαρμογών, υπολογισμός και χαμηλή καθυστέρηση	1/6/2017 36 μήνες
NGraas	Πλατφόρμα επόμενης γενιάς ως υπηρεσία	1/6/2017 24 μήνες

Ερευνητική Εργασία	Περιγραφή	Διάρκεια
NRG5	Ενεργοποίηση της έξυπνης ενέργειας ως υπηρεσίας μέσω 5G	1/6/2017 30 μήνες
One5G	Ενημερώσεις E2E και βελτιώσεις για το Edge Network του 5G New Radio	1/6/2017 24 μήνες
SAT5G	Δορυφορικό και επίγειο δίκτυο για 5G	1 June 2017 30 μήνες
SLICENET	End-to-End Διασύνδεση Δικτύου και Πλαίσιο Διαχείρισης Slice σε Εικονικοποιημένα Δίκτυα 5G Multi-Domain και Multi-Tenant	1/6/2017 36 μήνες
Global5G	Παγκόσμιο όραμα, τυποποίηση και εμπλοκή με τα ενδιαφερόμενα μέρη στο 5G	1 June 2017 30 μήνες
TO-EURO-5G	Υποστήριξη της 5G-PPP	1/6/2017 30 μήνες

## 6.17 – 5G EVE



5G EVE

Η φιλοδοξία του 5G-EVE είναι να δημιουργήσει τα θεμέλια για μια διαδεδομένη ανάπτυξη δικτύων 5G στην Ευρώπη. Το 5G-EVE υποστηρίζει αυτή τη μετάβαση προσφέροντας σε κάθετες βιομηχανίες και σε όλες τις εγκαταστάσεις έργων 5GPPP για να επικυρώσουν τους απαιτήσεις δικτύου και τις υπηρεσίες τους.

Η τελική εγκατάσταση 5G-EVE αποτελείται από τη διασύνδεση τεσσάρων εγκαταστάσεων 5G (Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα), οι οποίες έχουν επιλεγεί λόγω της σημαντικής προηγούμενης εργασίας τους με κάθετες βιομηχανίες και φορείς τυποποίησης και την τεχνογνωσία τους στο 5G. Το 5G-EVE στοχεύει στη δημιουργία συνεργασιών μεταξύ ενός σημαντικού αριθμού εγκαταστάσεων που θα ενισχύσουν την ανάπτυξη δοκιμών για την ολοκληρώσει το 5G [155].

## 6.18 – 5G-VINNI

Η 5G-VINNI θα επιταχύνει την απορρόφηση των 5G στην Ευρώπη παρέχοντας ένα εργαλείο από άκρο σε άκρο (E2E) που επικυρώνει 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:

- Σχεδιάσει μια εξελιγμένη και προσβάσιμη εγκατάσταση 5G
- Κατασκευάσει αρκετές τοποθεσίες διασύνδεσης της εγκατάστασης 5G-VINNI
- Παρέχει φιλική προς το χρήστη λειτουργίες και συστήματα διαχείρισης για τη μονάδα 5G-VINNI.
- Ανάπτυξη ενός βιώσιμου μοντέλου επιχειρήσεων και οικοσυστήματος για τη στήριξη της ζωής της εγκατάστασης 5G-VINNI κατά τη διάρκεια και πέρα από το χρονικό διάστημα του έργου.
- Να δείξει την αξία των λύσεων 5G στην κοινότητα 5G, ιδιαίτερα στα σχετικά πρότυπα και τις κοινότητες ανοιχτού κώδικα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευρεία υιοθέτηση αυτών των λύσεων [156].

## 6.19 – 5GENESIS

Το "5GENESIS " έχει εισέλθει στη κρίσιμη φάση του πειραματισμού και επί του παρόντος αντιμετωπίζει την πρόκληση να επικυρώσει τους KPI δικτύου 5G και να επαληθεύσει τις τεχνολογίες 5G με μια προσέγγιση από άκρο σε άκρο. Μια βασική πρόκληση είναι να ενσωματωθούν όλα τα πολύ διαφορετικά αποτελέσματα και οι τεχνολογίες από τα ευρωπαϊκά, παγκόσμια και εσωτερικά (εταιρικά) σχέδια να και να αποκαλυφθούν οι δυνατότητες μιας πραγματικά πλήρους πλατφόρμας 5G, ικανή να εκπληρώσει τους καθορισμένους δείκτες απόδοσης.

Στο πλαίσιο αυτό, ο κύριος στόχος του 5GENESIS θα είναι η επικύρωση των 5G KPI για διάφορες περιπτώσεις χρήσης 5G, τόσο σε ελεγχόμενες εγκαταστάσεις όσο και σε δοκιμές μεγάλης κλίμακας. Αυτό θα επιτευχθεί με τη συγκέντρωση αποτελεσμάτων από ένα σημαντικό αριθμό σχεδίων της ΕΕ, καθώς και από τις



εσωτερικές δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης των εταιρών, προκειμένου να υλοποιηθεί μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική 5G.

Η ερευνητική εργασία 5GENESIS έχει ως στόχο την:

1. Εφαρμογή και επαλήθευση όλων των εξελίξεων του προτύπου 5G.
2. Να χρησιμοποιήσει μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών και καινοτομιών.
3. Ενοποίηση ετερογενών στοιχείων δικτύου σε ένα κοινό πλαίσιο (framework).
4. Υποστήριξη περαιτέρω έργων πειραματισμού, ιδίως αυτών που επικεντρώνονται στις κάθετες αγορές [157].

### **6.17 – Επίλογος κεφαλαίου**

Η σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα 5G (5G PPP) στο πλαίσιο του προγράμματος Ορίζοντας 2020 (HORIZON 2020) της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι το μεγαλύτερο ερευνητικό πρόγραμμα 5G στον κόσμο. Η έρευνα στο 5G PPP έχει ένα πολύ ευρύ πεδίο που υπερβαίνει τις κλασσικές τηλεπικοινωνίες. Η προώθηση ερευνητικών προγραμμάτων έχει ως στόχο να αναδείξει την Ευρώπη πρωτοπόρο στην ανάπτυξη της Πέμπτης Γενιάς Τηλεπικοινωνιών (5G).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα (ή μελλοντικές επεκτάσεις)**

### **7.1 – Ανασκόπηση**

Στα παραπάνω κεφάλαια έγινε μια προσπάθεια καταγραφής του συνόλου των δραστηριοτήτων για την εξέλιξη της τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών Πέμπτης Γενιάς. Ξεκινώντας από τις τεχνολογίες και την αρχιτεκτονική που θα δώσουν το έναυσμα για την εξέλιξη και συνεχίζοντας στους τομείς που θα επηρεάσουν οι περιπτώσεις χρήσης του 5G. Καταγράφηκαν οι διαδικασίες προτυποποίησης από διάφορους φορείς παγκοσμίως και αναφέρθηκαν οι πρώιμες δοκιμές που γίνονται ή σχεδιάζονται να πραγματοποιηθούν. Τέλος παρουσιάστηκαν οι εργασίες που έχουν εγκριθεί και χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή επιτροπή αρμόδια για την διεύθυνση και εξέλιξη του 5G στην Ευρώπη.

### **7.2 – Συμπεράσματα (και προτάσεις)**

Η Πέμπτη Γενιά των τηλεπικοινωνιών (5G) δεν θα είναι μόνο μια εξέλιξη των ευρυζωνικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Θα προσφέρει νέες μοναδικές δυνατότητες δικτύου και υπηρεσιών. Αρχικά θα βελτιώσει την εμπειρία των χρηστών όσον αφορά τη χρήση του Διαδικτύου αλλά θα δώσει και το έναυσμα για νέες εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης. Επιπλέον, το 5G θα αποτελέσει βασικό παράγοντα για το Διαδίκτυο των πραγμάτων, παρέχοντας μια πλατφόρμα για να συνδέσει έναν τεράστιο αριθμό αισθητήρων, συσκευών απόδοσης με αυστηρούς περιορισμούς ενέργειας και μετάδοσης. Πολλοί κλάδοι της βιομηχανίας, της ενέργειας, της υγείας θα ωφεληθούν από τη χρήση των νέων ασύρματων και διαδικτυακών τεχνολογιών. Οι βιομηχανίες αναγνωρίζουν ότι η υιοθέτηση έξυπνων συνδεδεμένων συστημάτων που χρησιμοποιούν τεχνολογία 5G δεν θα είναι προαιρετική αλλά μάλλον μια λύση απαραίτητη για την κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων των ανταγωνιστικών αγορών.

### 7.3 – Μελλοντική έρευνα (ή Μελλοντικές επεκτάσεις)

Την επόμενη δεκαετία θα υπάρξουν ραγδαίες αλλαγές στις τεχνολογίες που αφορούν νέους τύπους συσκευών, συστήματα και λειτουργίες που εκτελούν. Οι νέες εφαρμογές θα έχουν ποικίλες απαιτήσεις, , άμεση παράδοση και κίνηση δεδομένων, απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, ανθρωποειδή ρομπότ, μικροσκοπικά τερματικά IoT, πλήρως αυτόνομα συστήματα μεταφοράς και πολλά άλλα. Όλα θα είναι είτε συνδεδεμένα είτε εξοπλισμένα με ευφυΐα, συχνά και τα δύο, τα οποία παρέχουν ακόμη πιο στενή ενσωμάτωση της επικοινωνίας και της τεχνολογίας με την ανθρώπινη ζωή. Η μαζική υιοθέτηση αυτών των νέων εφαρμογών εξαρτάται από το πόσο καλά υποστηρίζονται οι υποκείμενες επικοινωνίες στα ενιαία δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι θα απαιτηθεί η ανάπτυξη μιας νέας αρχιτεκτονικής ικανής να ικανοποιήσει τις νέες απαιτήσεις.

Ήδη έχουν ξεκινήσει νέες ομάδες που προτείνουν τα δίκτυα της επόμενης γενιάς. Ο όρος Tactile internet επινοήθηκε από τον Καθηγητή Gerhard Fettweis, μεταφράζεται σαν το διαδίκτυο της Αφής. Πολύ χαμηλή καθυστέρηση κάτω του 1ms, υψηλή αξιοπιστία και η ασφάλεια είναι τα χαρακτηριστικά που ορίζουν το tactile Internet. Η ποικιλία των εφαρμογών και οι τομείς που θα επηρεάσει το καθιστούν σημαντικό τομέα έρευνας. Πλήρως αυτόνομη οδήγηση, απομακρυσμένη ρομποτική χειρουργική επέμβαση, δημιουργία και προβολή περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο, έξυπνα διαχειρισμένα δίκτυα ενέργειας, ασύρματες ρομποτικές εγκαταστάσεις στη βιομηχανία είναι απλώς μερικές από τις καινοτομίες που προτείνει το Tactile Internet.

Επίσης η ITU ήδη σύστησε την Ομάδα Εστίασης Δίκτυο 2030 (FG-NET-2030) [158], σκοπεύει να μελετήσει τις δυνατότητες των μελλοντικών δικτύων περίπου κατά την περίοδο 2025-2035. Η μελέτη στοχεύει να απαντήσει σε συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικά με το είδος της αρχιτεκτονικής δικτύου και τους μηχανισμούς που είναι κατάλληλοι για τέτοιου είδους καινοτόμα σενάρια. Το μελλοντικό δίκτυο το οποίο ονομάζεται Network-2030, θα πραγματοποιηθεί με την διερεύνηση μηχανισμών επικοινωνίας που δεν περιορίζονται μόνο στις υπάρχουσες έννοιες από συγκεκριμένες τεχνολογίες στις μέρες μας. Θα βασιστεί σε ένα νέο επίπεδο δικτύου ή νέα αρχιτεκτονική δικτύου για τη μεταφορά πληροφοριών με τρόπο που

μπορεί να είναι μια εξέλιξη και βελτίωση των υφιστάμενων δικτύων ή αρκετά διαφορετική από αυτή. Η FG-NET-2030, ως πλατφόρμα για τη μελέτη και την προώθηση διεθνών τεχνολογιών δικτύωσης, θα διερευνήσει τη μελλοντική δομή του δικτύου, τις απαιτήσεις, τις περιπτώσεις χρήσης και τις δυνατότητες του τα δίκτυα για το 2030 και αργότερα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. U. Gawas, "An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G," International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, Vol.3, Issue.5, pp. 3130-3133, May 2015.
- [2] R. N. Mitra and D. P. Agrawal, "5G Mobile Technology: A Survey," ICT Express, Vol.1, Issue.3, pp. 132-137, Dec 2015.
- [3] N. A. Falahy, O. Y. Alani, "Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities," IT Professional, Vol.19, Issue.1, pp.12-20, Jan-Feb 2017
- [4] P. Sharma, "Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network," IJCSMC, Vol.2, Issue.8, pp. 47-53, August 2013.
- [5] M. Dahiya, "5G - Upcoming of Mobile Wireless Communication", International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering, vol. 4, no. 3, pp. 7-9, 2017.
- [6] S. Hossain, "5G Wireless Communication Systems," American Journal of Engineering Research, Vol.2, Issue.10, pp. 344-353, 2013.
- [7] Prof. Prashant S.Wankhade Ganesh R. Patil], "5G WIRELESS TECHNOLOGY", International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol. 3, Issue. 10, October 2014, pg.203 – 207.
- [8] O. FAGBOHUN, "Comparative studies on 3G,4G and 5G wireless technology", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 133-139, 2014

- [9] C. Dan, "Review of Generations and Physics of Cellphone Technology", *International Journal of Information Science*, no. 41, pp. 1-7, 2014.
- [10] M. Shafi, A. Molisch, P. Smith, T. Haustein, P. Zhu, P. De Silva, F. Tufvesson, A. Benjebbour and G. Wunder, "5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, 2017.
- [11] TR 38.804, Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects, Rel-14
- [12] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Veríssimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky and S. Uhlig, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, Jan. 2015.
- [13] V. Nguyen, A. Brunstrom, K. Grinnemo and J. Taheri, "SDN/NFV-Based Mobile Packet Core Network Architectures: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1567-1602, thirdquarter 2017.
- [14] T. Taleb, K. Samdanis, B. Mada, H. Flinck, S. Dutta and D. Sabella, "On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1657-1681, thirdquarter 2017
- [15] Niu, Y., Li, Y., Jin, D., Su, L. and Vasilakos, A. 2015. A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges. *Wireless Networks*. 21, 8 (2015), 2657-2676.
- [16] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 186-195, February 2014.

[17] 5. guides and W. Technology?, "What Is Massive MIMO Technology?", 5g.co.uk, 2018. [Online]. Available: <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>. [Accessed: 10- Sep- 2018].

[18] NGMN, "5G white paper," 2015. [Online]. Available: [https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf). Accessed: Dec. 3, 2017

[19] 3GPP TS 23.501 – System Architecture for the 5G System; Stage 2.

[20] H. Zhang, N. Liu, X. Chu, K. Long, A. Aghvami and V. C. M. Leung, "Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 8, pp. 138-145, 2017.

[21] GPP TS 23.502 – Procedures for the 5G System; Stage 2..

[22] F. Mademann, "The 5G System Architecture", Journal of ICT Standardization, vol. 6, no. 1, pp. 77-86, 2018.

[23] 3GPP TS 23.503 – Policy and Charging Control Framework for the 5G System; Stage 2.

[24] The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development - GSA", GSA, 2018. [Online]. Available: <https://gsacom.com/paper/the-road-to-5g-drivers-applications-requirements-and-technical-development/>. [Accessed: 10- Sep- 2018].

[25] W. Xiang, K. Zheng and X. Shen, 5G Mobile Communications. Switzerland: Springer, 2017.

[26] The Top 5G Use Cases — SDxCentral.com", SDxCentral, 2018. [Online]. Available: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/top-5g-use-cases/>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[27] "Connect the Dots: Massive, 5G Readies to Take Low-Latency IoT Mainstream", IOT Solution Provider, 2018. [Online]. Available: <https://www.iotsolutionprovider.com/industrial/connect-the-dots-massive-5g-readies-to-take-low-latency-iot-mainstream>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[28] NOKIA, "5G use cases and requirements," 2016. [Online]. Available: <http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200010>. Accessed: Accessed: 11-Sep- 2018.

[29] "The critical role of 5G transforming digital healthcare | Why its decisive..", Dr. Hempel Digital Health Network, 2018. [Online]. Available: <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technology/5g-transforming-digital-healthcare/>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[30] D. M. West, "How 5G technology enables the health internet of things," 2016. [Online]. Available: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/07/How-5G-tech-enables-health-iot-west.pdf>. Accessed 11- Sep- 2018.

[31] "5G and e-health 1 Socio-economic drivers of e-health in horizon 2020," 2015. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/5G-PPP-White-Paper-on-eHealth-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[32] Fantastic-5G, "Use cases, KPIs and requirements," 2015. [Online]. Available: [http://fantastic5g.eu/wp-content/uploads/2016/01/FANTASTIC-5G\\_IR2-1\\_final.pdf](http://fantastic5g.eu/wp-content/uploads/2016/01/FANTASTIC-5G_IR2-1_final.pdf). Accessed 11- Sep- 2018.

[33] R. Gray, "Federal Proposal for Connected Vehicles Signals School Bus 'Sea Change'", Stnonline.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.stnonline.com/news/latest-news/item/8193-federal-connected-vehicle-proposal-signals-school-bus-sea-change>. [Accessed: 11- Sep- 2018].



[34] "5G automotive vision," 2015. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Automotive-Vertical-Sectors.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[35] ITU, "5G and Automative : Cellular V2X (vehicle-to-everything)", Slideshare.net, 2018. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/ITU/5g-and-automotive-cellular-v2x-vehicletoeverything>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[36] AT4 wireless, "Deliverable D2.1 initial report on the testing scenarios, requirements and use cases," 2016. [Online]. Available: [http://www.triangle-project.eu/wpcontent/uploads/2016/10/TRIANGLE\\_Deliverable\\_D2-1-v1.0.pdf](http://www.triangle-project.eu/wpcontent/uploads/2016/10/TRIANGLE_Deliverable_D2-1-v1.0.pdf). Accessed: Dec. 3, 2016.

[37] "Forbes: Smart Grid Dreams Fading Without Congressional Support", Technocracy News, 2018. [Online]. Available: <https://www.technocracy.news/smart-grid-dreams-fading-without-congressional-support/>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[38] "5G and energy," 2015. [Online]. Available: [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White\\_Paper-on-Energy-Vertical-Sector.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White_Paper-on-Energy-Vertical-Sector.pdf). Accessed: 11- Sep- 2018  
METIS, "Updated scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations," May 2015. [Online]. Available: [https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS\\_D1.5\\_v1.pdf](https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D1.5_v1.pdf). Accessed: Dec. 4, 2016.

[39] M. Brettel, N. Friederichsen, M. Keller and M. Rosenberg, "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective", Waset.org, 2018. [Online]. Available: <http://waset.org/publication/How-Virtualization,-Decentralization-and-Network-Building-Change-the-Manufacturing-Landscape:-An-Industry-4.0-Perspective/9997144>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[40] Industry 4.0", En.wikipedia.org, 2018. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_4.0](https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0). [Accessed: 11- Sep- 2018].

[41] 5GPPP, "5G and the factories of the future," 2015. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[42] METIS, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system," 2014. [Online]. Available: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/317669/080/deliverables/001-METISD11v1pdf.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[43] 5GPPP, "5G and media & entertainment Whitepaper," 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/5G-PPP-White-Paper-on-Media-Entertainment-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018

[44] G. Contributor, "What are Standards? Why are They Important?", Beyond Standards, 2018. [Online]. Available: <https://beyondstandards.ieee.org/general-news/what-are-standards-why-are-they-important/>. [Accessed: 15- Sep- 2018

[45] Samsung, "Who & How: Making 5G NR Standards," 2015. [Online]. Available [https://www.samsung.com/global/business/networks/insights/white-paper/who-and-how\\_making-5g-nr-standards](https://www.samsung.com/global/business/networks/insights/white-paper/who-and-how_making-5g-nr-standards). Accessed: Sep 13, 2017

[46] P. Grindley, E. Sherry and D. Teece, "Standards of Today – Innovation and Interoperability", Tucher Center, University of California, 2018.

[47] "ITU: Committed to connecting the world", Itu.int, 2018. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/pages/default.aspx>. [Accessed: 23- Sep- 2018].

[48] Itu.int, 2018. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/Anticipated-Time-Schedule.pdf>. Accessed: 15- Sep- 2018

[49] .International Telecommunications Union Radio (ITU-R), "Future technology trends of terrestrial IMT systems", Report ITU-R M.2320, November 2014, [www.itu.int/pub/R-REP-M.2320](http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2320)

[50] International Telecommunications Union Radio (ITU-R), "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", Recommendation ITU-R M.2083, September 2015, [www.itu.int/rec/R-REC-M.2083](http://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083)

[51] .International Telecommunications Union Radio (ITU-R), "Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz", Report ITU-R M.2376, July 2015, [www.itu.int/pub/R-REP-M.2376](http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2376)

[52] Itu.int, 2018. [Online]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/gen/R-GEN-SGB-2016-PDF-E.pdf#page=41&pagemode=none](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/gen/R-GEN-SGB-2016-PDF-E.pdf#page=41&pagemode=none). [Accessed: 23- Sep- 2018].

[53] "Focus Group on IMT-2020", Itu.int, 2018. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx>. [Accessed: 23- Sep- 2018].

[54] Itu.int, 2018. [Online]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf). [Accessed: 14- Sep- 2018].

[55] "3GPP", 3gpp.org, 2018. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/>. [Accessed: 14- Sep- 2018].

[56] "Specifications Groups Home", 3gpp.org, 2018. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/specifications-groups/specifications-groups>. [Accessed: 24- Sep- 2018].

[57] Access.atis.org, 2018. [Online]. Available: [https://access.atis.org/apps/group\\_public/download.php/34374/IPNNI-2017-00052R000.pdf](https://access.atis.org/apps/group_public/download.php/34374/IPNNI-2017-00052R000.pdf). [Accessed: 24- Sep- 2018].

[58] "3GPP TR 38.802 Study on New Radio (NR) Access Technology, Physical Layer Aspects (release 14)", 3GPP, 2016.

[59] "3GPP TR 38.804 Study on New Radio (NR) Radio Interface Protocol Aspects (release 14)", 3GPP, 2016.

[60] "3GPP TR 38.801 Study on New Radio Access Technology, Radio Access Architecture and Interfaces (release 14)", 3GPP, 2016.

[61] "RAN4 - Radio performance and protocol aspects ...", 3gpp.org, 2017. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/specifications-groups/ran-plenary/ran4-radio-performance-and-protocol-aspects>. [Accessed: 24- Sep-2018].

[62] "3GPP TR 23.799 - Study on Architecture for Next Generation System (release 14)", 3GPP, 2016

[63] IEEE 802 LMSC Overview & Guide [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/IEEE-802-LMSC-OverviewGuide-06-Oct-2016-v2.pdf>.

[64] Open Systems Interconnection in general [Online]. Available: ISO/IEC 7498-1:1994

[65] IEEE 802 5G/IMT-2020 Standing Committee [Online]. Available: [http://www.ieee802.org/Stand\\_Com/5G/](http://www.ieee802.org/Stand_Com/5G/).

[66] IEEE 802 EC 5G/IMT-2020 Standing Committee Report [Online]. Available: <https://mentor.ieee.org/802-ec/dcn/16/ec-16-0119-01.pptx>

[67] <http://ieee802.org/15/index.htm>

[68] IEEE P1913.1™, "Draft Standard for Software-Defined Quantum Communication", <https://standards.ieee.org/develop/project/1913.html>

[69] IEEE P1914.1™, "Standard for Packet-based Fronthaul Transport Networks", <https://standards.ieee.org/develop/project/1914.1.html>

[70] "LMSC, LAN/MAN Standards Committee (Project 802)", [IEEE802.org](http://www.ieee802.org), 2018. [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/>. [Accessed: 25- Sep- 2018].

[71] "Standards - IEEE Future Networks", [Futurenetworks.ieee.org](https://futurenetworks.ieee.org), 2018. [Online]. Available: <https://futurenetworks.ieee.org/standards>. [Accessed: 25- Sep- 2018].

[72] Cisco, "A Mission Statement for the IETF" rfc3935, Cisco, 2004.

[73] A Tao of IETF: A Novice's Guide to the Internet Engineering Task Force, Paul Hoffman, Editor [Online]. Available: <https://www.ietf.org/tao.html>

[74] IETF Liaison Managers .Available:<https://www.ietf.org/liaison/managers.html>

[75] F. Yousaf, P. Loureiro, F. Zdarsky, T. Taleb and M. Liebsch, "Cost analysis of initial deployment strategies for virtualized mobile core network functions", IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 60-66, 2015.

[76] "Chapter 3: Edge Computing Reference Architectures", SDxCentral, 2017. [Online]. Available: <https://www.sdxcentral.com/reports/2017/mec-edge-computing/chapter-3-edge-computing-reference-architectures/>. [Accessed: 25- Sep- 2018].

[77] ETSI,"Work Programme - Work Item Detailed Report", [Portal.etsi.org](http://portal.etsi.org), 2017. [Online]. Available: [https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?wki\\_id=46045](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?wki_id=46045). [Accessed: 26- Sep- 2018].

[78] ETSI,"Mobile-Edge Computing (MEC); Framework and reference architecture. ", [Portal.etsi.org](http://portal.etsi.org), 2017. [Online]. Available: [https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?wki\\_id=46045](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?wki_id=46045). [Accessed: 26- Sep- 2018].

[79] ETSI, "Mobile-Edge Computing (MEC); Framework and reference architecture.", Draft ETSI, 2017.

[80] ETSI, "Mobile-Edge Computing – Introductory Technical White Paper", ETSI, 2014.

[81] "About NIST", NIST, 2018. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/about-nist>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[82] "Channel Measurement and Modeling", NIST, 2018. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/ctl/wireless-networks-division/channel-measurement-and-modeling-0>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[83] "Radio-resource Allocation and Beamforming Algorithms", NIST, 2016. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/ctl/wireless-networks-division/radio-resource-allocation-and-beamforming-algorithms>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[84] NIST, "5G Millimeter Wave Channel Model Alliance", NIST, 2015.

[85] 5G AMERICA, "4GA Summary of Global 5G Initiatives", 5gAMERICAS, 2014.

[86] 5G AMERICA, "4G Americas Mobile Broadband Evolution Toward 5G-Rel-12 Rel-13", 5gAMERICAS, 2014

[87] 5G AMERICA, "4G\_Americas 5G Spectrum Recommendations White\_Paper ", 5gAMERICAS, 2014

[88] 5GAMERICA, "4G\_Americas 5G Technology Evolution Recommendations 10.5.15 2", 5gAMERICAS, 2014

[89] IMT-2020(5G) Promotion Group, 2014. 5G vision and requirements. White Paper.

[90] IMT-2020(5G) Promotion Group, 2015a. 5G network technology architecture. White Paper.

[91] IMT-2020(5G) Promotion Group, 2015b. 5G wireless technology architecture. White Paper.

[92] IMT-2020(5G) Promotion Group, 2017. 5G economic and social impact. White Paper.

[93] S. Chen and S. Kang, "A tutorial on 5G and the progress in China", Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, vol. 19, no. 3, pp. 309-321, 2018.)

[94] ATIS, "5G Reimagined: A North American Perspective (Issue 2)", Alliance for Telecommunications Industry Solutions. February 2017

[95] "About the GSMA - Represents the interests of mobile operators worldwide", About Us, 2018. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/aboutus/>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[96] Gsma.com, 2016. [Online]. Available: [https://www.gsma.com/futurenetworks/wpcontent/uploads/2016/02/704\\_GSMA\\_unlocking\\_comm\\_opp\\_report\\_v5.pdf](https://www.gsma.com/futurenetworks/wpcontent/uploads/2016/02/704_GSMA_unlocking_comm_opp_report_v5.pdf). [Accessed: 02- Oct- 2018].

[97] "5G PPP Phase1 Security Landscape", 5G PPP Security WG, 2018.

[98] "Pre-Standardization Priority and phasing of the vertical use cases", 5GPP RAN 5G Workshop, 17.-18.9.2015, 2017.

[99] "5G-PPP Work Groups < 5G-PPP", 5g-ppp.eu, 2018. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-work-groups/>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[100] "Federal Communications Commission", Federal Communications Commission, 2018. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/>. [Accessed: 28- Sep- 2018].

[101] "Fifth Generation Wireless Network and Device Security", Federal Communications Commission, Washington, D.C. 20554, 2016.

[102] "Publications | University of Surrey", Surrey.ac.uk, 2018. [Online]. Available: <https://www.surrey.ac.uk/5gic/publications>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[103] "WNCG - Wireless Networking and Communications Group |", Wncg.org, 2018. [Online]. Available: <http://www.wncg.org/>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[104] "5G mmWave Research at NYU WIRELESS", NYU WIRELESS, 2018. [Online]. Available: <http://wireless.engineering.nyu.edu/research/>. [Accessed: 26- Sep- 2018].

[105] "The Ubiquitous Swarm Lab", University Of California, Berkeleyy 490 Cory Hall BERKELEY, CA 94720, 2016.

[106] "King's College London - Centre for Telecommunications Research", Kcl.ac.uk, 2018. [Online]. Available: <https://www.kcl.ac.uk/nms/depts/informatics/research/ctr/ctr.aspx>. [Accessed: 29- Sep- 2018].

[107] Portal.3gpp.org,2018.[Online].Available:<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3254>. [Accessed: 29- Sep- 2018].

[108] Centre for Telecommunication Research | King's College London | Standards", Centre for Telecommunication Research | King's College London, 2018. [Online]. Available: <https://www.ctr.kcl.ac.uk/standards>. [Accessed: 29- Sep- 2018].

[109] 5G Infrastructure Association, "5G Pan-European trials roadmap strategy", February 2017, see [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GInfraPPP-Trials-Roadmap-Strategy\\_Short\\_28-February-2017.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GInfraPPP-Trials-Roadmap-Strategy_Short_28-February-2017.pdf)

[110] Infrastructure Association, "Roadmap Strategy", Febr. 2017, see [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GInfraPPP-Trials-Roadmap-Strategy\\_Short\\_28-February-2017.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GInfraPPP-Trials-Roadmap-Strategy_Short_28-February-2017.pdf)



[111] "Presentation of the '5G Pan-European Trials Roadmap'", 5g-ppp.eu, 2017. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/presentation-of-the-5g-pan-european-trials-roadmap/>. [Accessed: 03- Oct- 2018]. A. Phan, S. Tahir Qureshi, "5G impact On Smart Cities", RedearchGate, 2018

[112] Oproiu, M. Iordache, C. Patachia, C. Costea and I. Marghescu, "Development and implementation of a Smart City Use Case in a 5G mobile network's operator," 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR), Belgrade, 2017, pp. 1-4.

[113] "Deutsche Telekom claims European 5G first - Mobile World Live", Mobile World Live, 2018. [Online]. Available: <https://www.mobileworldlive.com/featured-content/home-banner/deutsche-telekom-makes-progress-on-5g/>. [Accessed: 22- Sep- 2018].

[114] D. AG, "Deutsche Telekom, Intel and Huawei achieve World's First 5G NR Interoperability in Operator Environment", Telekom.com, 2018. [Online]. Available: <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/dt-and-partners-achieve-5g-nr-interoperability-515364>. [Accessed: 22- Sep- 2018].

[115] "Nokia and T-Mobile Achieve Nation's first 3GPP-compliant bi-directional 5G New Radio Data Transmission", T-mobile.com, 2018. [Online]. Available: <https://www.t-mobile.com/content/t-mobile/corporate/news/articles/2018/06/nokia-and-t-mobile-achieve-nations-first-3gpp-compliant-bi-directional-5g-new-radio-data-transmission.html>. [Accessed: 22- Sep- 2018].

[116] J. Tomás, "Nokia completes 5G call on the 3.5GHz band in France", RCR Wireless News, 2018. [Online]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20180508/5g/nokia-completes-5g-call-3-5ghz-band-france-tag23>. [Accessed: 22- Sep- 2018].

[117] CISCO, "Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper", March 2017, see <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>

[118] ("NOI to examine use of bands above 24 GHz for mobile broadband", Federal Communications Commission, 2018. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/document/noi-examine-use-bands-above-24-ghz-mobile-broadband>. [Accessed: 21- Sep- 2018].)

[119] P. Marsch, O. Bulakçi, O. Queseth and M. Boldi, 5G system design, 1st ed. John Wiley & Sons Ltd., 2018, pp. Chapter 17,526-547.)

[120] C. Reichert, "AT&T trials fixed-wireless 5G in Indiana | ZDNet", ZDNet, 2018. [Online]. Available: <https://www.zdnet.com/article/at-t-trials-fixed-wireless-5g-in-indiana/>. [Accessed: 21- Sep- 2018].

[121] "Sprint Sees a Mid-Band 5G Future - SDxCentral.com", SDxCentral, 2018. [Online]. Available: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/sprint-5g/>. [Accessed: 21- Sep- 2018].

[122] "T-Mobile Building Out 5G in 30 Cities This Year ...and That's Just the Start", T-mobile.com, 2018. [Online]. Available: <https://www.t-mobile.com/news/mwc-2018-5g>. [Accessed: 21- Sep- 2018].

[123] S. Newsroom, "KT, Verizon and Samsung Collaborate to Demonstrate and Advance Next Level of 5G Innovation - Samsung US Newsroom", Samsung US Newsroom, 2018. [Online]. Available: <https://news.samsung.com/us/kt-verizon-samsung-to-demonstrate-5g-innovation/>. [Accessed: 21- Sep- 2018].)

[124] Itu.int, 2017. [Online]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf). [Accessed: 20- Sep- 2018].

[125] J. Tomás, "Huawei completes new phase of China's 5G R&D test", RCR Wireless News, 2018. [Online]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20180621/5g/huawei-completes-new-phase-china-5g-test-tag23>. [Accessed: 23- Sep- 2018].

[126] "5G call in Beijing a milestone for industry - Chinadaily.com.cn", Chinadaily.com.cn, 2018. [Online]. Available: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201806/16/WS5b249b05a310010f8f59d4dc.html>. [Accessed: 22- Sep- 2018].

[127] J. Tomás, "China Mobile to kick off large 5G trials in five cities this year", RCR Wireless News, 2018. [Online]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20180306/5g/china-mobile-5g-trials-in-five-cities-tag23>. [Accessed: 23- Sep- 2018].

[128] "Press Releases : DOCOMO Achieves World's First 5G Wireless Data Transmission in Ultra-high-mobility Environment Exceeding 300 km/h", NTT DOCOMO Home, 2018. [Online]. Available: [https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media\\_center/pr/2018/0509\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media_center/pr/2018/0509_00.html). [Accessed: 22- Sep- 2018].

[129] J. Tomás, "The state of 5G trials in Japan", RCR Wireless News, 2018. [Online]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20180503/5g/state-5g-trials-japan-tag23-tag99>. [Accessed: 23- Sep- 2018].

[130] 3GPP TR 38.913, "Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies, Release 14", V14.2.0, March 20175.

[131] SK Telecom's T5: The world's 1st 5G Connected Cars. Itu.int, 2017. [Online]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-2020-PDF-E.pdf). [Accessed: 20- Sep- 2018].

[132] Korea Telecom, "KT 5G Master plan", Sept. 2015, see [http://www.kt.com/eng/biz/kt5g\\_01.jsp](http://www.kt.com/eng/biz/kt5g_01.jsp))

[133] Korea Telecom, „KT 5G SIG“, June 2016, see [http://www.kt.com/eng/biz/kt5g\\_02.jsp](http://www.kt.com/eng/biz/kt5g_02.jsp)

[134] Korea Telecom, “KT 5G Master plan”, Sept. 2015, see [http://www.kt.com/eng/biz/kt5g\\_01.jsp](http://www.kt.com/eng/biz/kt5g_01.jsp)

[135] Korea Telecom, „KT 5G SIG“, June 2016, see [http://www.kt.com/eng/biz/kt5g\\_02.jsp](http://www.kt.com/eng/biz/kt5g_02.jsp)

[136] P. Marsch, O. Bulakçi, O. Queseth and M. Boldi, 5G system design, 1st ed. John Wiley & Sons Ltd., 2018, pp. Chapter 17,526-547

[137] 5g-ppp.eu, 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/11/5GPPP-brochure-phase2-final-web.pdf>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[138] "5G PPP Phase 1 Projects < 5G-PPP", *5g-ppp.eu*, 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-1-projects/>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[139] GmbH, "5G-XHaul: Home", *5g-xhaul-project.eu*, 2016. [Online]. Available: <https://www.5g-xhaul-project.eu/>. [Accessed: 29- Sep- 2018].

[140] "5G ESSENCE > Home", *5g-essence-h2020.eu*, 2016. [Online]. Available: <http://www.5g-essence-h2020.eu/>. [Accessed: 29- Sep- 2018].

[141] "5GCAR – 5G Communication Automotive Research and innovation", *5gcar.eu*, 2016. [Online]. Available: <https://5gcar.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[142] "5GCity – A distributed cloud & radio platform for 5G Neutral Hosts", *5gcity.eu*, 2016. [Online]. Available: <https://www.5gcity.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[143] "Home | 5G-MEDIA", 5G-MEDIA, 2016. [Online]. Available: <http://www.5gmedia.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[144] "5G-MoNArch < 5G-PPP", 5g-ppp.eu, 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/5g-Monarch/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[145] I. GmbH, "5G-PICTURE: Home", 5g-picture-project.eu, 2016. [Online]. Available: <https://www.5g-picture-project.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[146] "5g-transformer – 5G Mobile Transport Platform for Verticals", 5g-transformer.eu, 2016. [Online]. Available: <http://5g-transformer.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[147] "5GXcast", 5G-Xcast, 2016. [Online]. Available: <http://5g-xcast.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[148] "IoRL < 5G-PPP", 5g-ppp.eu, 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/iorl/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[149] T. Project, "The Matilda Project", Matilda-5g.eu, 2017. [Online]. Available: <http://www.matilda-5g.eu/#sp-icons>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[150] "METRO-HAUL – METRO-HAUL 5G Project", Metro-haul.eu, 2017. [Online]. Available: <https://metro-haul.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[151] "NRG5", 5GPPP, 2017. [Online]. Available: <http://www.nrg5.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[152] "SLICENET – SLICENET", Slicenet.eu, 2017. [Online]. Available: <https://slicenet.eu/>. [Accessed: 30- Sep- 2018].

[153] "To-Euro-5G", 5g-ppp.eu, 2017. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/to-euro-5g/>. [Accessed: 30- Sep- 2018]

[154] "5G PPP Phase 2 Projects < 5G-PPP", *5g-ppp.eu*, 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-2-projects/>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[155] "5G-EVE – 5G-EVE", 5g-eve.eu, 2018. [Online]. Available: <https://www.5g-eve.eu/>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[156] "5G-VINNI – 5G Verticals Innovation Infrastructure", *5g-vinni.eu*, 2018. [Online]. Available: <https://www.5g-vinni.eu/>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[157] "5GENESIS – 5th Generation End-to-end Network, Experimentation, System Integration, and Showcasing", 5genesis.eu, 2018. [Online]. Available: <https://5genesis.eu/>. [Accessed: 05- Oct- 2018].

[158] "Technologies for Network 2030", ITU-T, 2018.

