



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ  
Μ/Υ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δίκτυα LTE και Διαχείριση Έργων Επέκτασης Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

Ανδρέας Λ. Τσενεκίδης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Π. Κωττής: Καθηγητής, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ. Ε.Μ.Π.

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ  
Μ/Υ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δίκτυα LTE και Διαχείριση Έργων Επέκτασης Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

Ανδρέας Λ. Τσενεκίδης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Π. Κωττής: Καθηγητής Σχολή Η.Μ.Μ.Υ. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή .....

.....

Παναγιώτης Κωττής Χρήστος Καψάλης Γεώργιος Φικιώρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π Καθηγητής Ε.Μ.Π. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2018



Ανδρέας Λ. Τσενεκίδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Λ. Τσενεκίδης 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ή του Πανεπιστημίου Πειραιά.



## Ευχαριστίες

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή της σχολής Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π, Παναγιώτη Κωπτή όχι μόνο για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά κυρίως για την καθοδήγηση του από όταν ήμουν προπτυχιακός φοιτητής της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικός, Ε.Μ.Π. Συνεχίζει να είναι κοντά στους φοιτητές τους και να ενδιαφέρεται για την πρόοδο και εξέλιξη τους και μετά το πέρας των σπουδών τους, σαν πραγματικός δάσκαλος και σύμβουλος.*

*Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου Χρυσούλα και Νίκο καθώς η κοινή μας πορεία στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα συνέβαλλε σημαντικά στην επιτυχημένη ολοκλήρωση του.*

*Τέλος, δεν μπορώ παρά να κρατήσω το σημαντικότερο ευχαριστώ για την οικογένεια μου.*





## Περίληψη

Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Οι απαιτήσεις των καταναλωτών για αξιόπιστη και ταχύτερη επικοινωνία αυξάνονται καθώς η εξάρτηση τους τόσο στην επαγγελματική όσο και στην προσωπική τους ζωή αυξάνεται με την πάροδο των ετών. Νέες υπηρεσίες προστίθενται και νέες ανάγκες αναδεικνύονται τις οποίες οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και ιδίως οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας καλούνται να ικανοποιήσουν. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται ανάλυση των υφιστάμενων τηλεπικοινωνιακών δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G), τόσο από την πλευρά των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών όσο και από την πλευρά της υποδομής που απαιτείται για την λειτουργία τους αλλά και οι βασικοί δείκτες ποιότητας που περιγράφουν τη λειτουργία τους. Επίσης, παρουσιάζονται τα νέα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) και περιγράφεται ένα εργαλείο που αξιοποιούν οι διαχειριστές των δικτύων στα έργα επέκτασης των δικτύων τους.

Αναλυτικότερα, η μελέτη ξεκινάει παρουσιάζοντας τα κυρίαρχα αυτήν την εποχή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G. Αναλύεται η αρχιτεκτονική των δικτύων, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα τους σε σχέση με τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> γενιάς (3G/2G).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G), που αναμένεται να αρχίσουν να αξιοποιούνται πιλοτικά σε πρώτο στάδιο στο τέλος του 2018. Περιγράφεται η μέθοδος που ακολουθείται για την μετάβαση στα δίκτυα 5G, τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα που αναμένεται να ενσωματώνουν.

Επίσης, μέρος της παρούσας εργασίας αποτελεί η περιγραφή του βασικού εξοπλισμού που οργανώνει έναν σταθμός βάσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας ώστε να υποστηριχθεί η εκπομπή σήματος.

Η ανάγκη για επέκταση των υφιστάμενων δικτύων έγκειται στην απαίτηση των χρηστών για ταχύτερα δίκτυα και πιο αξιόπιστες υπηρεσίες. Οι πάροχοι υπηρεσιών και διαχειριστές των δικτύων αξιοποιούν ορισμένους δείκτες ποιότητας που μετρούν και περιγράφουν την ποιότητα υπηρεσιών που προσφέρεται στους συνδρομητές τους. Για αυτό και σημαντικό μέρος της παρούσας εργασίας καταλαμβάνει η περιγραφή των συγκεκριμένων δεικτών και η παρουσίαση της 1<sup>ης</sup> Μετρητικής εκστρατείας Δ.Π. Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών που οργανώθηκε από την Ε.Ε.Τ.Τ. για την αξιολόγηση των παρόχων της Ελληνικής αγοράς.

Τέλος, αναλύεται το εργαλείο TechInsights. Το TechInsights αξιοποιείται από την εταιρεία TTS Wireless, από την οποία και αναπτύσσεται, στα έργα στα οποία συνεργάζεται με παρόχους των Η.Π.Α. και στα οποία εκτελούνται έργα για την επέκταση του 4G δικτύου και την προετοιμασία του για το 5G. Το TechInsights προσφέρει εύκολη, ακριβή και συνεχή δυνατότητα διαχείρισης και παρακολούθησης του κάθε έργου.

## **Λέξεις- Κλειδιά**

Δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς, Δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς, Σταθμός βάσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας, Δείκτες Ποιότητας Υπηρεσιών, Διαχείριση Έργων- TechInsights

## Abstract

Telecommunications are an integral part of everyday life of modern human. Consumers' demands for reliable and faster communication are increasing as their dependence on both their professional and personal lives increase over the years. New services are added, and new needs are emerging, which providers of telecommunication services and especially mobile service providers are required to meet. This diploma thesis analyzes the existing 4<sup>th</sup> Generation (4G) telecommunication networks both in terms of their functional characteristics and hardware required for their operation as well as the key performance indicators describing the quality of the offered services. Also, the new 5th generation (5G) networks are presented. Moreover, a tool used for project management of telecom projects is also analyzed.

In more detail, the study begins by presenting the currently most widely used 4G mobile networks. It analyzes the network architecture, their basic features and their comparative advantages over the 3G and 2G networks.

Then, the 5<sup>th</sup> generation (5G) networks, which are expected to be launched in a trial stage at the end of 2018 are analyzed. The thesis presents the roadmap for the deployment of 5G networks and the major features, functionalities and capabilities that are expected to incorporate.

Moreover, part of this study focuses on the hardware of the remote base station and the equipment that is used for transmission of the RF signal to the user equipment.

The need for expanding and evolving mobile networks lies in user's requirements for faster networks and more reliable services. Service providers and network administrators use several performance indicators that measure and describe the quality of service offered to their subscribers. Therefore, a significant part of this study focuses on the description of the key performance indicators in use, in mobile systems and in the presentation of the 1<sup>st</sup> Measurement Campaign for Mobile Communications Systems lead by the Hellenic Telecommunications & Post Commission in order to evaluate the performance of the major Greek operators.

Finally, TechInsights tool is analyzed. TechInsights is developed and utilized by TTS Wireless, in project where TTS acts as vendor for the US operators. Operators run various projects so that they expand

their network and prepare it for 5G integration. TechInsights offers easy, accurate, transparent and efficient project management and monitoring.

## **Key Words**

4<sup>th</sup> Generation networks, 5<sup>th</sup> Generation networks, Remote base station, Key performance Indicators, Project management-TechInsights

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Δίκτυα LTE .....	5
1.1 Εισαγωγή - Ιστορική επισκόπηση.....	5
1.2 Αρχιτεκτονική LTE.....	10
1.2.1 Δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνότητων LTE – Radio Access Network .....	11
1.2.2 Evolved Packet Core - EPC .....	14
1.2.3 Επισκόπηση διεπαφών.....	17
1.3 Διεπαφή αέρα LTE (Air Interface) .....	28
1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς .....	30
1.3.2 Ευελιξία εύρους ζώνης .....	32
1.3.3 Τεχνικές διαμόρφωσης LTE .....	33
1.3.4 Ευελιξία φάσματος .....	34
1.3.5 Προγραμματισμός και προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης εξαρτώμενα από το διάλυο μετάδοσης .....	35
1.3.6 Συστήματα Μετάδοσης Πολλαπλών Εισόδων/Εξόδων.....	36
1.3.7 Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο LTE .....	39
Κεφάλαιο 2- Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G).....	41
2.1 Εισαγωγή σε δίκτυα 5G .....	41
2.2 Δρόμος προς το 5G .....	44
2.2.1 Στόχοι IMT-2020 .....	44
2.2.2 Εκδόσεις 3GPPS με στόχο το 5G .....	46
2.2.3 LTE Advanced Pro .....	48
2.2.4 Κυψελοειδές IoT.....	49
2.2.5 Μαζική Επικοινωνία μεταξύ Οχημάτων - Vehicle to Everything (V2X).....	50

2.3 3GPP smarter .....	51
2.3.1 Εισαγωγή .....	51
2.3.2 Μαζικό IoT .....	51
2.3.3 Κρίσιμες επικοινωνίες .....	54
2.3.4 Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα.....	55
2.3.5 Λειτουργία Δικτύου Κορμού .....	56
2.4 Ζώνες και φάσμα συχνοτήτων για 5G .....	57
2.4.1 Φάσμα στο 5G .....	57
2.4.2 Υψηλότερες συχνότητες και mmWave.....	58
2.4.3 Ζώνες συχνοτήτων WRC-15 και FCC.....	59
2.5 Αρχιτεκτονική Δικτύων 5G .....	59
2.5.1 Δίκτυο ραδιοεκπομπής στο 5G, 5G RAN.....	61
2.5.2 5G Core.....	63
2.5.3 Network Slicing .....	65
2.6 Εξελίξεις στο 5G.....	66
2.6.1. Μαζικό MIMO.....	66
2.6.2. 6GHz και υψηλότερες ζώνες .....	67
2.6.3 Νέες τεχνικές ραδιοεκπομπής.....	68
2.6.4. Από κοινού αξιοποίηση φάσματος .....	69
2.6.5. Ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη .....	70
2.6.6 Λοιπές εξελίξεις του 5G .....	70
Κεφάλαιο 3 – Σταθμός Βάσης Κινητών Επικοινωνιών .....	73
3.1 Εισαγωγή .....	73
3.2 Κύρια Μονάδα RBS .....	73

3.3 Ψηφιακή Μονάδα, DU.....	77
3.4 Μονάδα Ραδιοεκπομπής, RU.....	81
3.5 Κεραιосύστημα.....	83
3.5.1 Κεραία.....	84
3.5.2. Απομακρυσμένη ηλεκτρική κλίση.....	86
3.5.3 Ενισχυτής σήματος .....	87
3.6 Πραγματικό παράδειγμα εγκατάστασης.....	87
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> – Δείκτες Ποιότητας Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών .....	91
4.1 Δείκτες Ποιότητας δικτύου 4G σύμφωνα με τη 3GPP .....	91
4.2 Δείκτες Ποιότητας Υπηρεσιών Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών για την Ελλάδα .....	92
4.2.1 Δείκτες ανεξάρτητοι της υπηρεσίας .....	93
4.2.2 Δείκτες υπηρεσίας τηλεφωνίας.....	95
4.2.3 Δείκτες Ποιότητας ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένων .....	97
4.3 1 <sup>η</sup> Μετρητική εκστρατεία Δ.Π. Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών .....	98
4.3.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δ.Π.....	98
4.3.2 Σενάρια Μέτρησης.....	102
4.3.3 Εξοπλισμός Μετρήσεων .....	104
5. Διαχείριση Έργων Επέκτασης Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας.....	109
5.1 Εισαγωγή στο TechInsights .....	109
5.2 Πλεονεκτήματα TechInsights .....	111
5.2.1 Προσαρμοσμένη διαχείριση ροής εργασιών.....	113
5.2.2 Ανάλυση εργασιών .....	115
5.2.3 Επικοινωνία με εξωτερικές πλατφόρμες.....	119
Συμπεράσματα .....	123

Παράρτημα 1 : Πίνακας Συντμήσεων – Μετάφρασης Όρων .....	125
Βιβλιογραφία .....	131



## Κεφάλαιο 1 - Δίκτυα LTE

### 1.1 Εισαγωγή - Ιστορική επισκόπηση

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι η καθημερινή επικοινωνία αποτελεί και ανάγκη. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει εξελιχθεί από το να είναι μια δαπανηρή τεχνολογία για μερικούς επιλεγμένους χρήστες σε παγκόσμια συστήματα που χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία του πληθυσμού.

Ο τομέας των κινητών τηλεπικοινωνιών εξακολουθεί να αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την ανάπτυξη και την καινοτομία στις βιομηχανίες πολλαπλών τεχνολογιών και τομέων. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα, στις 29 Μαρτίου 2016, η αμερικανική Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) ξεκίνησε την πρώτη δημοπρασία που αποσκοπούσε στην επαναχρησιμοποίηση του ραδιοφάσματος για νέες χρήσεις. Εξουσιοδοτημένη από το Κογκρέσο το 2012, η δημοπρασία χρησιμοποίησε τις δυνάμεις της αγοράς για να ευθυγραμμίσει τη χρήση των ραδιοκυμάτων εκπομπής με τις απαιτήσεις των καταναλωτών του 21ου αιώνα για υπηρεσίες βίντεο και ευρυζωνικών υπηρεσιών. Η υποβολή προσφορών στη δημοπρασία έκλεισε στις 30 Μαρτίου 2017<sup>1</sup>, επανατοποθετώντας 84 MHz φάσματος - 70 MHz με άδεια χρήσης και άλλα 14 MHz χωρίς άδεια χρήσης. Η δημοπρασία απέφερε έσοδα ύψους 19,8 δισ. δολαρίων, συμπεριλαμβανομένων των 10,05 δισ. δολαρίων για νικηφόρους διαγωνιζόμενους και περισσότερα από 7 δισ. δολάρια που θα κατατεθούν στο αμερικανικό Υπουργείο Οικονομικών για μείωση του ελλείμματος. Με τη δημιουργία πολύτιμων "χαμηλών συχνοτήτων" διαθέσιμων για ασύρματες ευρυζωνικές συνδέσεις, η δημοπρασία θα ωφελήσει τους καταναλωτές, διευκολύνοντας την αποσυμφόρηση στα ασύρματα δίκτυα, θέτοντας τις βάσεις για ασύρματες υπηρεσίες και εφαρμογές "5ης γενιάς" (5G) και υποκινώντας τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την οικονομική ανάπτυξη.

Από την εμφάνιση του πρώτου δικτύου κινητής επικοινωνίας αναπτύχθηκαν τέσσερις γενιές συστημάτων επικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας, καθεμία από τις οποίες συνδέεται με συγκεκριμένο σύνολο τεχνολογιών και παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1.

---

<sup>1</sup> <https://www.fcc.gov/about-fcc/fcc-initiatives/incentive-auctions>



Εικόνα 1.1: Εξέλιξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Τα πρώτα συστήματα κινητής επικοινωνίας που είδαν μεγάλη εμπορική ανάπτυξη αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του '80 και έγιναν γνωστά ως συστήματα "πρώτης γενιάς" (1G). Ήταν συχνά διαθέσιμα σε εθνική βάση με περιορισμένη ή και καθόλου διεθνή περιαγωγή. Στα συστήματα 1G, η κίνηση των χρηστών που αφορούσε αποκλειστικά σε δεδομένα φωνής, μεταδόθηκε με αναλογικές ραδιοτεχνικές FDMA (Frequency Division Multiple Access) και περιλάμβανε μια σειρά ανεξάρτητων μεταξύ τους συστημάτων όπως παραδείγματος χάριν τα: NMT (Nordic Mobile Telephony, που χρησιμοποιήθηκε σε μέρη της Ευρώπης), AMPS (Advanced Mobile Phone Service), που χρησιμοποιήθηκε στην Αμερική) και το TACS (Total Access Communication System) που χρησιμοποιήθηκε στην Ιαπωνία και το Χονγκ Κονγκ.

Τα συστήματα "δεύτερης γενιάς" (2G) εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Παραδείγματα τεχνολογιών 2G περιλαμβάνουν την ευρωπαϊκή τεχνολογία GSM, τις αμερικανικές τεχνολογίες IS-95 / CDMA και IS-136 / TDMA και την ιαπωνική τεχνολογία PDC. Με την ανάπτυξη συστημάτων 2G έγινε διαθέσιμη η δυνατότητα παγκόσμιας περιαγωγής. Η επιτυχία του GSM οφειλόταν κυρίως στο συνεργατικό πνεύμα στο οποίο αναπτύχθηκε κατά την εξέλιξη του. Αξιοποιώντας την δημιουργική εμπειρία πολλών εταιρειών που συνεργάστηκαν υπό την αιγίδα του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI), το GSM έγινε ένα ισχυρό, διαλειτουργικό και ευρέως αποδεκτό πρότυπο. Τα συστήματα 2G εξακολουθούσαν να αφορούν αποκλειστικά σε υπηρεσίες φωνής, αλλά χάρη στον ψηφιακό τους χαρακτήρα, παρείχαν σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα συστήματα 1G. Με την πάροδο των ετών, ορισμένες από τις πρώτες τεχνολογίες επεκτάθηκαν για να υποστηρίξουν υπηρεσίες πακέτων δεδομένων. Αυτές οι επεκτάσεις μερικές φορές αναφέρονται ως 2.5G για να δείξουν ότι οι ρίζες τους βρίσκονται σε τεχνολογίες 2G αλλά έχουν διευρυμένες δυνατότητες από τις αρχικές

τεχνολογίες. Το EDGE είναι ένα πολύ γνωστό παράδειγμα τεχνολογίας 2.5G. Το GSM / EDGE εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε σύγχρονα τηλέφωνα (smart phones) και στην επικοινωνία μεταξύ συστημάτων M2M (machine to machine), όπως παραδείγματος χάριν για συστήματα συναγερμών, αισθητήρων και άλλα.

Η ευρεία διάθεση φιλικών προς το χρήστη κινητών επικοινωνιών, καθώς και η αυξανόμενη εξοικείωση με την τεχνολογία αυτή και η πρακτική εξάρτηση από αυτήν, παρέχουν το πλαίσιο για νέα συστήματα με πιο προηγμένες δυνατότητες. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, άρχισε να αναδύεται η ανάγκη υποστήριξης όχι μόνο των υπηρεσιών φωνής αλλά και δεδομένων, γεγονός που οδήγησε στην ανάγκη για μια νέα γενιά κυψελοειδών τεχνολογιών. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, το 2G GSM, παρά το γεγονός ότι αναπτύχθηκε στην Ευρώπη, είχε αναγνωριστεί ως το παγκόσμια χρησιμοποιούμενο πρότυπο. Για να διασφαλιστεί η παγκόσμια εμβέλεια των νέων συστημάτων (συστήματα "τρίτης γενιάς", 3G) διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη των νέων συστημάτων 3G έπρεπε να πραγματοποιηθεί σε παγκόσμια βάση. Για να διευκολυνθεί αυτό, δημιουργήθηκε το πρόγραμμα συνεργασίας τρίτης γενιάς (3GPP<sup>2</sup>), το οποίο αποτελεί σήμερα την κυρίαρχη ομάδα ανάπτυξης προτύπων για κινητά ραδιοσυστήματα<sup>2</sup>.

Στο πλαίσιο της πορείας εξέλιξης του 3GPP, είναι εμφανείς τρεις τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης. Καθώς η συντήρηση και η ανάπτυξη προδιαγραφών για την οικογένεια GSM μεταβιβάστηκε από το ETSI στη 3GPP, η οικογένεια 2G βασίστηκε στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου και συχνότητας (TMDA / FDMA). Τα δίκτυα 3G, σηματοδοτούν την είσοδο κωδικοποίησης πολλαπλής πρόσβασης ευρείας ζώνης (WCDMA), καθώς τα νέα δίκτυα 3G αξιοποιούν φάσμα 5 Mhz για τη λειτουργία τους. Η πρώτη έκδοση WCDMA οριστικοποιήθηκε το 1999<sup>3</sup>. Περιλάμβανε υπηρεσίες φωνής και εικόνας με μεταγωγή κυκλώματος (Circuit-switched), καθώς και υπηρεσίες δεδομένων τόσο με μεταγωγή πακέτων όσο και κυκλώματος. Η πρώτη σημαντική βελτίωση του WCDMA ήρθε με την εισαγωγή τεχνολογιών High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και Enhanced Uplink, στις εκδόσεις 5 και 6 της 3GPP αντίστοιχα. Η τεχνολογία που προέκυψε έγινε ευρέως γνωστή ως HSPA<sup>4</sup>. Το HSPA, που μερικές φορές αναφέρεται ως 3.5G, επέτρεψε μια "πραγματική" εμπειρία κινητής ευρυζωνικής σύνδεσης με ρυθμούς δεδομένων αρκετών Mbps, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα

<sup>2</sup> <http://www.3gpp.org/>

<sup>3</sup> <http://www.3gpp.org/specifications/releases/77-release-1999>

<sup>4</sup> <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>

με τις αρχικές προδιαγραφές 3G. Με την υποστήριξη της κινητής ευρυζωνικότητας, τέθηκαν τα θεμέλια για την ταχεία υιοθέτηση των έξυπνων τηλεφώνων. Χωρίς τη διαθεσιμότητα κινητής ευρυζωνικότητας για τη μαζική αγορά, η εξάπλωση έξυπνων τηλεφώνων θα ήταν σημαντικά βραδύτερη και η χρηστικότητα τους θα περιοριζόταν σε μεγάλο βαθμό. Ταυτόχρονα, η μαζική χρήση έξυπνων τηλεφώνων και η διάδοση υπηρεσιών βασιζόμενων στη μετάδοση πακέτων δεδομένων, όπως υπηρεσίες κοινωνική δικτύωσης, ανέδειξαν την ανάγκη πλέον, για αυξημένη χωρητικότητα και βελτιωμένη φασματική απόδοση. Οι χρήστες που χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τις κινητές υπηρεσίες αυξάνουν επίσης τις προσδοκίες για συνεχώς αυξανόμενη εμπειρία χρήσης με καλύτερες ταχύτητες και μειωμένη καθυστέρηση στις παρεχόμενες υπηρεσίες. Αυτές οι ανάγκες αντιμετωπίστηκαν εν μέρει από μια συνεχή και συνεχώς εξελισσόμενη εξέλιξη του HSPA, αλλά αποτέλεσαν και τον έναυσμα για την έναρξη συζητήσεων για την ανάπτυξη τεχνολογίας 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G) στα τέλη της δεκαετίας του 2000.

Παράλληλα και σε συνεργασία με την 3GPP, η ομάδα γνωστή ως 3GPP2, ασχολήθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας CDMA 2000, αναγνωστικής για το 3G. Το CDMA 2000 αναπτύχθηκε με βάση το αμερικανικό πρότυπο IS-95, το οποίο ήταν το πρώτο κινητό κυψελοειδές σύστημα επικοινωνίας που χρησιμοποιούσε την τεχνολογία CDMA και διαδόθηκε κυρίως στις ΗΠΑ, στην Κορέα και στην Ιαπωνία. Η προτυποποίηση από την 3GPP2 συνεχίστηκε προς την κατεύθυνση συστημάτων προσανατολισμένων στα δεδομένα (EV-DO<sup>5</sup>). Το τρίτο στάδιο εξέλιξης, παράλληλα με τις 3GPP και 3GPP2, προέκυψε από την επιτροπή πρότυπων προδιαγραφών IEEE 802 LAN / MAN<sup>6</sup>, η οποία δημιούργησε την οικογένεια ασύρματων ευρυζωνικών προτύπων 802.16. Αυτή η οικογένεια προτύπων, συχνά γνωστή και ως WiMAX, προωθήθηκε από το WiMAX Forum<sup>7</sup> και βασίζεται αποκλειστικά στη μετάδοση πακέτων.

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G), γνωστά και ως Long Term Evolution (LTE), αναπτύχθηκαν αρχικά για υποστήριξη πακέτων δεδομένων και δεν υποστηρίζαν μετάδοση φωνής, αντίθετα με την 3G, όπου το HSPA αποτέλεσε την επέκταση παροχής πακέτων δεδομένων υψηλής απόδοσης πάνω στην υπάρχουσα τεχνολογία που βασιζόταν σε μετάδοση φωνής. Οι νέες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες έπρεπε να επικεντρωθούν στην αντιμετώπιση της ανάγκης για μεγάλο όγκο δεδομένων, με χαμηλή ανοχή στην καθυστέρηση υπηρεσιών και στα λάθη. Επίσης πολύ σημαντική ήταν η ανάγκη για αυξημένη χωρητικότητα και ευελιξία στη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος. Η πρώτη

---

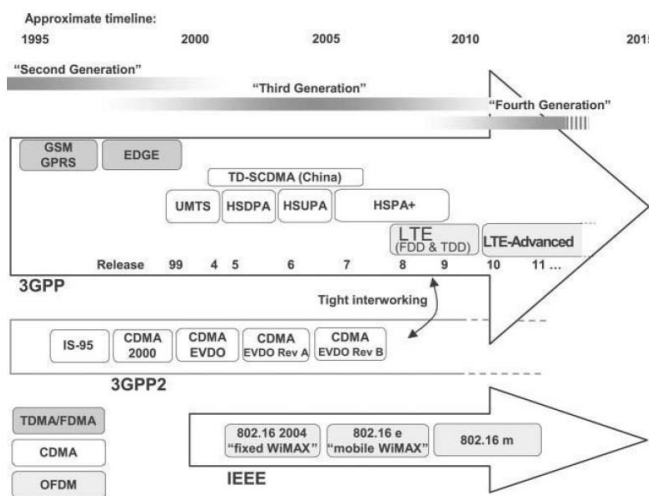
<sup>5</sup> <https://www.3gpp2.org/>

<sup>6</sup> <http://www.ieee802.org/>

<sup>7</sup> <http://wimaxforum.org/>

έκδοση του LTE ήταν μέρος της 8<sup>ης</sup> έκδοσης προδιαγραφών της 3GPP<sup>8</sup> και η πρώτη εμπορική ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε στα τέλη του 2009 ακολουθούμενη από ταχεία και παγκόσμια ανάπτυξη δικτύων LTE. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του LTE είναι ότι αποτελεί μια τεχνολογία αναγνωρισμένη και λειτουργική παγκοσμίως. Από την εμπορική εισαγωγή του το 2000, το LTE εξελίχθηκε σημαντικά όσον αφορά στο εύρος και στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και στην ευελιξία της διαχείρισης ραδιοφάσματος. Η εξέλιξη του LTE έχει επίσης διευρύνει σημαντικά τη διάθεση υπηρεσιών πέραν της τυπικής κινητής ευρυζωνικής σύνδεσης, όπως για παράδειγμα την υποστήριξη μαζικής επικοινωνίας τύπου M2M.

Όσον αφορά στην πολλαπλή πρόσβαση, το LTE έχει υιοθετήσει μετάδοση OFDM και SC-FDMA. Επιπλέον, το LTE δεν αποτέλεσε μόνο εξέλιξη όσον αφορά το δίκτυο ραδιοεκπομπής (radio network), αλλά εξελίχθηκε σε ένα πλήρες σύστημα, γνωστό με τον όρο "System Architecture Evolution" (SAE), το οποίο περιλαμβάνει επίσης το εξελιγμένο πλέον δίκτυο κορμού του συστήματος, γνωστό με τον όρο Evolved Packet Core (δίκτυο EPC). Η αρχιτεκτονική του LTE θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 1.2 Χρονική εξέλιξη των προτύπων κινητών επικοινωνιών

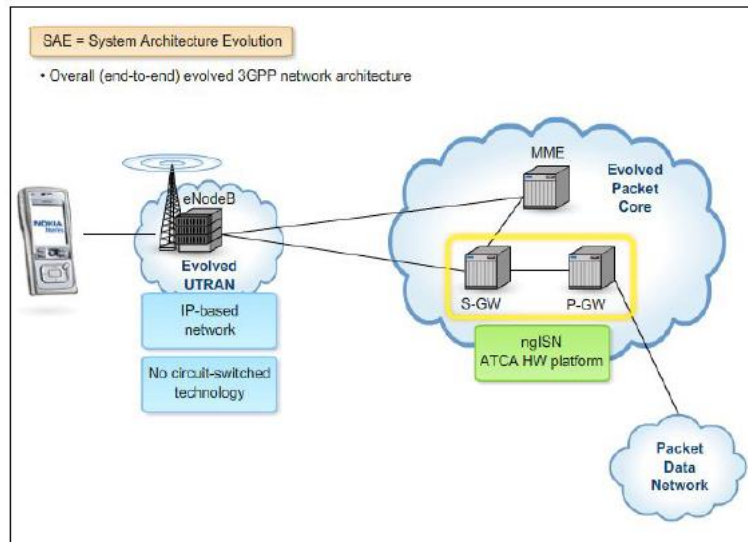
<sup>8</sup> <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

## 1.2 Αρχιτεκτονική LTE

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο, το LTE έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μόνο υπηρεσίες πακέτων Packet-Switched (PS), σε αντίθεση με το τη χρήση μεταγωγής Κυκλώματος (Circuit – Switched, CS) των προηγούμενων κυψελοειδών συστημάτων. Κύριοι στόχοι του LTE ήταν οι παρακάτω:

- Αδιάκοπη σύνδεση IP μεταξύ του χρήστη (User Equipment -UE) και του δικτύου δεδομένων πακέτου (Packet Data Network -PDN), χωρίς καμία διακοπή της παρεχόμενης υπηρεσίας στον χρήστη κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων του (mobility).
- Υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (downlink > 100 Mbps, Uplink > 50Mbps, ρυθμοί δεδομένων HSPA 2-3x στην άκρη κυψελών).
- Χαμηλή καθυστέρηση
- Υψηλή φασματική απόδοση (3x HSPA)
- Ευελιξία φάσματος (μέσω λειτουργίας σε ευρύ εύρος κατανομών φάσματος, με αξιοποίηση είτε νέου είτε υφιστάμενου εύρους ζώνης)
- Απλότητα και λιγότερη σηματοδότηση
- Οικονομική αποδοτικότητα στην εξέλιξη από συστήματα 3G

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, το 3GPP επανεξέτασε τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος τόσο του Radio Access Network (RAN) όσο και του κεντρικού δικτύου κορμού, συμπεριλαμβανομένου του διαχωρισμού της λειτουργικότητας μεταξύ των δύο δικτύων. Αυτό το έργο, γνωστό ως System Architecture Evolution (SAE), οδήγησε σε μια επίπεδη αρχιτεκτονική RAN, καθώς και μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου κορμού που αναφέρεται ως Evolved Packet Core (EPC). Μαζί, το LTE RAN, το λεγόμενο Evolved UTRAN (E-UTRAN) και το EPC αναφέρονται ως το Evolved Packet System (EPS).



Εικόνα 1.3 Εξέλιξη Αρχιτεκτονικής Συστήματος LTE

Ο συνδυασμός του LTE και του SAE (LTE-SAE) προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

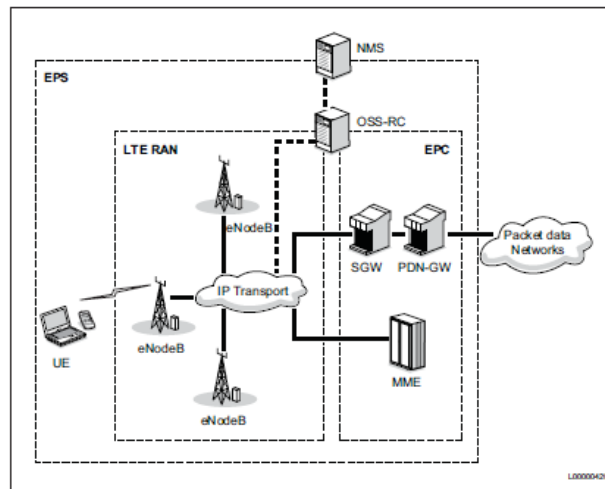
- Ευέλικτη κατανομή και χρήση ζωνών συχνοτήτων, η οποία επιτρέπει την εκ νέου καλλιέργεια φάσματος 2G.
- Μειωμένο κόστος ιδιοκτησίας, λόγω λιγότερων κόμβων / τύπων κόμβων στο δίκτυο, λιγότερων διεπαφών στο RAN, καθώς και της ενοποιημένης υποδομής που βασίζεται στην μεταφορά IP.
- Αυξημένες ταχύτητες δεδομένων σε downlink και uplink σε σύγκριση με το HSPA, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών του LTE.
- Ευρύτερη υποστήριξη των επιλογών κινητικότητας μεταξύ των τεχνολογιών (π.χ. μεταβίβαση σε / από κόμβους πρόσβασης 3GPP2, WLAN ή WiMax).
- Καμία ή τουλάχιστον μειωμένη απώλεια πακέτων κατά τη διάρκεια των παρεμβάσεων inter-eNodeB, η οποία είναι επωφελής για τις υπηρεσίες που βασίζονται στο TCP.
- Χαμηλή καθυστέρηση λόγω του μειωμένου αριθμού κόμβων, γεγονός που είναι επωφελές για τις υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο.

### 1.2.1 Δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων LTE – Radio Access Network

Το RAN παρέχει τις συνδέσεις πρόσβασης μεταξύ του χρήστη (UE) και του EPC. Οι σύνδεσμοι πρόσβασης χωρίζονται σε επίπεδο χρήστη (user plane) και επίπεδο ελέγχου (control plane). Το επίπεδο

χρήστη μεταφέρει το ωφέλιμο φορτίο δεδομένων του χρήστη. Το επίπεδο ελέγχου είναι υπεύθυνο για την σηματοδότηση ελέγχου και τη διαχείριση του επιπέδου χρήστη. Το RAN αποτελείται από:

- Όλους τους κόμβους ραδιοσυστήματος στο δίκτυο του παρόχου. Το LTE RAN χρησιμοποιεί μια επίπεδη αρχιτεκτονική με έναν μόνο τύπο κόμβου - τον εξελιγμένο κόμβο B (eNodeB, eNB). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το eNodeB είναι μια λογική οντότητα και όχι μια φυσική εφαρμογή. Το eNodeB υποστηρίζει τη διεπαφή αέρα LTE (AIR interface) και παρέχει επίσης τη λειτουργία μεταγωγής πακέτου ενός παραδοσιακού ελεγκτή δικτύου. Ως αποτέλεσμα, το E-UTRAN δεν απαιτεί ξεχωριστό στοιχείο δικτύου RNC<sup>9</sup>.
- Διεπαφή για την επικοινωνία του RAN με το Σύστημα Υποστήριξης Παρόχου (OSS -RC, Operator Support System-Radio and Core).
- IP υποδομή του δικτύου. Το eNodeB είναι ο μοναδικός κόμβος του E-UTRAN στο δίκτυο που μεταφέρει και ελέγχει την κυκλοφορία ωφέλιμου φορτίου, οπότε και δεν υπάρχει κάποια άλλη απαίτηση για πρόσβαση σε δίκτυο IP στο τμήμα ραδιοεκπομπής.



Εικόνα 1.4 Επισκόπηση LTE RAN σε EPS

<sup>9</sup> <http://www.ti.com/lit/ml/sprp501/sprp501.pdf>



Το eNodeB είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση και λήψη από το UE. Αυτό περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Διαχείριση ραδιο πόρων (Radio Resource Management - RRM)
- Έλεγχος εισαγωγής του χρήστη στο δίκτυο (admission control)
- Έλεγχος φέροντος (Radio Bearer control)
- Χρονοπρογραμματισμός δεδομένων χρήστη (scheduling)
- Έλεγχος της σηματοδότησης στο πεδίο του ραδιοφάσματος
- Κρυπτογράφηση δεδομένων χρήστη στο πεδίο ραδιοφάσματος
- Συμπίεση κεφαλίδα πακέτου IP στο πεδίο ραδιοφάσματος

Η περιοχή που καλύπτεται από ένα ενιαίο eNodeB μπορεί να χωριστεί σε μια ή περισσότερες - συνήθως τρεις κυψέλες (cells) LTE.

Από την πλευρά του δικτύου, όλες οι παραπάνω λειτουργίες καλύπτονται από τα eNodeBs. Κάθε eNodeB είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση πολλαπλών κυψελών. Σε αντίθεση με ορισμένες προηγούμενες τεχνολογίες δεύτερης και τρίτης γενιάς, το LTE ενσωματώνει τη λειτουργία του RNC στο eNodeB. Αυτό επιτρέπει τη καλύτερη αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών πρωτοκόλλων του δικτύου ραδιοεπικοινωνίας, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα. Ένας τέτοιος καταναμημένος έλεγχος εξαλείφει την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού ελεγκτή με υψηλή επεξεργαστική ισχύ και μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, όπως είναι το RNC στο δίκτυο 3G, μειώνοντας το κόστος του συστήματος και αποφεύγοντας την ύπαρξη μεμονωμένων σημείων αστοχίας στο σύστημα. Επιπλέον, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για κεντρικό έλεγχο, όπως μετακινείται το UE, το δίκτυο πρέπει να μεταφέρει όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με το UE, όπως το UE context και ότι πληροφορία είναι αποθηκευμένη από το ένα eNodeB στο επόμενο.

Το OSS-RC είναι το σύστημα διαχείρισης για τα υποδίκτυα κορμού, GSM, WCDMA, RAN και LTE του συνολικού δικτύου. Το OSS-RC παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

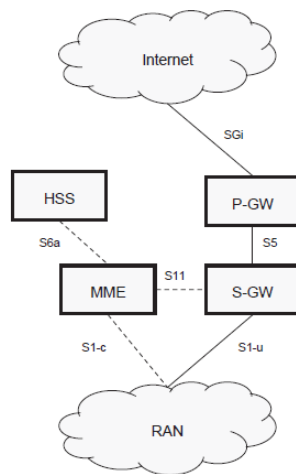
- Ενοποιημένη προβολή πληροφοριών δικτύου, όπως πληροφορίες για συναγερμούς λειτουργίας, ρυθμίσεις του δικτύου και δείκτες ποιότητας απόδοσης.
- Πολλές διεπαφές για εύκολη ενσωμάτωση και επικοινωνία με άλλα περιβάλλοντα διαχείρισης δικτύου.

Οι πάροχοι χρησιμοποιούν το OSS-RC για την εκτέλεση εργασιών διαχείρισης δικτύου στα κέντρα δικτύου τους.

Το δίκτυο μεταφοράς IP παρέχει διασύνδεση μεταξύ των eNodeBs και των κόμβων στο δίκτυο EPC, μεταξύ των επιμέρους eNodeB και μεταξύ των eNodeBs και του OSS-RC. Η μεταφορά δεδομένων βασίζεται σε IP, επιτρέποντας μια σειρά φυσικών στρωμάτων. Τα πρωτόκολλα UDP και TCP χρησιμοποιούνται στο επίπεδο μεταφοράς. Για την επικοινωνία με το OSS-RC χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα που εξαρτώνται από τον κατασκευαστή του εκάστοτε εξοπλισμού.

### 1.2.2 Evolved Packet Core - EPC

Το EPC αποτελεί ριζική εξέλιξη σε σχέση με το δίκτυο κορμού που χρησιμοποιούνταν στις τεχνολογίες GSM / GPRS και WCDMA / HSPA. Η μεγάλη διαφορά έγκειται στο ότι το EPC υποστηρίζει αποκλειστικά μεταγωγή πακέτων και όχι μεταγωγή κυκλώματος όπως συνέβαινε στο δίκτυο κορμού των προηγούμενων τεχνολογιών. Το EPC αποτελεί πρακτικά ένα IP-based δίκτυο μεταξύ του δικτύου RAN και άλλων δικτύων. Στο επίπεδο χρήστη, το EPC συνδέει το RAN με το SGW και στο επίπεδο ελέγχου με το MME. Το PDN-GW παρέχει τη διασύνδεση του επιπέδου χρήστη με άλλα δίκτυα πακέτων δεδομένων. Η λύση της Ericsson για τους κόμβους SGW και PDN-GW συνοψίζεται στο Coverage Packet Gateway (CPG) που ενσωματώνει τόσο το SGW όσο και το PDN-GW.



Εικόνα 1.5 Δίκτυο Κορμού - EPC

Το EPC είναι υπεύθυνο για τον συνολικό έλεγχο χρηστών και την εγκατάσταση των bearers. Οι κύριοι λογικοί κόμβοι του EPC είναι:

PDN Gateway (P-GW): είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση του EPC στο διαδίκτυο. Ειδικότερα είναι υπεύθυνο για:

- Κατανομή διεύθυνσης IP στους χρήστες, παρακολούθηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και πολιτικής κοστολόγησης σύμφωνα με τους κανόνες της PCRF (βλ. Παρακάτω).
- Το P-GW είναι υπεύθυνο για το φιλτράρισμα των downlink IP πακέτων χρήστη στα διαφορετικά bearers που βασίζονται σε δεδομένο QoS. Αυτό εκτελείται με βάση πρότυπα ροής κυκλοφορίας (Traffic Flow Templates -TFT).
- Το P-GW διασφαλίζει το αναγκαίο QoS για bearers εγγυημένου ρυθμού μετάδοσης (Guaranteed Bit Rate - GBR).
- Χρησιμεύει επίσης ως άγκυρα κινητικότητας για συνεργασίες με τεχνολογίες εκτός 3GPP, όπως δίκτυα CDMA2000 και WiMAX.

Serving Gateway (S-GW): είναι ο κόμβος του επιπέδου χρήστη που συνδέει το EPC με το LTE RAN. Το S-GW λειτουργεί ως άγκυρα κινητικότητας όταν οι συσκευές κινούνται μεταξύ eNodeBs, καθώς και μεταξύ άλλων τεχνολογιών 3GPP. Η συλλογή πληροφοριών και στατιστικών στοιχείων που

απαιτούνται για τη χρέωση πραγματοποιείται επίσης από το S-GW.

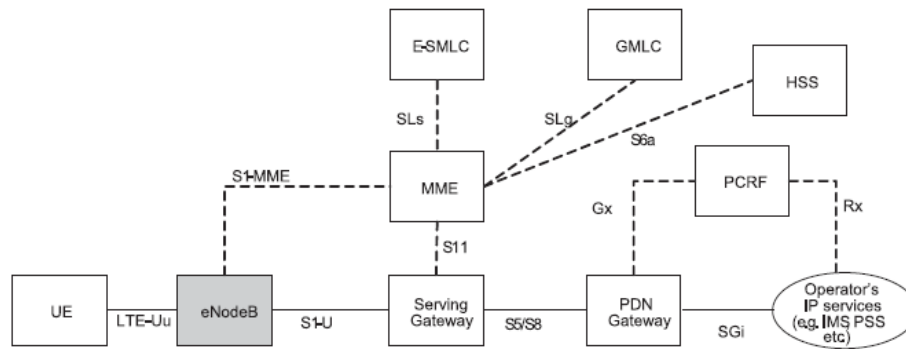
Mobility Management Entity-MME: παρέχει τις λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου στο δίκτυο EPC. Τα πρωτόκολλα που εκτελούνται μεταξύ του UE και του CN είναι γνωστά ως πρωτόκολλα Non-Access Stratum (NAS).

Οι βασικές λειτουργίες που υποστηρίζονται από το MME είναι οι παρακάτω:

- Λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση των bearers. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία, τη συντήρηση και απελευθέρωση των bearers, και εκτελείται από το στρώμα διαχείρισης συνόδου στο πρωτόκολλο NAS.
- Λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση σύνδεσης. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία της σύνδεσης και ασφάλειας μεταξύ του δικτύου και του UE και εκτελείται από το στρώμα διαχείρισης σύνδεσης ή κινητικότητας στο επίπεδο πρωτοκόλλου NAS.
- Λειτουργίες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση με άλλα δίκτυα. Αυτό περιλαμβάνει την παράδοση φωνητικών κλήσεων σε δίκτυα παλαιού τύπου όταν δεν υποστηρίζεται η λειτουργία VoLTE.

Evolved Serving Mobile Location Center (E-SMLC): διαχειρίζεται το συνολικό συντονισμό και τον προγραμματισμό των πόρων που απαιτούνται για την εύρεση της θέσης ενός UE που είναι συνδεδεμένο με το E-UTRAN. Υπολογίζει επίσης την τελική θέση βάσει των εκτιμήσεων που λαμβάνει και εκτιμά την ταχύτητα UE και την επιτευχθείσα ακρίβεια.

Εκτός από αυτούς τους κόμβους, το EPC περιλαμβάνει επίσης άλλους λογικούς κόμβους και λειτουργίες όπως το Gateway Mobile Location Centre (GMLC), το Home Subscriber Server-HSS και το Policy Control and Charging Rules Function -PCRF. Δεδομένου ότι το EPS παρέχει bearer μόνο για συγκεκριμένο QoS, ο έλεγχος των εφαρμογών πολυμέσων όπως το VoIP παρέχεται από το IMS που βρίσκεται εκτός του ίδιου του EPS. Όταν ένας χρήστης περιαγάγετε έξω από το δίκτυο της χώρας καταγωγής του, τα P-GW, GMLC και IMS του χρήστη μπορούν να βρίσκονται είτε στο οικείο δίκτυο είτε στο δίκτυο επίσκεψης. Το EPC συνοψίζεται σχηματικά παρακάτω.



Εικόνα 1.6 Δίκτυο EPC

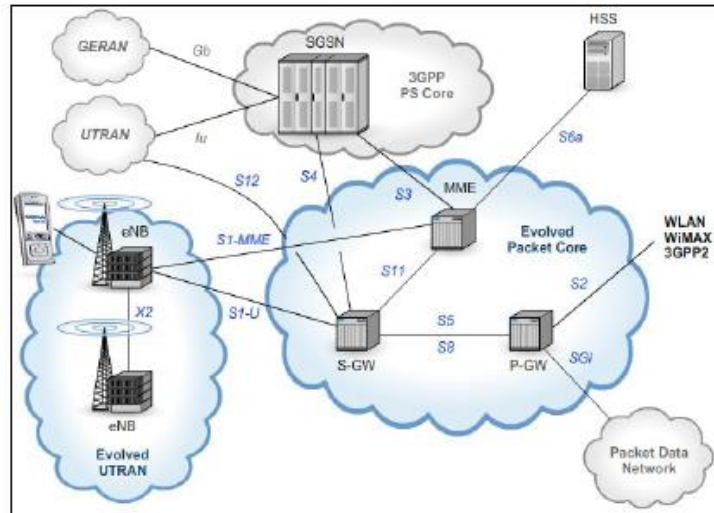
### 1.2.3 Επισκόπηση διεπαφών

Οι διάφορες διεπαφές (interfaces) στο δίκτυο LTE χωρίζονται σε εσωτερικές διεπαφές και εξωτερικές διεπαφές. Οι εσωτερικές διεπαφές χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ κόμβων στο δίκτυο LTE, ενώ οι εξωτερικές διεπαφές χρησιμοποιούνται για επικοινωνία μεταξύ ενός κόμβου στο δίκτυο LTE και ενός κόμβου που βρίσκεται εξωτερικά του δικτύου LTE.

Γενικά, οι διεπαφές που ορίζονται στην αρχιτεκτονική LTE SAE παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.7 και αναφέρονται παρακάτω:

- Η διεπαφή αέρα (air interface)
- Η διεπαφή S1 μεταξύ EUTRAN και EPC
- Οι διεπαφές X2 και S11 που απαιτούνται κατά τη διάρκεια inter-enodeB handover
- Οι διεπαφές S3 και S4 που απαιτούνται κατά τη διάρκεια των μεταβιβάσεων μεταξύ συστημάτων στο 3GPP (intersystem handover)
- Οι διασυνδέσεις S5 και S8 μεταξύ Gateway Serving και Gateway PDN
- Η διεπαφή S6a προς τον κεντρικό διακομιστή συνδρομητών (HSS)
- Η διασύνδεση S12 προς το δίκτυο UMTS

- Η διεπαφή S2 προς διάφορους τύπους δικτύων πρόσβασης εκτός 3GPP
- Η διασύνδεση SGi προς διάφορους τύπους δικτύων πακέτων δεδομένων



Εικόνα 1.7 Επισκόπηση διεπαφών

Ορισμένες από τις διεπαφές αφορούν το επίπεδο χρήστη, κάποιες το επίπεδο ελέγχου και κάποιες το συνδυασμό τους. Στα παρακάτω υποκεφάλαια αναλύονται οι λειτουργίες της κάθε διεπαφής.

### 1.2.3.1 Διεπαφή Uu

Η διεπαφή ραδιοσυχνότητας, που ονομάζεται LTE-Uu σε όρους 3GPP, είναι μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη (UE) και του eNodeB. Στο επίπεδο ελέγχου, η διεπαφή LTE-Uu μεταφέρει μηνύματα σηματοδότησης ελέγχου ραδιοφάσματος (Radio Resource Control -RRC) μεταξύ του UE και του eNodeB. Το πρωτόκολλο RRC μεταφέρει επίσης πληροφορίες που δεν σχετίζονται με το EUTRAN, τις αποκαλούμενες πληροφορίες σηματοδότησης του Non-Access Stratum (NAS), μεταξύ του UE και του MME.

### 1.2.3.2 Διεπαφή S1

Η διεπαφή S1 συνδέει το eNodeB στο δίκτυο κορμού και μπορεί να διαχωριστεί μεταξύ των διεπαφών S1-MME και S1-U.

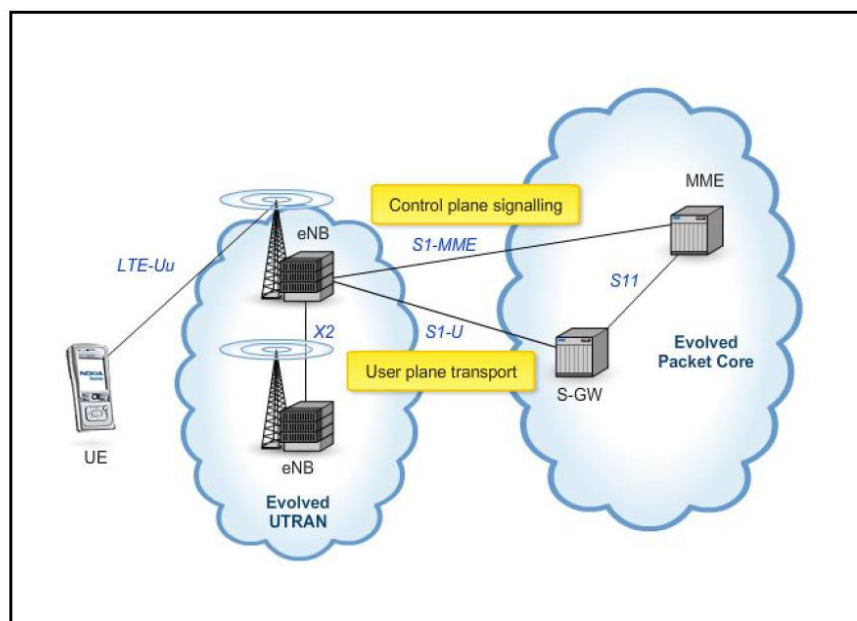
Η διεπαφή S1-MME μεταφέρει πληροφορίες σηματοδότησης επιπέδου ελέγχου μεταξύ του eNodeB και του MME. Στη διεπαφή S1-MME, τα δεδομένα σηματοδότησης σχετίζονται με τη διαχείριση

της κινητικότητας, παραδείγματος χάρη σε περιπτώσεις inter eNodeB handover, ή με άλλες διαχειριστικές λειτουργίες, για παράδειγμα στη διαχείριση του S1 signaling bearer.

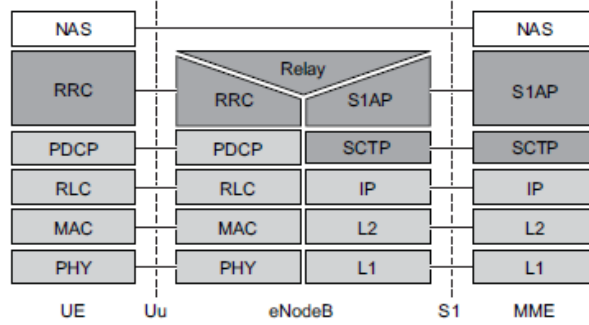
Η διεπαφή S1 είναι η διεπαφή μεταξύ του eNodeB και του Serving Gateway. Μεταφέρει τα δεδομένα του επιπέδου χρήστη μέσω μιας τέτοιας σήραγγας GTP. Στη διασύνδεση S1-U, το πρωτόκολλο σήμανσης GPRS για το επίπεδο χρήστη (GTP-U) περικλείει τα πακέτα IP που μεταφέρονται μέσω της σήραγγας GTP μεταξύ του eNodeB και του Serving Gateway. Αυτός ο μηχανισμός που ονομάζεται tunneling, χρησιμοποιείται εκτενώς στην αρχιτεκτονική δικτύου LTE / SAE.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι οι πληροφορίες του επιπέδου ελέγχου και τα δεδομένα του επιπέδου χρήστη μεταφέρονται κατά μήκος διαφορετικών διαδρομών μεταξύ του eNodeB και του EPC. Στο δίκτυο κορμού, η διεπαφή τερματίζεται στο SGW στο επίπεδο χρήστη και στο MME για το επίπεδο ελέγχου. Η διεπαφή S1 είναι μια διασύνδεση πολλών προς πολλά. Κάθε eNodeB μπορεί να συνδεθεί σε πολλά MME και SGW. Κάθε MME και SGW μπορεί να συνδεθεί σε πολλά eNodeB.

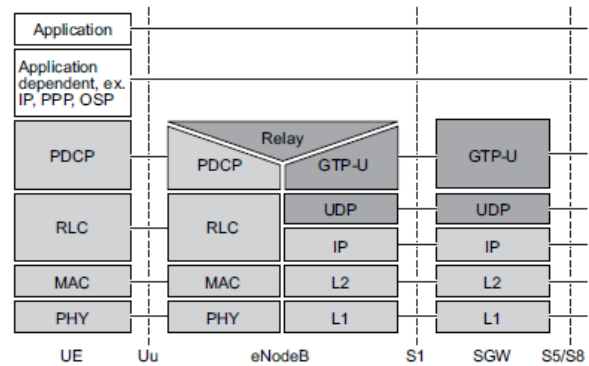
Στην Εικόνα 1.8, παρουσιάζονται οι διασυνδέσεις που συζητήθηκαν μέχρι στιγμής και στις εικόνες 1.9 και 1.10 τα πρωτόκολλα ελέγχου και χρηστών αντίστοιχα.



Εικόνα 1.8 Διεπαφές κυκλώματος UE



Εικόνα 1.9 Πρωτοκόλλα επιπέδου ελέγχου από Uu έως MME



Εικόνα 1.10 Πρωτοκόλλα επιπέδου χρήστη από Uu έως SGW

Πρωτόκολλο	Περιγραφή
GTP-U	General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol for User
Plane	IP Internet Protocol
L1	Layer 1
L2	Layer 2



Πρωτόκολλο	Περιγραφή
MAC	<p>Medium Access Control</p> <p>Οι κύριες λειτουργίες για το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) είναι:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• HARQ</li> <li>• Πολλαπλασιασμός λογικών καναλιών στα κανάλια μεταφοράς</li> <li>• Προγραμματισμός δεδομένων χρήστη και ελέγχου μέσω της διασύνδεσης αέρα</li> <li>• Προσαρμογή σύνδεσης</li> </ul> <p>Κατά την επιλογή μεγέθους μπλοκ μεταφοράς, η MAC (Scheduler) αλληλοεπιδρά με την RLC για να αποκτήσει το σωστό μέγεθος μονάδας δεδομένων πρωτοκόλλου RLC για το μπλοκ μεταφοράς. Το MAC προσφέρει έναν αριθμό λογικών καναλιών στο RLC. Ένα λογικό κανάλι χαρακτηρίζεται από το είδος των πληροφοριών που μεταφέρονται.</p> <p>Το πρωτόκολλο καθορίζεται στο 3GPP TS 36.321.</p>
NAS	<p>Non-Access Stratum</p> <p>Το NAS είναι το πρωτόκολλο σηματοδότησης του δικτύου κορμού για το επίπεδο ελέγχου. Το πρωτόκολλο καθορίζεται στο 3GPP TS 24.301</p>
OSP	<p>Open Settlement Protocol</p>
PDCP	<p>Packet Data Convergence Protocol</p> <p>Το PDCP χρησιμοποιείται τόσο στο επίπεδο ελέγχου όσο και στο επίπεδο χρήστη και εκτελεί προστασία ακεραιότητας κατά τη συμπίεση της κεφαλίδας και κρυπτογράφηση. Η κρυπτογράφηση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε σηματοδότηση RRC όσο και σε δεδομένα χρήστη. Η συμπίεση κεφαλίδων ισχύει μόνο για τα δεδομένα χρήστη. Η προστασία ακεραιότητας ισχύει μόνο για τη σηματοδότηση RRC. Οι</p>

Πρωτόκολλο	Περιγραφή
	<p>μονάδες δεδομένων εξυπηρετητή PDCP επιπέδου χρηστών (SDU) μεταφέρονται στο πρωτόκολλο RLC μέσω της διεπαφής χρήστη S1. Σε handover, τα PDCP PDUs και SDU μπορούν να προωθηθούν από την πηγή eNodeB στο eNodeB στόχο μέσω της διεπαφής X2.</p>
PHY	<p>Physical Layer</p> <p>Το φυσικό επίπεδο περιγράφεται στην ενότητα 4. Η λειτουργία του κατά 3GPP βασίζεται στη τεχνική έκθεση 3GPP TS 36.201.</p>
PPP	<p>Point to Point Protocol</p>
RLC	<p>Radio Link Control</p> <p>Το πρωτόκολλο RLC παρέχει αξιόπιστη μετάδοση μέσω της διασύνδεσης αέρα και παρέχει τις παρακάτω λειτουργίες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Παράδοση σε σειρά</li> <li>• Αναγνωρισμένη λειτουργία (Acknowledged Mode - AM)</li> <li>• Μη αναγνωρισμένη λειτουργία (Unacknowledged Mode - UM)</li> <li>• Διαφανή λειτουργία (Transparent Mode - TM)</li> <li>• Τμηματοποίηση και επανασυναρμολόγηση</li> <li>• Διασύνδεση με το αίτημα αυτόματης επανάληψης (HARQ) για τον εντοπισμό των απαιτούμενων αναμεταδόσεων.</li> </ul> <p>Η τμηματοποίηση και η επανασυναρμολόγηση βασίζονται στο μέγεθος του μπλοκ μεταφοράς που επιλέγεται από το MAC κατά τη μετάδοση και την αναμετάδοση. Το πρωτόκολλο καθορίζεται στο 3GPP TS 36.322.</p>

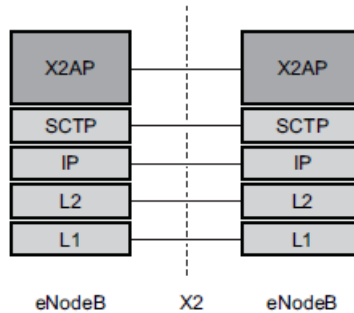
Πρωτόκολλο	Περιγραφή
RRC	<p>Radio Resource Control</p> <p>Το πρωτόκολλο RRC χειρίζεται τη σηματοδότηση που σχετίζεται από το eNodeB προς το UE.</p> <p>Παραδείγματα λειτουργιών περιλαμβάνουν:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μετάδοση πληροφοριών συστήματος</li> <li>• Διαχείριση σύνδεσης RRC</li> <li>• Διαχείριση radio bearer</li> <li>• Μετρήσεις και reporting του UE</li> </ul> <p>Το πρωτόκολλο καθορίζεται στο 3GPP TS 36.331.</p>
S1AP	S1 Application Protocol
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
UDP	UDP User Datagram Protocol

Πίνακας 1.1: Πρωτόκολλα UE στο δίκτυο κορμού

### 1.2.3.3 Διεπαφή X2

Η διεπαφή X2 παρέχει συνδέσεις μεταξύ των eNodeBs και υποστηρίζει την κινητικότητα (mobility) για UE σε συνδεδεμένη λειτουργία (connected mode). Πρόκειται για μια διεπαφή πολλών προς πολλούς, έτσι ώστε κάθε eNodeB να μπορεί να συνδεθεί με πολλά άλλα eNodeB. Στο επίπεδο χρήστη, η διασύνδεση X2 μεταφέρει τα δεδομένα χρήστη μεταξύ της πηγής και του στόχου eNodeB. Για το σκοπό αυτό, δημιουργείται ένα GPRS tunneling protocol για επίπεδο χρήστη μέσω της διασύνδεσης X2, που

ενσωματώνει τα πακέτα IP του τελικού χρήστη που μεταφέρονται μέσω της σήραγγας GTP. Η στοίβα πρωτοκόλλου είναι ίδια με αυτή της διεπαφής S1-U.



Εικόνα 1.11 Πρωτοκόλλα επιπέδου ελέγχου X2

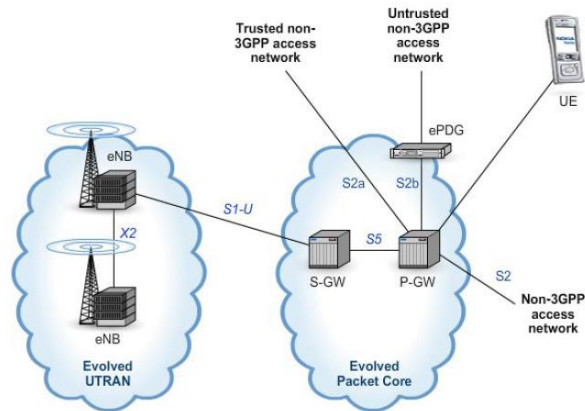
#### 1.2.3.4 Διεπαφή S2

Η διεπαφή S2 παρέχει συνδεσιμότητα προς ένα δίκτυο πρόσβασης 3GPP, για παράδειγμα, ένα δίκτυο δεδομένων συμβατό με ασύρματο LAN (WLAN), WiMax ή 3GPP2. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της διασύνδεσης S2.

Η διεπαφή S2a εκτείνεται προς ένα αξιόπιστο δίκτυο πρόσβασης 3GPP. Στο επίπεδο ελέγχου, το πρωτόκολλο εφαρμογής είναι είτε Mobile IP είτε Proxy Mobil IP. Στο επίπεδο χρήστη, στην περίπτωση διασύνδεσης προς ένα δίκτυο δεδομένων 3GPP2, δημιουργείται μια σήραγγα PMIP μεταξύ της πύλης PDN και του δικτύου δεδομένων 3GPP2.

Το S1b χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση με ένα μη αξιόπιστο δίκτυο πρόσβασης 3GPP, στο οποίο ένα νέο στοιχείο δικτύου, η εξελεγμένη πύλη δεδομένων πακέτων (ePDG), λειτουργεί ως πύλη μεταξύ της πύλης PDN και του μη αξιόπιστου δικτύου πρόσβασης.

Τέλος, η διεπαφή S2c επεκτείνεται απευθείας στο UE, μέσω είτε ενός αξιόπιστου είτε μη αξιόπιστου δικτύου πρόσβασης 3GPPS.



Εικόνα 1.12 Διεπαφή S2

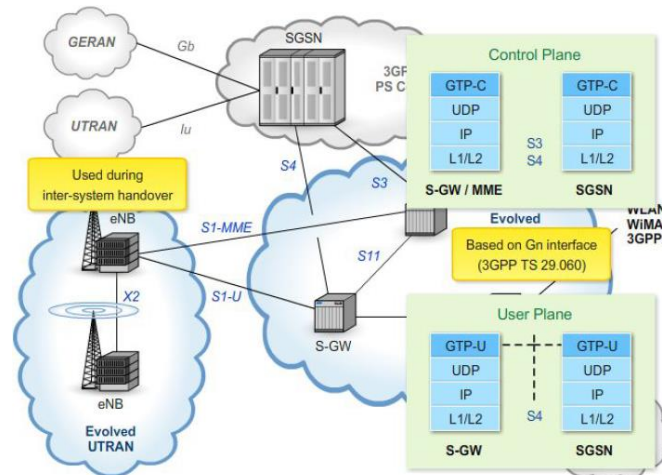
### 1.2.3.5 Διεπαφή S3 και S4

Η S3 είναι η διασύνδεση μεταξύ του MME και του SGSN ενός packet switched δικτύου κορμού 2G / 3G (PS Core). Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ χρηστών και κομιστή κατά τη διάρκεια handover μεταξύ των συστημάτων του δικτύου LTE και ενός δικτύου 3GPP που δεν είναι LTE.

Η διασύνδεση S4 είναι μεταξύ του Serving Gateway και του SGSN. Αυτή η διεπαφή παρέχει μια σήραγγα GTP για τα δεδομένα του επιπέδου χρήστη κατά τη διάρκεια της παράδοσης μεταξύ των συστημάτων, καθώς και τη σχετική σηματοδότηση του επιπέδου ελέγχου.

Στο επίπεδο ελέγχου S3 και S4, το πρωτόκολλο εφαρμογής είναι το πρωτόκολλο σήραγγας (Tunneling Protocol) GPRS για το επίπεδο ελέγχου (GTP-C).

Η δομή διασύνδεσης S3 και S4 βασίζεται στη διεπαφή Gn μεταξύ του SGSN και του κόμβου υποστήριξης GPRS Gateway (GGSN) όπως ορίζεται στο τεχνικό έγγραφο 3GPP 29.060 και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 1.13 Διεπαφές και πρωτόκολλα S3 και S4

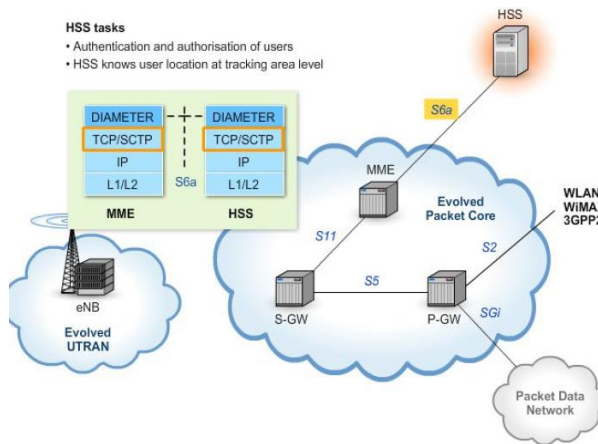
### 1.2.3.5 Διεπαφές S5, S8, S6a

Η διεπαφή S5 βρίσκεται μεταξύ του Serving Gateway και του PDN Gateway. Αφορά τη σήραγγα του χρήστη και τη σχετική διαχείριση των σηράγγων. Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται επίσης κατά τη διάρκεια μιας μετεγκατάστασης Gateway.

Η διεπαφή S8 είναι παρόμοια με τη διασύνδεση S5, αλλά σε αυτή την περίπτωση το Serving Gateway και το PDN Gateway ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα χειριστών.

Η διεπαφή S6a χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων συνδρομής και ελέγχου ταυτότητας μεταξύ του HSS και του MME. Το HSS είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των προφίλ χρηστών και για την εκτέλεση του ελέγχου ταυτότητας των χρηστών. Τα προφίλ χρηστών που διαχειρίζεται το HSS συνίστανται κυρίως από συνδρομές και πληροφορίες ασφαλείας. Το HSS γνωρίζει επίσης μέσα σε ποιες περιοχές ή περιοχές παρακολούθησης μπορεί να εντοπιστεί ο χρήστης.

Το πρωτόκολλο εφαρμογής στο S6a είναι DIAMETER όπως ορίστηκε στο RFC 3588 και μεταφέρεται στο επίπεδο δικτύου μέσω TCP ή SCTP και όχι UDP.



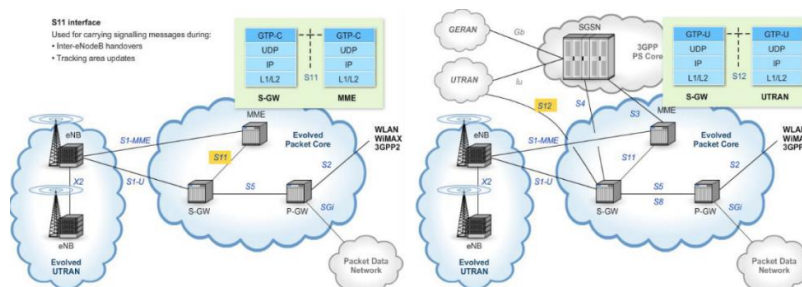
Εικόνα 1.14 Διεπαφές και πρωτόκολλα S5 S8 S6a

### 1.2.3.6 Διεπαφές S11 και S12

Η διεπαφή S11 χρησιμοποιείται για σήραγγα μηνυμάτων σηματοδότησης μεταξύ του Serving Gateway και του MME. Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται αρχικά για το χειρισμό των bearers δεδομένων κατά τη διάρκεια inter eNodeB handover. Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται επίσης κατά την ενημέρωση περιοχής παρακολούθησης (tracking area update).

Η διεπαφή S12 δημιουργεί μια άμεση σήραγγα μεταξύ του Serving Gateway και του UTRAN, για τη μεταφορά δεδομένων χρήστών. Σε αυτή την προσέγγιση, το δίκτυο SGSN ή το δίκτυο πακέτων κορμού παρακάμπτεται πλήρως, ωστόσο το SGSN απαιτείται στο επίπεδο ελέγχου όταν ρυθμίζεται ή απελευθερώνεται η άμεση σήραγγα μέσω της διεπαφής S12.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, η διεπαφή S12 είναι παρόμοια με τη διεπαφή Iu-PS μεταξύ της διασύνδεσης SGSN και UTRAN ή της διεπαφής Gn μεταξύ των SGSN και GGSN.

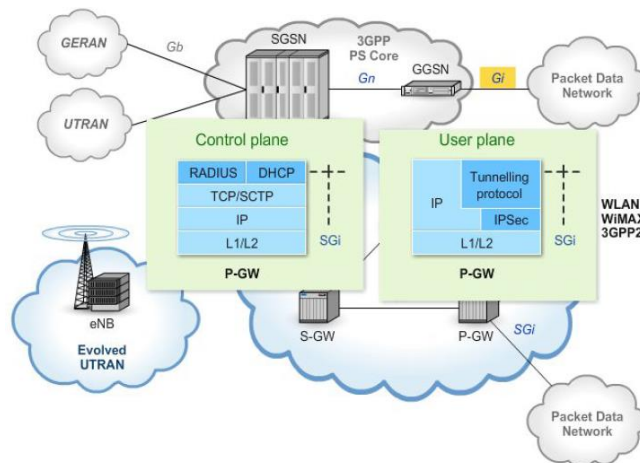


Εικόνα 1.15 Διεπαφές και πρωτόκολλα S11 S12

### 1.2.7 Διεπαφή SGi

Τέλος, η διεπαφή SGi βρίσκεται μεταξύ του PDN Gateway και του PDN. Το PDN μπορεί να είναι σε εξωτερικό δημόσιο ή ιδιωτικό δίκτυο IP ή σε ένα δίκτυο IP που ανήκει στον πάροχο (παραδείγματος χάρη IMS). Στην πράξη το SGi είναι το ίδιο με τη διεπαφή Gi μεταξύ του GGSN και του δικτύου πακέτων δεδομένων.

Η διεπαφή SGi υποστηρίζει υπηρεσίες όπως το RADIUS και το DHCP στο επίπεδο ελέγχου και παρέχει λειτουργικότητα για τη δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων χρηστών στο επίπεδο χρήστη. Απαιτείται ένα πρωτόκολλο σήραγγας στην περίπτωση λύσεων μεταφοράς που βασίζονται σε VPN.



Εικόνα 1.16 Διεπαφές και πρωτόκολλα SGi

### 1.3 Διεπαφή αέρα LTE (Air Interface)

Η διεπαφή αέρα LTE (αποκαλούμενη επίσης διεπαφή ραδιοσυχνοτήτων- air/radio interface) παρέχει τις ακόλουθες τεχνολογικές λύσεις στο επίπεδο φυσικού στρώματος:

- Προσφέρει ποικιλία εύρους ζώνης μεταξύ 1,4MHz και 20 MHz.
- Η διακίνηση κατερχόμενη ζεύξης (Downlink) και ανερχόμενη ζεύξης (uplink) διαχωρίζεται μεταξύ της χρήσης είτε αμφίδρομης διαίρεσης συχνότητας (FDD) είτε αμφίδρομης διαίρεσης χρόνου (TDD).



- Τα διαφορετικά σήματα συνδυάζονται χρησιμοποιώντας την Ορθογώνια Διαίρεση Πολλαπλής Πρόσβασης (Orthogonal Division Multiple Access-OFDMA) στο downlink και τον Single Carrier FDMA (SC-FDMA) στο uplink.
- Οι λύσεις Πολλαπλών Εισόδων Πολλαπλών Εξόδων (Multiple Input Multiple Output-MIMO) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, για την αύξηση της φασματικής απόδοσης και συνεπώς της χωρητικότητας του δικτύου πρόσβασης.
- Το αίτημα Hybrid Automatic Repeat (HARQ) προσφέρει γρήγορη αναμετάδοση λανθασμένων ροών δεδομένων.
- Η εξειδικευμένη σε UE κρυπτογράφηση των δεδομένων αυξάνει την ασφάλεια του συστήματος.
- Οι επιλογές διαμόρφωσης είναι QPSK, 16-QAM και 64-QAM.
- Σχετικά με την κωδικοποίηση του καναλιού, είναι διαθέσιμες αρκετές επιλογές κωδικοποίησης, turbo κωδικοποίηση και περιστροφή.

Τα παραπάνω σημεία απεικονίζονται και στην Εικόνα 1.17.



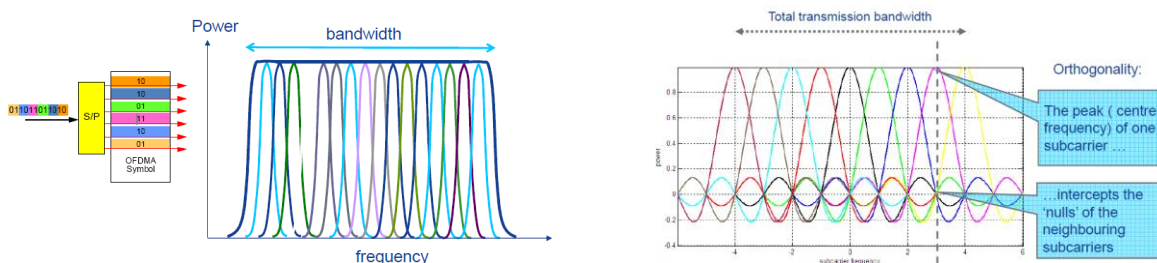
Εικόνα 1.17 Λύσεις διεπαφή αέρα LTE στο φυσικό στρώμα

Η έκδοση 8 είναι η πρώτη έκδοση LTE και αποτελεί τη βάση για τις ακόλουθες εκδόσεις. Λόγω των χρονικών περιορισμών για την εργασία έκδοσης 8, ορισμένα μικρότερα χαρακτηριστικά που

σχεδιάστηκαν αναβλήθηκαν για την έκδοση 9, τα οποία έτσι μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος του βασικού πλαισίου LTE. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται οι βασικές λειτουργίες του LTE στις εκδόσεις 8 και 9.

### 1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς

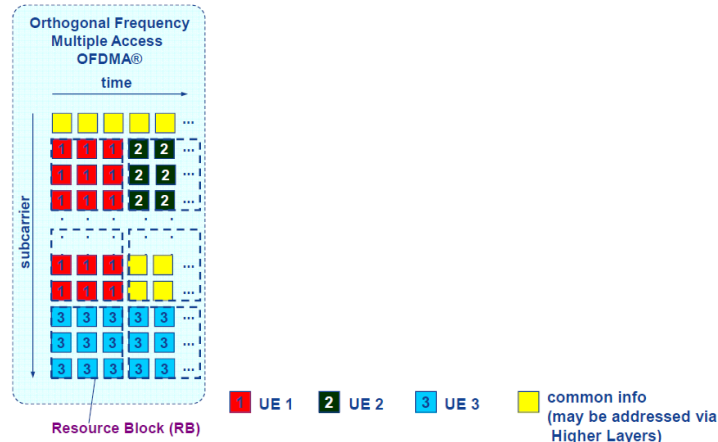
Στη καθοδική ζεύξη (downlink), η εκπομπή δεδομένων αξιοποιεί την πολυπλεξία OFDMA. Με το OFDM, το εύρος ζώνης του καναλιού χωρίζεται σε subcarriers με μικρότερο εύρος ζώνης. Κάθε subcarrier λειτουργεί σε διαφορετική, ισαπέχουσα κεντρική συχνότητα. Τα bits πληροφορίας διαμορφώνονται και μεταδίδονται ταυτόχρονα σε κάθε subcarrier κατά τη διάρκεια ενός συμβόλου. Τα δεδομένα αποστέλλονται παράλληλα σε ολόκληρο το σύνολο των subcarriers και κάθε subcarrier μεταφέρει μόνο ένα μέρος της συνολικής πληροφορίας. Η απόδοση του συστήματος (throughput) είναι το άθροισμα των data rates κάθε μεμονωμένου (ή χρησιμοποιημένου) subcarrier, ενώ η ισχύς κατανέμεται σε όλους τους χρησιμοποιούμενους subcarriers.



Εικόνα 1.18 Μετάδοση OFDM

Τα δεδομένα που πρέπει να αποστέλλονται σε ένα ορισμένο UE κωδικοποιούνται πρώτα και στη συνέχεια διαμορφώνονται σε έναν αριθμό subcarriers και διαδοχικά OFDM σύμβολα. Ένα διάστημα προστασίας (guard interval), που ονομάζεται επίσης κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix), εισάγεται πριν από κάθε σύμβολο OFDM. Αυτό το διάστημα προστασίας είναι απαραίτητο για να αποφευχθεί η διασυμβολική παρεμβολή λόγω καθυστέρησης εξάπλωσης (delay spreading) του καναλιού.

Τα δεδομένα κατανέμονται στα UE σε μπλοκ φυσικών πόρων (Physical Resource Blocks - PRBs). Ένα PRB αποτελείται από 12 διαδοχικούς subcarriers στο εύρος συχνοτήτων. Κάθε PRB περιλαμβάνει 6 ή 7 σύμβολα OFDM, ανάλογα με το μήκος του διαστήματος προστασίας. Ανάλογα με τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων και το χρονοπρογραμματισμό (scheduling) που εκτελείται στο eNodeB, σε κάθε UE θα εκχωρηθεί μηδέν, ένα ή περισσότερα RBs. Ακολουθεί ένα παράδειγμα του τρόπου κατανομής των χρηστών σε ένα RB, παρέχοντας πολλαπλή πρόσβαση στο σύστημα.

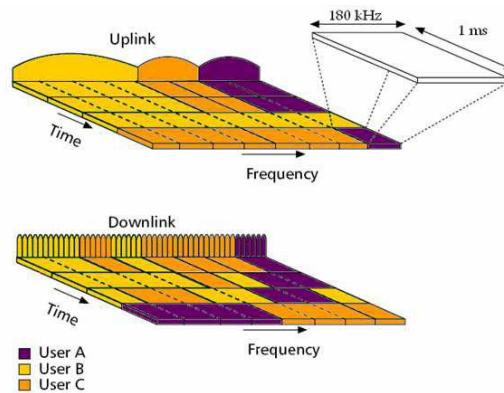


Εικόνα 1.19 Παράδειγμα μπλοκ πόρων LTE

Όπως στην καθοδική ζεύξη (downlink) έτσι και στην ανοδική (uplink) το LTE βασίζεται στη πολυπλεξία OFDM. Στο uplink όμως η ισχύς του UE είναι περιορισμένη καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς, τόσο περισσότερες παρεμβολές εισάγονται στο σύστημα και περιορίζεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του UE. Επομένως, στο uplink υπάρχει ανάγκη βελτιστοποίησης του λόγου μέγιστης ισχύος προς τη μέση ισχύ (peak to average power ratio- PAPR) εκπομπής του UE. Για να επιτευχθεί χαμηλό PAPR, πριν από την διαμόρφωση OFDM μεσολαβεί προ-κωδικοποιητής διακριτού μετασχηματισμού Fourier (Discrete Fourier Transform- DFT ), οδηγώντας σε DFT-spread OFDM (DFTS-OFDM). Συχνά ο όρος DFTS-OFDM χρησιμοποιείται για να περιγράψει γενικά το σύστημα μετάδοσης LTE στο uplink. Επομένως, το σύστημα μετάδοσης LTE στο uplink θα πρέπει να περιγραφεί ως OFDM που αξιοποιεί διαφορετικές τεχνικές. Η κύρια από αυτές είναι η προ-κωδικοποίηση DFT για μετάδοση δεδομένων, που χρησιμοποιείται για τη μείωση της μέγιστης ισχύς εκπομπής από την πλευρά του UE και επομένως οδηγεί σε βελτιστοποίηση της καταλασκόμενης ενέργειας, της ισχύος εκπομπής και του χρόνου ζωής της μπαταρίας του UE. Αυτή η μετάδοση ονομάζεται FDMA Μοναδικού Φέροντος (Single Carrier FDMA, SC-FDMA).

Η χρήση μετάδοσης βασισμένης σε SC-FDMA για το uplink στο LTE επιτρέπει τον ορθογώνιο διαχωρισμό των μεταδόσεων ανοδικής ζεύξης στην περιοχή των συχνοτήτων. Ο ορθογώνιος διαχωρισμός είναι σε πολλές περιπτώσεις ευεργετικός καθώς αποτρέπει την παρεμβολή μεταδόσεων ανοδικής ζεύξης από διαφορετικές συσκευές εντός του cell (intra cell interference). Η κατανομή πολύ μεγάλου στιγμιαίου εύρους ζώνης για μετάδοση από μία μόνο συσκευή δεν είναι αποτελεσματική στρατηγική σε καταστάσεις όπου ο ρυθμός δεδομένων περιορίζεται κυρίως από τη διαθέσιμη ισχύ μετάδοσης της συσκευής παρά από

το εύρος ζώνης. Σε τέτοιες περιπτώσεις σε μια συσκευή μπορεί να διατεθεί μόνο ένα μέρος του συνολικού διαθέσιμου εύρους ζώνης και άλλες συσκευές μέσα στο cell μπορούν να προγραμματιστούν να μεταδίδουν παράλληλα στο υπόλοιπο μέρος του φάσματος. Με άλλα λόγια, το σύστημα μετάδοσης LTE στην ανοδική ζεύξη επιτρέπει τόσο την πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου όσο και την πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας σε ξεχωριστούς χρήστες. Η χρήση μετάδοσης που βασίζεται σε OFDM για την ανοδική ζεύξη LTE επιτρέπει ορθογώνιο διαχωρισμό των μεταδόσεων ανοδικής ζεύξης επίσης στον τομέα συχνοτήτων.



Εικόνα 1.20 Σύγκριση OFDMA με SC-FDMA

### 1.3.2 Ευελιξία εύρους ζώνης

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του LTE είναι η δυνατότητα υποστήριξης διαφορετικού εύρους φάσματος μετάδοσης τόσο στο uplink όσο και στο downlink. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι το διαθέσιμο φάσμα για την ανάπτυξη του LTE μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων και επίσης ανάλογα με την ακριβή κατάσταση του παρόχου. Επιπλέον, η λειτουργία σε διαφορετικές κατανομές φάσματος παρέχει τη δυνατότητα σταδιακής μετάβασης του φάσματος από άλλες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης σε LTE (spectrum refarming).

Όσο μεγαλύτερο εύρος ζώνης διαθέτει ένας πάροχος, τόσο μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων μπορούν να επιτευχθούν. Εντούτοις, ένα αρκετά μεγάλο μέρος του φάσματος μπορεί να μην είναι πάντοτε διαθέσιμο είτε λόγω της ζώνης λειτουργίας είτε λόγω της σταδιακής μετάβασης από άλλη τεχνολογία ραδιοεπικοινωνίας. Οπότε το LTE μπορεί να λειτουργήσει με μικρότερο εύρος ζώνης μετάδοσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα μέγιστα ποσοστά δεδομένων θα μειωθούν αναλόγως.

Το LTE καθορίζει μεγέθη καναλιών από 1,4MHz έως 20MHz. Οι παράμετροι OFDM για τις διάφορες δυνατότητες ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης παρουσιάζονται παρακάτω.

	1.4MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Frame Duration	10ms					
Subcarrier Spacing	15 kHz					
Resource Block	6	15	25	50	75	100
Data Subcarriers	72	180	300	600	900	1200
Symbols/slot	Normal CP=7, extended CP=6					
CP length	Normal CP=4.69/5.12 μsec., extended CP= 16.67μsec.					

Πίνακας 1.2: Παράμετροι OFDM ανά κατανομή καναλιού

### 1.3.3 Τεχνικές διαμόρφωσης LTE

Κάθε σύμβολο OFDM, ακόμη και μέσα σε ένα RB, μπορεί να έχει διαφορετικό σχήμα διαμόρφωσης. Το EUTRAN ορίζει τις ακόλουθες επιλογές: QPSK, 16QAM, 64QAM. Δεν επιτρέπεται σε κάθε φυσικό κανάλι να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε σχήμα διαμόρφωσης. Για παράδειγμα, τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούν κυρίως QPSK, επειδή αυτά είναι κανάλια που χρειάζεται να αποκωδικοποιηθούν από το UE με οποιοδήποτε κόστος.

Γενικά, ο χρονοπρογραμματιστής (scheduler) αποφασίζει ποια μορφή θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με τις πληροφορίες ανάδρασης ποιότητας που λαμβάνει το enodeB από το UE. Στο LTE, υπάρχουν 15 διαφορετικές τιμές CQI που κυμαίνονται από 1 έως 15 και η συσχέτιση μεταξύ CQI και διαμόρφωσης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.3.

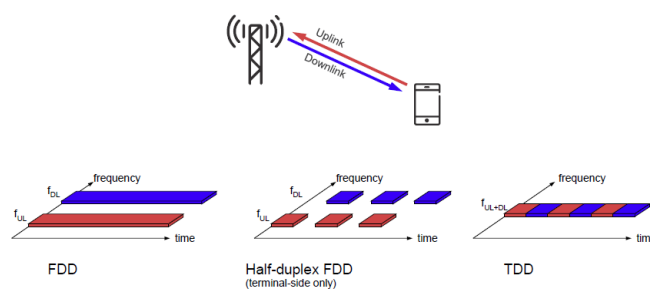
CQI Index	Modulation Order	Code Rate × 1024	$\beta$	SINR threshold (dB)
0	No transmission			
1	QPSK	78	1.00	-9.478
2	QPSK	120	1.40	-6.658
3	QPSK	193	1.40	-4.098
4	QPSK	308	1.48	-1.798
5	QPSK	449	1.50	0.399
6	QPSK	602	1.62	2.424
7	16QAM	378	3.10	4.489
8	16QAM	490	4.32	6.367
9	16QAM	616	5.37	8.456
10	64QAM	466	7.71	10.266
11	64QAM	567	15.5	12.218
12	64QAM	666	19.6	14.122
13	64QAM	772	24.7	15.849
14	64QAM	873	27.6	17.786
15	64QAM	948	28.0	19.809

Πίνακας 1.3 Πίνακας QCI

### 1.3.4 Ευελιξία φάσματος

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του LTE είναι ο υψηλός βαθμός ευελιξίας που προσφέρει όσον αφορά στο φάσμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η ευελιξία που παρέχεται δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης δικτύου LTE αξιοποιώντας διάφορες ζώνες συχνοτήτων, με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματος χάρη, η COSMOTE έχει αναπτύξει δίκτυο LTE στις ζώνες των 800MHz, 1800MHz και 2600MHz<sup>10</sup>. Οι 3 αυτές ζώνες συχνοτήτων παρουσιάζουν τελείως διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά όσον αφορά στη διεισδυτικότητα του σήματος, την ανθεκτικότητα του, τις αποσβέσεις και άλλα, αλλά η ανάπτυξη δικτύου LTE ήταν δυνατή σε κάθε μία από τις ζώνες συχνοτήτων.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του LTE που διασφαλίζει την ευελιξία του φάσματος είναι ότι το LTE υποστηρίζει αμφοτέρως μετάδοση με διαίρεση συχνότητας και χρόνου. Η μετάδοση με διαίρεση συχνότητας, όπως απεικονίζεται στα αριστερά στην Εικόνα 1.21, υποδηλώνει ότι η downlink και η uplink μετάδοση λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές, επαρκώς διαχωρισμένες ζώνες συχνοτήτων. Η μετάδοση με διαίρεση χρόνου, όπως απεικονίζεται στα δεξιά στην Εικόνα 1.21, υποδηλώνει ότι η downlink και η uplink μετάδοση λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές, διακριτές χρονοσχισμές στο πεδίο του χρόνου. Έτσι, το TDD μπορεί να λειτουργεί σε μη συζευγμένο φάσμα (non paired spectrum), ενώ το FDD απαιτεί συζευγμένο φάσμα (paired spectrum).



Εικόνα 1.21 Μετάδοση διαίρεσης συχνότητας και χρόνου

Η λειτουργία τόσο σε συζευγμένο όσο και σε μη συζευγμένο φάσμα υποστηρίχθηκε από τις τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνίας 3GPP ακόμη και πριν από την εισαγωγή του LTE εντούτοις, η λειτουργία αυτή έγινε πρακτικά δυνατή πολύ αργότερα καθώς στα πρώτα στάδια της εξέλιξης των κινητών

<sup>10</sup> [https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic\\_Communications/Antennas\\_EMR/health/BaseStationRdt/GRNetworks/](https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/BaseStationRdt/GRNetworks/)

επικοινωνιών ήταν τεχνικά δύσκολη η ανάπτυξη συσκευών που να υποστηρίζουν τόσο FDD όσο και TDD.

Με το LTE υποστηρίζεται επίσης ημιαμφίδρομη FDD από την πλευρά του UE, όπως απεικονίζεται στη μέση της Εικόνας 1.21). Σε ημιαμφίδρομη FDD, η μετάδοση και η λήψη σε μια συγκεκριμένη συσκευή διαχωρίζονται τόσο σε συχνότητα όσο και σε χρόνο. Ο σταθμός βάσης εξακολουθεί να χρησιμοποιεί πλήρες αμφίδρομο FDD, καθώς ταυτόχρονα μπορεί να προγραμματίζει διαφορετικές συσκευές στο uplink και στο downlink. Η λειτουργία αυτή παρατηρείται και στο GSM. Το κύριο πλεονέκτημα με την ημιαμφίδρομη FDD είναι η μειωμένη πολυπλοκότητα στο UE καθώς δεν απαιτείται duplex φίλτρο, καθιστώντας έτσι δυνατή την ανάπτυξη συσκευών που μπορούν να υποστηρίξουν πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκα φίλτρα για την επιλογή της πληροφορίας που ενδιαφέρει το κάθε UE.

### 1.3.5 Προγραμματισμός και προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης εξαρτώμενα από το δίαυλο μετάδοσης

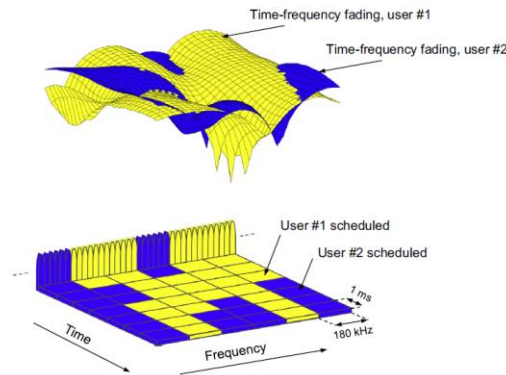
Ένα βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων κινητών επικοινωνιών είναι οι μεγάλες και τυπικά ταχείες μεταβολές στα χαρακτηριστικά του διαύλου μετάδοσης που προκύπτουν λόγω διαλείψεων, παρεμβολών και απωλειών κατά την μετάδοση. Στο LTE η αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων πραγματοποιείται μέσω δυναμικού προγραμματισμού των πόρων που χρειάζεται ο κάθε ανάλογα με τις συνθήκες του διαύλου.

Ο χρονοπρογραμματιστής (scheduler) ελέγχει, σε κάθε χρονική στιγμή, ποιους χρήστες καλείται να εξυπηρετήσει ο σταθμός, ποιες είναι οι απαιτήσεις τους σε πόρους και ρυθμό μετάδοσης και ανάλογα προσαρμόζονται τα χαρακτηριστικά μετάδοσης και εκχωρούνται πόροι στον κάθε χρήστη.

Ωστόσο, ακόμη με την χρήση δυναμικού προγραμματισμού πόρων και ρυθμού μετάδοσης, δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν τα σφάλματα κατά την μετάδοση. Για αυτό το λόγο το LTE ενσωματώνει μηχανισμό HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request). Όταν το UE αντιληφθεί σφάλματα στην μετάδοση, έχει την δυνατότητα άμεσα να αιτηθεί την επαναποστολή της λαθασμένης πληροφορίας με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο αντίκτυπος των σφαλμάτων στην ποιότητα υπηρεσίας του τελικού χρήστη.

Ο χρονοπρογραμματιστής είναι ένα βασικό στοιχείο και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συνολική απόδοση του LTE συστήματος, και τα οφέλη του γίνονται ιδιαίτερα ορατά όταν το δίκτυο είναι φορτωμένο. Τόσο η μετάδοση στο uplink όσο και στο downlink σε αυστηρό και δυναμικό

προγραμματισμό στο LTE. Καθώς σε κάθε στιγμή λαμβάνονται υπόψιν οι συνθήκες του διαύλου, μπορεί ο scheduler να αξιοποιήσει σε κάθε στιγμή ευνοϊκές συνθήκες μετάδοσης. Λόγω της χρήσης OFDM και στο uplink και στο downlink, ο scheduler μπορεί να επιλέξει τον χρήστη με τις καλύτερες συνθήκες διαύλου τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και της συχνότητας όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1.22.



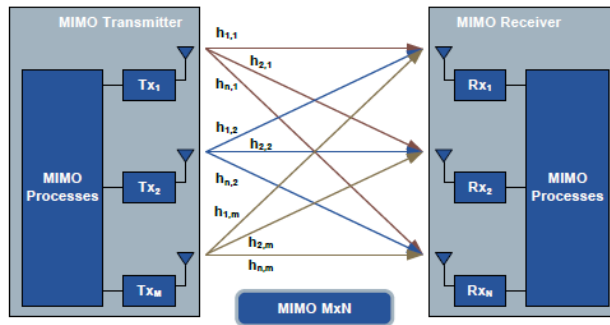
1.22 Downlink χρονοπρογραμματισμός στο πεδίο του χρόνου και τις συχνότητα

### 1.3.6 Συστήματα Μετάδοσης Πολλαπλών Εισόδων/Εξόδων

Ήδη από την τα πρώτα στάδια εξέλιξης του, το LTE συμπεριέλαβε την υποστήριξη τεχνικών χρήσης πολλαπλών κεραιών (multi-antenna) ως αναπόσπαστο στοιχείο των τεχνικών μετάδοσης πληροφορίας. Το MIMO (Multiple Input Multiple Output) είναι μια τεχνολογία κεραιών που χρησιμοποιείται σε διάφορα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών. Χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές τόσο στην εκπομπή όσο και στην λήψη. Ο γενικός στόχος είναι να καταστήσει το σύστημα πιο αποτελεσματικό, βελτιώνοντας έτσι απόδοση των cell και την ποιότητα υπηρεσίας προς το χρήστη.

Το MIMO βασίζεται στον δέκτη που είναι σε θέση να αναγνωρίσει τις διαφορετικές διαδρομές μετάδοσης μεταξύ των κεραιών μετάδοσης. Το MIMO αναγνωρίζεται ως  $M \times N$ , με μεταδιδόμενες κεραιές  $M$  κεραιές στην αποστολή και  $N$  στην λήψη των δεδομένων.

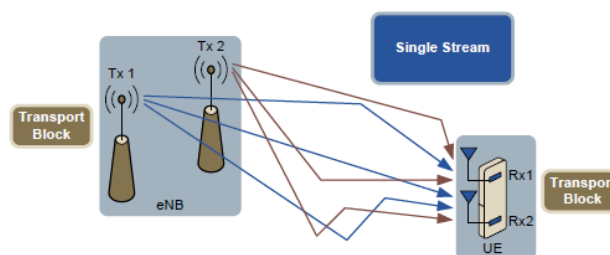




Εικόνα 1.23 MIMO.

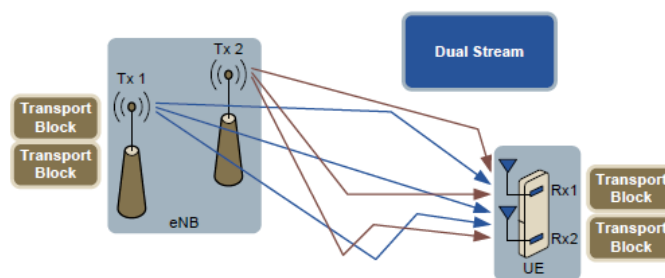
Τα βασικά πλεονεκτήματα του MIMO αφορούν στην αποδοτικότητα και στην απόδοση του συστήματος. Από την άποψη της λειτουργίας MIMO, το σύστημα μπορεί να επικεντρωθεί στην Χωρική Πολυμορφία και την Χωρική Πολυπλεξία (Spatial Diversity and Spatial Multiplexing). Η Χωρική Πολυμορφία (Transmit Diversity) επιτρέπει στα συστήματα MIMO να είναι πιο αξιόπιστα, ενώ η Χωρική Πολυπλεξία αυξάνει το throughput του συστήματος. Η σύγκριση της χωρικής πολυπλεξίας και της χωρικής πολυμορφίας σχετίζεται τυπικά με την ορολογία "Single Stream" και "Dual Stream" (και πλέον και "Multi Stream").

Η Εικόνα 1.24 απεικονίζει ένα σύστημα MIMO Single Stream, στο οποίο αποστέλλεται ένα (το ίδιο) μπλοκ πληροφορίας σε όλο το σύστημα. Η πληροφορία κωδικοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε όλο το σύστημα και κάθε κεραία εκπομπής να εκπέμπει την ίδια πληροφορία. Εάν ο διάυλος επικοινωνίας έχει δυσμενή χαρακτηριστικά (μεγάλη εξασθένιση, διαλείψεις, παρεμβολές) η κεραία λήψης έχει την δυνατότητα λήψης και αποκωδικοποίησης της πληροφορίας από πολλαπλές πηγές, βελτιώνοντας έτσι το σηματοθορυβικό λόγο του συστήματος. Επιτυγχάνεται έτσι πολυμορφία στο πεδίο του χώρου καθώς έχουμε την ίδια πληροφορία να αποστέλλεται από διαφορετικές κεραίες με διαφορετικές συνθήκες μετάδοσης από την καθεμιά.



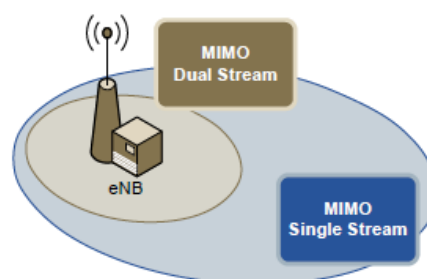
1.24 Μονή ροή πληροφορίας (Single Stream).

Η Εικόνα 1.25 απεικονίζει μια λειτουργία Dual Stream, όπου δύο (διαφορετικά μεταξύ τους) μπλοκ πληροφορίας αποστέλλονται από τις κεραίες αποστολής. Δεδομένου ότι οι συνθήκες διαύλου είναι ευνοϊκές και είναι δυνατή η σωστή αποκωδικοποίηση στις κεραίες λήψης, αυξάνεται η απόδοση του συστήματος καθώς αποστέλλονται και λαμβάνονται δύο διαφορετικές ροές πληροφορίας. Επιτυγχάνεται έτσι πολύπλεξη στο πεδίο του χώρου καθώς έχουμε την διαφορετικές ροές πληροφορίας να αποστέλλεται από διαφορετικές κεραίες με διαφορετικές συνθήκες μετάδοσης από την καθεμιά. Ανάλογα με το πλήθος των κεραιών εκπομπής και λήψης και τόσες διαφορετικές ροές πληροφορίας μπορούν να αποσταλούν το σύστημα μετατρέπεται σε “Multi stream”. Στο LTE παρατηρούνται συστήματα MIMO 4x4.



1.25 Διπλή ροή πληροφορίας (Dual Stream).

Είναι εμφανές ότι για έχει νόημα να αποσταλούν πολλαπλές διαφορετικές μεταξύ τους ροές πληροφορίας, πρέπει ο σηματοθορυβικός λόγος στη λήψη να είναι τέτοιος που να είναι δυνατή η αποκωδικοποίηση των διαφορετικών ροών δεδομένων. Επομένως, συνήθως τεχνικές χωρικής πολυπλεξίας χρησιμοποιούνται κοντά στο enodeB και όσο το UE απομακρύνεται από το enodeB, και χειροτερεύουν οι συνθήκες μετάδοσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές χωρικής πολυμορφίας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.25.



Εικόνα 1.25 Συσχέτιση κάλυψης-απόδοσης μονής ροής έναντι διπλής ροής

### 1.3.7 Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο LTE

Με βάση όλα όσα έχουν περιγράψει είναι εμφανές ότι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα σύστημα LTE εξαρτάται από πολλούς παράγοντες:

- Τη διαμόρφωση κωδικοποίησης (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Το πλήθος διαφορετικών ροών πληροφορίας που μπορεί να επιτευχθεί ( MxN MIMO)
- Το εύρος ζώνης που αξιοποιείται (από 1,4MHz έως 20MHz)

Οι Πίνακες 1.4 και 1.5 απεικονίζουν τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης σε downlink/uplink σε Mbps για διάφορους συνδυασμούς των παραπάνω μεταβλητών.

	Resource blocks	6	15	25	50	100
	Subcarriers	72	180	300	600	1200
<b>Modulation coding</b>		<b>1.4 MHz</b>	<b>3.0 MHz</b>	<b>5.0 MHz</b>	<b>10 MHz</b>	<b>20 MHz</b>
QPSK 1/2	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	14.4
16QAM 1/2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	28.8
16QAM 3/4	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	43.2
64QAM 3/4	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	64.8
64QAM 4/4	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	86.4
64QAM 3/4	2x2 MIMO	7.8	19.4	32.4	64.8	129.6
64QAM 1/1	2x2 MIMO	10.4	25.9	43.2	86.4	172.8
64QAM 1/1	4x4 MIMO	20.7	51.8	86.4	172.8	345.6

Πίνακας 1.4: Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο downlink για σύστημα LTE (Mbps)

	Resource bloc	5	14	24	49	99
	Subcarriers	60	168	288	588	1188
<b>Modulation coding</b>		<b>1.4 MHz</b>	<b>3.0 MHz</b>	<b>5.0 MHz</b>	<b>10 MHz</b>	<b>20 MHz</b>
QPSK 1/2	Single stream	0.7	2.0	3.5	7.1	14.3
16QAM 1/2	Single stream	1.4	4.0	6.9	14.1	28.5
16QAM 3/4	Single stream	2.2	6.0	10.4	21.2	42.8
16QAM 1/1	Single stream	2.9	8.1	13.8	28.2	57.0
64QAM 3/4	Single stream	3.2	9.1	15.6	31.8	64.2
64QAM 1/1	Single stream	4.3	12.1	20.7	42.3	85.5
64QAM 1/1	V-MIMO (cell)	8.6	24.2	41.5	84.7	171.1

Πίνακας 1.5: Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο uplink για σύστημα LTE (Mbps)



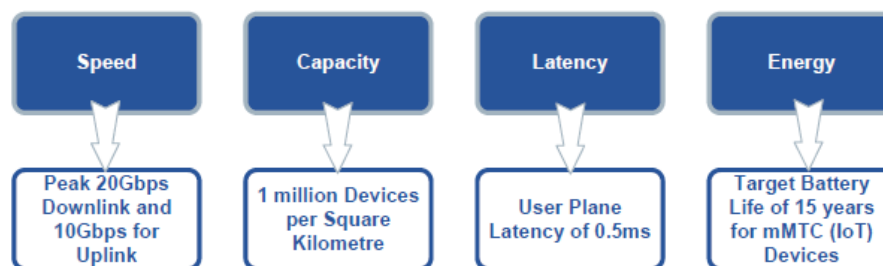
## Κεφάλαιο 2- Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G)

### 2.1 Εισαγωγή σε δίκτυα 5G

Η εξέλιξη των δικτύων 4G θα πραγματοποιηθεί με τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς (5<sup>th</sup> Generation, 5G). Σε αντιστοιχία με τα δίκτυα 4G που έγιναν γνωστά και με τον όρο LTE, τα δίκτυα 5G είναι συνώνυμα με τον όρο 5G-NR ( 5G New Radio). Με το 5G, θα είναι πλέον δυνατή η επίτευξη ενός υπεσυνδεδεμένου κόσμου, όπου κάθε συσκευή θα είναι συνεχώς συνδεδεμένη με τον υπόλοιπο κόσμο. Τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5G, συνοψίζονται παρακάτω:

- Υπερυψηλές ταχύτητες (Speed) - Στόχος του 5G είναι να πετύχει μέγιστο ρυθμό δεδομένων της τάξης των 20Gbps στο downlink και του 1Gbps στο uplink (σε σύγκριση με τα αντίστοιχα 300Mbps/85Mbps των δικτύων 4G).
- Βελτιωμένη χωρητικότητα (Capacity) - Με την διάδοση του Internet of Things (IoT), το 5G αναμένεται να υποστηρίζει 1 εκατομμύριο συσκευές ανά km<sup>2</sup>.
- Χαμηλή καθυστέρηση (Low Latency) - Το 5G έχει σχεδιαστεί να πετυχαίνει μέγιστη καθυστέρηση της τάξης των 0,5ms ώστε να υποστηρίζει υπηρεσίες με απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας.
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση (Energy Efficiency) - Στόχος του 5G είναι να ο υψηλός περιορισμός της κατανάλωσης ενέργειας (και κατ' επέκταση η μειωμένη ανάγκη για ύπαρξη μπαταριών).

Οι στόχοι για το 5G συνοψίζονται στην Εικόνα 2.1.

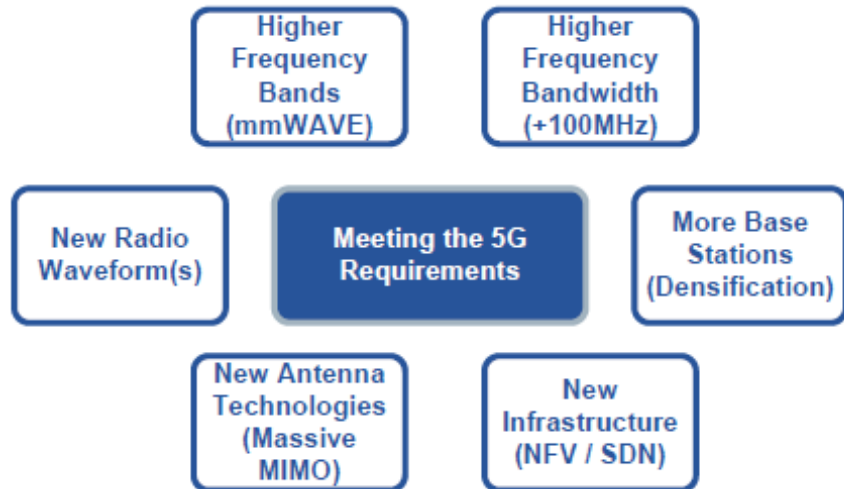


Εικόνα 2.1 Στόχοι 5G

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για το 5G, απαιτούνται διάφορες τεχνολογικές βελτιώσεις:

- Ζώνες υψηλότερης συχνότητας - χρησιμοποιώντας συχνότητες 6GHz και άνω (mmWave-Millimeter Wave), μπορεί να επιτευχθεί τεράστια αύξηση ρυθμού και χωρητικότητας δεδομένων.
- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης –Στη τεχνολογία 4G έχει ήδη ενσωματωθεί η δυνατότητα για Carrier Aggregation ώστε να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του συστήματος. Στα συστήματα 5G αναμένεται μεγαλύτερη ευελιξία στη δυνατότητα ζωνών συχνοτήτων που μπορούν να συνδυαστούν μέσω Carrier Aggregation, παρέχοντας ακόμα μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλότερο ρυθμό δεδομένων.
- Νέες RF κυματομορφές – Το 4G βασίζεται στο OFDM που εισάγει ορισμένους περιορισμούς. Ως μέρος του νέου ραδιοσυστήματος 5G, εξετάζονται διάφορες νέες κυματομορφές για μεγαλύτερη φασματική απόδοση.
- Περισσότεροι σταθμοί βάσης - γενικά περισσότεροι σταθμοί βάσης αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη χωρητικότητα. Ως εκ τούτου, τα συστήματα 5G θα βασίζονται σε μεγαλύτερη πυκνότητα κυψελών, που σε συνδυασμό με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων 6GHz θα καταστεί δυνατή η καλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.
- Νέες τεχνολογίες κεραιών - Τα συστήματα 4G χρησιμοποιούν ήδη διάφορες τεχνικές κεραιών, όπως το MIMO για να αυξήσουν την απόδοση του συστήματος. Τα συστήματα 5G στοχεύουν στη χρήση του Massive MIMO που ισχυροποιεί περαιτέρω τις τεχνικές MIMO για την ενίσχυση της χωρητικότητας του συστήματος.
- Νέα υποδομή - με την ενσωμάτωση τεχνολογιών που βασίζονται σε cloud, όπως το Network Functions Virtualization (NFV) και το Software Defined Network (SDN), τα συστήματα 5G μπορούν γρήγορα να αναπτυχθούν και να κλιμακωθούν.

Η Εικόνα 2.2 απεικονίζει τις παραπάνω απαιτήσεις για την ανάπτυξη του 5G.



Εικόνα 2.2 Απαιτήσεις 5G

Το 5G θεωρείται ως ένας παράγοντας που θα διευκολύνει πολλούς τομείς της βιομηχανίας, όπως το Smart City, Smart Agriculture και άλλα, καθώς η ανάπτυξη και χρήση του 5G είναι συνυφασμένη με την έννοια του Internet of Things. Με το 5G αναμένεται πως η ροή πληροφορίας, η χρήση ενέργειας και η χρήση των πόρων θα βελτιστοποιηθούν. Πολλές μελλοντικές παράμετροι IoT θα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το 5G. Είτε πρόκειται για νέες υπηρεσίες νανοτεχνολογίας είτε για υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας, θα υπάρχει ανάγκη για εξέλιξη των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών. Η μελλοντική επιτυχία του 5G εγγυάται περαιτέρω τη σύνδεση της με άλλους τεχνολογικούς τομείς, όπως:

- Επαυξημένη πραγματικότητα
- Τεχνητή νοημοσύνη
- Ρομποτική
- Νανοτεχνολογία

Οι παραπάνω τομείς λαμβάνουν ήδη τεράστιες επενδύσεις και ως εκ τούτου εξελίσσονται με εκθετικό ρυθμό. Ωστόσο, όταν συνδυαστούν με 5G θα είναι ουσιαστικά σε θέση να προσφέρουν εμπλουτισμένες υπηρεσίες. Η Εικόνα 2.3 απεικονίζει ορισμένους από τους τομείς που αναμένεται να ενισχυθούν με 5G και IoT.

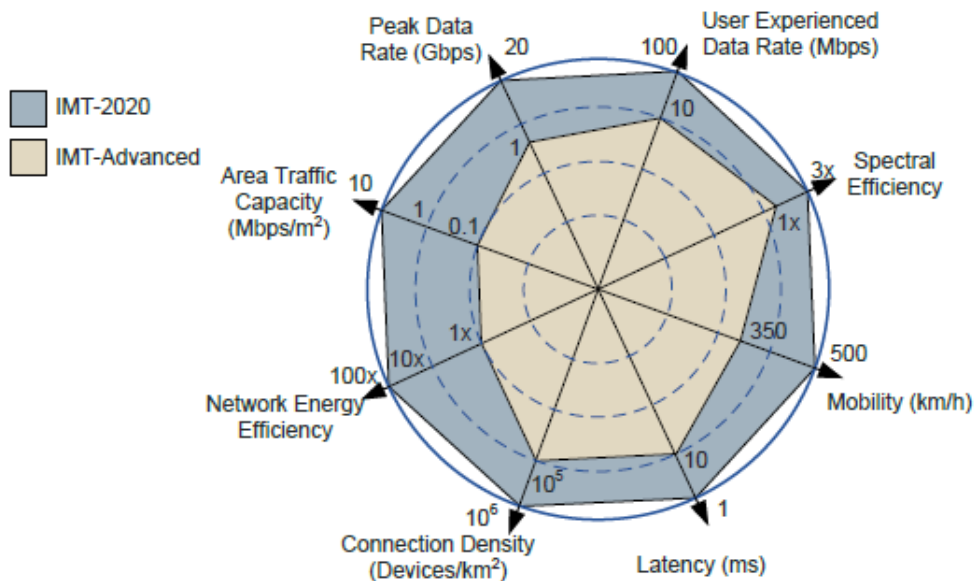


Εικόνα 2.3 Συνδυασμός 5G με άλλες τεχνολογικές εξελίξεις και IoT

## 2.2 Δρόμος προς το 5G

### 2.2.1 Στόχοι IMT-2020

Το 5G, όπως το 4G αναπτύσσεται από την ITU. Τα πρότυπα για το 4G εξελέγησαν στο "IMT-Advanced" και οι νέες απαιτήσεις 5G προσδιορίζονται ως μέρος του νέου IMT-2020<sup>11</sup>. Η Εικόνα 2.4 αποτελεί σύγκριση των IMT-Advanced και IMT-2020 και συνοψίζει τους βασικούς στόχους για την εξέλιξη του 5G, κάποιιοι από τους οποίους έχουν ήδη αναφερθεί στην εισαγωγή του κεφαλαίου.



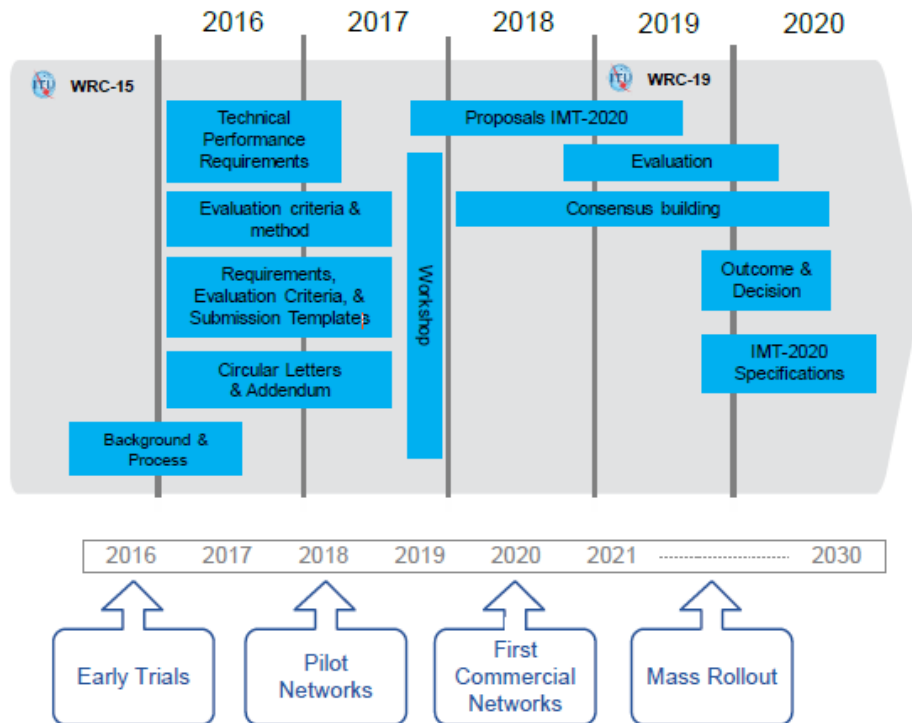
Σχήμα 2.4 Δυνατότητες του IMT-2020, Σύγκριση με το IMT-Advanced

<sup>11</sup> <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>



- Μέγιστος ρυθμός δεδομένων - Στόχος για το 5G είναι να επιτυγχάνεται μέγιστος ρυθμός δεδομένων 20Gbps στο downlink και 1Gbps στο uplink.
- Χωρική χωρητικότητα - Για να επιτευχθεί το Enhanced Mobile Broadband που αποτελεί βασικό πυρήνα της εξέλιξης του 5G, στόχος του 5G είναι τα 10Mbps/m<sup>2</sup>.
- Η πυκνότητα συνδέσεων - Το 5G αναμένεται να αποτελέσει το δίαυλο για το Massive IoT στόχος του οποίου είναι να εξυπηρετούνται 1 εκ. συσκευές/km<sup>2</sup>.
- Χαμηλή καθυστέρηση - Το 5G θα κληθεί να υποστηρίξει υπηρεσίες που απαιτούν μέγιστη αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση. Στόχος για το 5G είναι να επιτευχθεί μέγιστη καθυστέρηση της τάξης των 0,5 ms.
- Κινητικότητα - Με την εξέλιξη των τρένων υψηλής ταχύτητας, το 5G πρέπει να υποστηρίζει αδιάκοπη επικοινωνία σε χρήστες που κινούνται με 500km/h.
- Φασματική απόδοση - βασικός στόχος οποιασδήποτε νέας τεχνολογίας ραδιοσυχνοτήτων είναι η βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Ο στόχος για το 5G είναι η επίτευξη τριπλάσιας φασματικής απόδοσης από το 4G.
- Εξελιγμένη εμπειρία για το χρήστη - Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων αποτελεί το απόλυτο μέγιστο που μπορεί να επιτευχθεί για το σύστημα. Καλύτερος δείκτης μέτρησης της εμπειρίας χρήσης τους συστήματος αποτελεί ο μέσος ρυθμός δεδομένων. Για το 4G μέσος ρυθμός δεδομένων είναι τα 10Mbps, όταν για το 5G εκτιμάται να είναι στα 100Mbps.

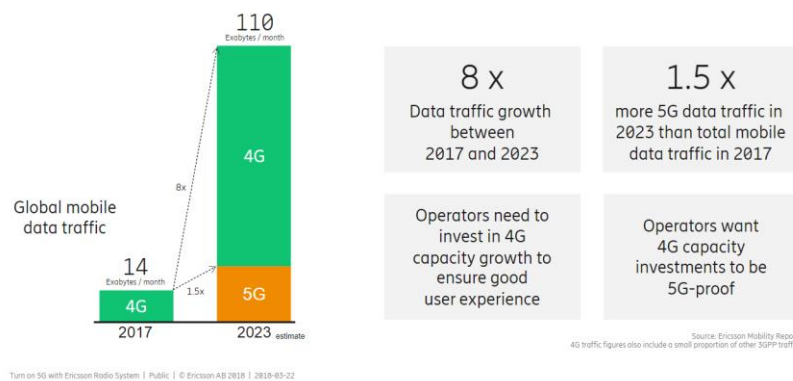
Η Εικόνα 2.5 απεικονίζει τον οδικό χάρτη της ITU για την επίτευξη του IMT-2020. Οι δοκιμές 5G έχουν ήδη ξεκινήσει. Ωστόσο, τα αποτελέσματα και οι ουσιαστικές εξελίξεις δεν αναμένονται μέχρι το 2019/2020. Οι τρέχουσες διεργασίες και δραστηριότητες δεν αποτελούν τη τελική λύση 5G, αλλά είναι δοκιμές διάφορων λειτουργιών και χαρακτηριστικών. Η πραγματική διαδικασία τυποποίησης 3GPP για το 5G έχει ήδη ξεκινήσει, αλλά η Φάση 1 δεν αναμένεται μέχρι το 2020, με τη Φάση 2 να ευθυγραμμίζεται περισσότερο με το IMT-2020. Ως εκ τούτου, εμπορικά δίκτυα 5G δεν αναμένονται μέχρι το 2020.



Σχήμα 2.5 Χάρτη πορείας 5G

Η Εικόνα 2.6 αποτελεί εκτίμηση της Ericsson για την κίνηση που προέχεται από προϊόντα 4G και 5G για τα επόμενα 5 χρόνια.

Grow 4G now  
with 5G-proof products



Σχήμα 2.6 Αναμενόμενη κίνηση από προϊόντα 4G-5G

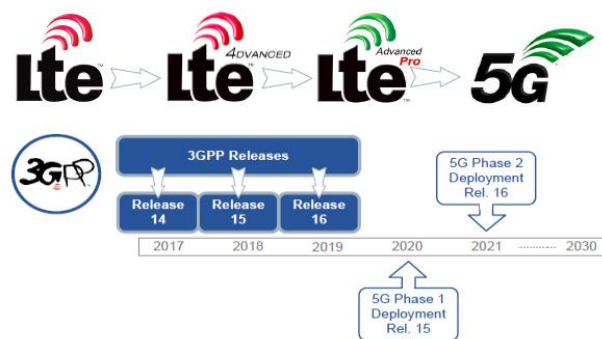
## 2.2.2 Εκδόσεις 3GPPS με στόχο το 5G

Η Πρώτη και Δεύτερη Φάση εξέλιξης του 5G έχουν ήδη δρομολογηθεί από την 3GPP.

- Η Φάση 1 βασίζεται στις προδιαγραφές της έκδοσης 15<sup>12</sup>. Εκτιμάται ότι οι εργασίες θα σταματήσουν τον Σεπτέμβριο του 2018 καθώς δεν θα εκ πληρούνται ακόμα οι απαιτήσεις του IMT-2020.
- Η Φάση 2 βασίζεται στις προδιαγραφές της έκδοσης 16<sup>13</sup> και αναμένεται ότι οι εργασίες της θα σταματήσουν το Δεκέμβριο του 2019 καθώς τότε αναμένεται να ξεκινήσουν ουσιαστικά οι διεργασίες για το IMT-2020.

Παρόλο που οι εργασίες για το 5G θα σταματήσουν πριν το 2020, είναι σύνηθες να πραγματοποιούνται οι πρώτες δοκιμές ένα ή δύο χρόνια πριν ξεκινήσει η ουσιαστική εφαρμογή κάθε τεχνολογίας. Το 3GPP έχει ορίσει τα σημεία αναφοράς στην εξέλιξη του 5G που παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.7.

- Το LTE ξεκίνησε στην έκδοση 8 της 3GPP. Αυτή ήταν η πρώτη φάση του 4G, αλλά χρειάστηκε ακόμα πολλές πρόσθετες λειτουργίες για την επίτευξη των απαιτήσεων του IMT-Advanced.
- Το LTE Advanced ξεκίνησε στην έκδοση 10 και παρείχε τις πραγματικές δυνατότητες IMT-Advanced (4G).
- Το LTE Advanced Pro ξεκίνησε στην έκδοση 13 και περιλάμβανε διάφορα χαρακτηριστικά και βελτιώσεις στο LTE Advanced. Με το LTE Advanced Pro γίνεται το πρώτο βήμα προς την ανάπτυξη του 5G.



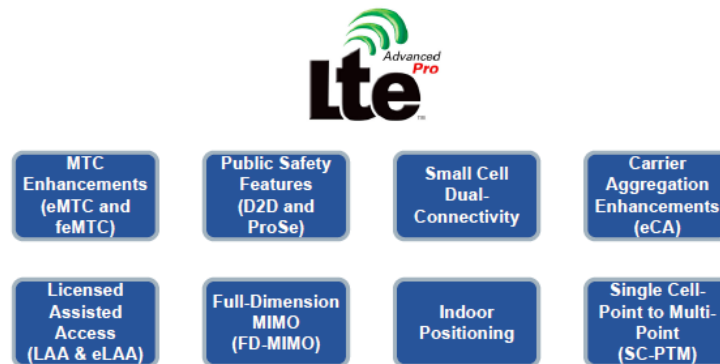
Εικόνα 2.7 Εξέλιξη και χάρτης πορείας προς 5G

<sup>12</sup> <http://www.3gpp.org/release-15>

<sup>13</sup> <http://www.3gpp.org/release-16>

### 2.2.3 LTE Advanced Pro

Το LTE Advanced Pro<sup>14</sup> είναι ένα σύνολο από δυνατότητες και βελτιώσεις που προστέθηκαν στην έκδοση 13. Υπάρχουν περισσότερες από 30 διαφορετικές λειτουργίες που προστέθηκαν στην λειτουργία του LTE με το LTE Advanced Pro, αλλά στην Εικόνα 2.8 παρουσιάζονται οι 8 σημαντικότερες.



Εικόνα 2.8 Βασικότερες λειτουργίες του LTE Advanced Pro

- Επέκταση της λειτουργίας MTC (Machine Type Communication) - Η λειτουργία MTC υποστηριζόταν ακόμα από τα συστήματα 2G / 3G. Ωστόσο, στην έκδοση 13 του LTE, η λειτουργία εξελίσσεται περισσότερο και πριν την μαζική εφαρμογή του 5G θα εξελιχθεί περισσότερο με τις εκδόσεις eMTC (enhancedMTC) και feMTC (further enhanced MTC).
- Λειτουργία δημόσιας ασφάλειας - Η έκδοση 13 βελτιώνει τις υπηρεσίες συσκευής σε συσκευή και υπηρεσίες εγγύτητας για την υποστήριξη πιο προηγμένων υπηρεσιών εγγύτητας σε περιπτώσεις δημόσιας ασφάλειας.
- Λειτουργία Small Cell Dual Connectivity – Με την λειτουργία dual connectivity οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να είναι συνδεδεμένοι και να αξιοποιούν πόρους από 2 cell (κυψέλες) , αυξάνοντας έτσι τις επιδόσεις του συστήματος.
- Επέκταση της λειτουργίας Carrier Aggregation – Με κάθε καινούρια έκδοση υποστηρίζονται περισσότεροι συνδυασμοί συχνοτήτων.

<sup>14</sup> [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1745-lte-advanced\\_pro](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1745-lte-advanced_pro)

- Licensed Assisted Access (LAA) – Μέσω της λειτουργίας LAA γίνεται δυνατός ο συνδυασμός φάσματος που λειτουργεί είτε σε αδειοδοτούμενες συχνότητες είτε όχι. Αποτελεί την πρώτη ουσιαστική εξέλιξη προς το 5G καθώς γίνεται δυνατή η αξιοποίηση μη αδειοδοτούμενου φάσματος (παραδείγματος χάρη στα 6GHz) που αναμένεται να αξιοποιηθεί και για εκπομπή 5G.
- Το Full-Dimension MIMO - Η λειτουργία MIMO βελτιώνεται ώστε να υποστηρίζονται μεγαλύτεροι ρυθμοί δεδομένων. Η τεχνολογία κεραιών εξελίσσεται και αξιοποιούνται πλήρως κατευθυντικές συστοιχίες κεραιών.
- Η ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια και ποιότητα υπηρεσιών σε εσωτερικούς χώρους, οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων και λειτουργιών που ενισχύουν την αξιοπιστία σε εγκαταστάσεις εσωτερικών χώρων.
- Single Cell-Point to Point - Σε προηγούμενες εκδόσεις έχει ήδη οριστεί η λειτουργία Multimedia Broadcast Multicast Service που παρέχει πολυεκπομπή από πολλαπλά cell. Το χαρακτηριστικό αυτό εξελίσσεται ώστε να υποστηρίζεται πολυεκπομπή μόνο μέσω ενός cell.

#### 2.2.4 Κυψελοειδές IoT

Ένα βασικό μέρος του 5G είναι η ενσωμάτωση του IoT. Ήδη υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες διαθέσιμες για το IoT, με τη καθεμία να έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ο όρος Cellular IoT (CIoT) χρησιμοποιείται για τον ορισμό λύσεων IoT που βασίζονται σε ραδιοεκπομπή από cell κινητής τηλεφωνίας, για την επικοινωνία M2M σε ευρεία περιοχή με όσο τον δυνατόν μικρότερη ισχύ εκπομπής. Με αυτό τον τρόπο οργανώνονται δίκτυα Low Power Wide Area (LPWA) που λειτουργούν μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι τρεις βασικές κατηγορίες τέτοιων δικτύων είναι οι παρακάτω:

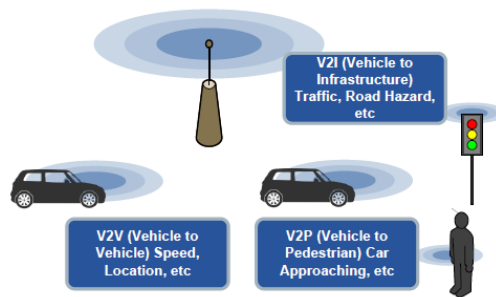
- LTE-M (LTE για μηχανές) – Είναι η λειτουργία eMTC που αξιοποιεί το δίκτυο LTE για την παροχή υπηρεσιών IoT.
- Extended Coverage για το IoT (EC-GSM-IoT) – Η υποστήριξη υπηρεσιών IoT γίνεται μέσω του δικτύου GSM.
- NarrowBand IoT (NB-IoT). Το NB-IoT αξιοποιεί ένα RB (100MHz) του δικτύου LTE για την υποστήριξη συγκεκριμένων υπηρεσιών και συσκευών IoT.

### 2.2.5 Μαζική Επικοινωνία μεταξύ Οχημάτων - Vehicle to Everything (V2X)

Δεδομένου ότι με το 5G αναμένεται να ενισχυθεί η επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D), στο LTE Advanced Pro δόθηκε σημασία στη λειτουργία V2X (Vehicle to Everything). Στόχος της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι να παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, εξαιρετικά αξιόπιστες και εφαρμόσιμες που θα εξασφαλίσουν ασφαλέστερο δίκτυο οδικών μεταφορών. Αυτό θα επιτευχθεί με τη μείωση των επιπτώσεων από συγκρούσεις οχημάτων, την αύξηση της αποτελεσματικότητας της κυκλοφοριακής κίνησης και τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Το V2X επιτρέπει στα οδικά οχήματα να επικοινωνούν με άλλα οχήματα, την οδική υποδομή, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και άλλους χρήστες του οδικού δικτύου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί είτε με την ανάπτυξη συγκεκριμένων δικτυακών υποδομών που θα εξυπηρετούν αυτή τη λειτουργία είτε με την απευθείας διασύνδεση μεταξύ των συσκευών-οχημάτων.

Η λειτουργία V2X ορίζεται στην έκδοση 14<sup>15</sup> της 3GPP, που ολοκληρώθηκε στις 14 Μαρτίου 2017 και εισάχθηκε στο δίκτυο ως μέρος της συνολικής διαδικασίας για τη μετάβαση από τα δίκτυα 4G στα δίκτυα 5G. Τα θεμέλια του V2X ξεκίνησαν ως βελτιώσεις της λειτουργίας LTE Broadcast στην έκδοση 9<sup>16</sup> και της λειτουργίας LTE Direct<sup>17</sup> στην έκδοση 12. Η Εικόνα 2.9 απεικονίζει τις διάφορες επιλογές V2X.



Εικόνα 2.9 Vehicle to Everything

<sup>15</sup> [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1798-v2x\\_r14](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1798-v2x_r14)

<sup>16</sup> <https://5g.co.uk/guides/what-is-lte-broadcast/>

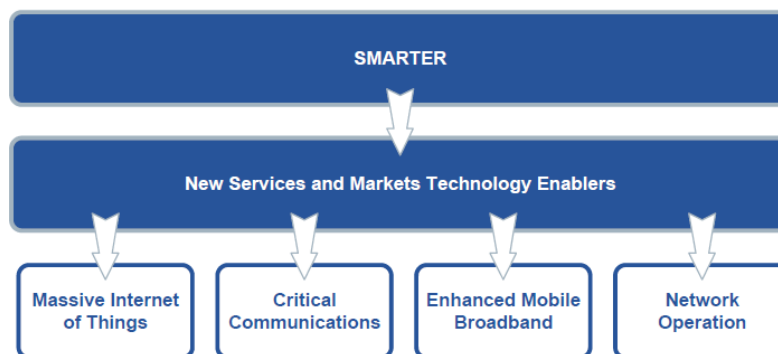
<sup>17</sup> <https://www.qualcomm.com/invention/technologies/lte/direct>

## 2.3 3GPP smarter

### 2.3.1 Εισαγωγή

Το 3GPP με τον όρο 3GPP-SMARTER (Services and Markets Technology Enablers) έχει ορίσει τις νέες υπηρεσίες και αγορές που θα ευνοηθούν με τη διέλευση του 5G. Η Εικόνα 2.10 συνοψίζει τους τέσσερις βασικούς τομείς, στους οποίους περιλαμβάνονται:

- Μαζικό Internet of Things.
- Κρίσιμες επικοινωνίες.
- Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα.
- Λειτουργία δικτύου κορμού



Εικόνα 2.10 3GPP SMARTER

### 2.3.2 Μαζικό IoT

Το μαζικό (Massive) Internet of Things αναφέρεται για περιπτώσεις όπου πολύ μεγάλο πλήθος συσκευών, όπως αισθητήρες και έξυπνες συσκευές είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους. Ο όρος Massive IoT είναι συνυφασμένος με τις έννοιες της έξυπνης πόλης, έξυπνου σπιτιού, των έξυπνων υποδομών και άλλα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει και μια ξεχωριστή κατηγορία υπηρεσιών που χαρακτηρίζεται ως Κρίσιμο IoT (Critical IoT). Απαιτήση αυτών των κρίσιμων υπηρεσιών είναι η παροχή υπηρεσιών, εξαιρετικά αξιόπιστων και με πολύ μικρή καθυστέρηση σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 2.11 Παραδείγματα μαζικών και κρίσιμων IoT

Οι βασικές απαιτήσεις του Μαζικού IoT είναι:

- Η ρύθμιση των συσκευών IoT να είναι εύκολη - για παράδειγμα, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται SIP (Session Initiation Protocol).
- Αυξημένη ασφάλεια επικοινωνιών
- Μεταβλητό μέγεθος δεδομένων – πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα υπηρεσιών τόσο με μικρή απαίτηση για ρυθμό δεδομένων, όσο και υπηρεσιών με μεγαλύτερες απαιτήσεις, παραδείγματος χάρι η λήψη ενός αρχείου βίντεο από μια απομακρυσμένη κάμερα.
- Συνάφεια συσκευής - δυνατότητα αλλαγής της συνδρομής κινητής τηλεφωνίας με τον πάροχο υπηρεσιών.
- Ποικιλία συνδεσιμότητας - δυναμική και απρόσκοπτη δυνατότητα αλλαγής της συσχέτισης μεταξύ μιας συνδρομής και μιας συσκευής.
- Επικοινωνία πολλαπλών προμηθευτών - υποστήριξη λύσεων πολλαπλών προμηθευτών.

Οι κυριότερες κυψελοειδείς τεχνολογίες IoT είναι επί του παρόντος το LTE-M και NB-IoT. Και οι δύο είναι τυποποιημένες ως μέρος του 3GPP, ωστόσο διαφέρουν στο σχεδιασμό τους και στη χρήση των βασικών μηχανισμών του LTE. Ουσιαστικά, το LTE-M βασίζεται σε ένα σύστημα LTE με εύρος ζώνης 1.4MHz αξιοποιώντας τη λειτουργία eMTC<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> <https://www.grandmetric.com/2017/12/17/lte-advanced-pro-massive-mtc-part-2-emtc/>





Εικόνα 2.12 .Κυψελωτά δίκτυα IoT

Αντίθετα, το NB-IoT χρησιμοποιεί ένα RB (Resource Block, δηλαδή 180kHz φάσματος) και μπορεί να αναπτυχθεί ως αυτόνομη λύση, λύση στο guardband του LTE ή στο εσωτερικό του LTE φάσματος, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.14. Λόγω του μειωμένου εύρους ζώνης, το NB-IoT έχει μειωμένο μέγιστο ρυθμό δεδομένων.



Εικόνα 2.13 Πιθανές λύσεις NB-IoT

Τέλος, είναι διαθέσιμες και άλλες τεχνολογίες IoT<sup>19</sup>, για παράδειγμα το LoRa και το Sigfox.

- Το LoRa είναι ένας τύπος διαμόρφωσης και το LoRaWAN είναι η προδιαγραφή για επικοινωνίες WAN σε αδεσμοποίητο φάσμα.
- Το Sigfox προσφέρει πολύ χαμηλού κόστους radio modules . Πρόκειται κυρίως για ένα ασύρματο σύστημα ανερχόμενης ζεύξης με πολύ χαμηλό εύρος ζώνης.

Οι κύριοι τρόποι επικοινωνίας που ορίζονται στο 3GPP για το MIoT είναι:

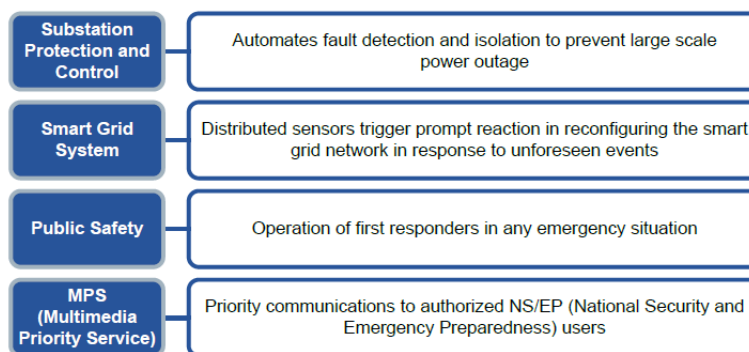
- Άμεση σύνδεση - για παράδειγμα, αυτό θα μπορούσε να είναι ένας αισθητήρας που επικοινωνεί με έναν διακομιστή εφαρμογών. Μπορεί επίσης να επικοινωνεί με άλλη συσκευή μέσω ενός δικτύου 3GPP.

<sup>19</sup> <https://www.grandmetric.com/2017/09/26/technologies-used-iot-overview-low-power-wide-area-networks-lpwan/>

- Έμμεση σύνδεση - για παράδειγμα έξυπνη φορητή συσκευή που επικοινωνεί μέσω έξυπνου τηλεφώνου με ένα δίκτυο.
- Άμεση σύνδεση συσκευής - για παράδειγμα για να βοηθήσει έναν ασθενή, η βιομετρική συσκευή επικοινωνεί απευθείας με το έξυπνο τηλέφωνο ή άλλη συσκευή.

### 2.3.3 Κρίσιμες επικοινωνίες

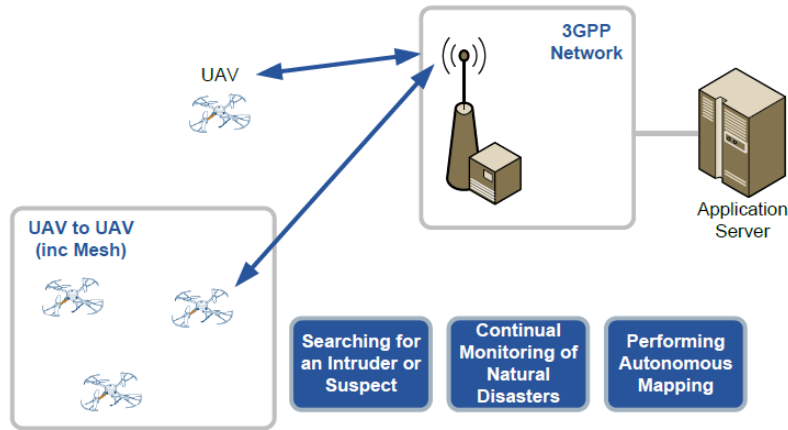
Οι κρίσιμες επικοινωνίες επικεντρώνονται στην βελτίωση της καθυστέρησης, της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών. Οι απαιτήσεις αυτές θα ενισχυθούν μέσω της αναμενόμενης εξέλιξης στην τεχνολογία ραδιοεπικοινωνιών και στην βελτίωση της διαχείρισης πόρων τόσο στο πεδίο της RF δικτύου όσο και στο δίκτυο κορμού. Στην Εικόνα 2.14 εντοπίζονται οι τέσσερις βασικοί τομείς που απαιτούν κρίσιμες επικοινωνίες.



Εικόνα 2.14 Κρίσιμες επικοινωνίες Περιπτώσεις Χρήσης

Εκτός από τις περιπτώσεις χρήσης που προσδιορίζονται στην Εικόνα 2.14, υπάρχουν πολλά περισσότερα σενάρια όπου χρησιμοποιούνται κρίσιμες επικοινωνίες. Ένα τέτοιο σενάριο αναγνωρίζεται στην Εικόνα 2.15. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι κρίσιμες επικοινωνίες χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με ένα UAV (Unmanned Aerial Vehicle- drone). Ο μηχανισμός επικοινωνίας 5G πρέπει να διασφαλίζει τη σύνδεση απευθείας με το drone, καθώς και να διευκολύνει τις επικοινωνίες μεταξύ drones. Παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης επικοινωνίας με drone είναι τα παρακάτω:

- Αναζήτηση για εισβολέα ή ύποπτο.
- Συνεχής Παρακολούθηση Φυσικών Καταστροφών.
- Εκτέλεση αυτόνομης χαρτογράφησης.



Εικόνα 2.15 Παράδειγμα κρίσιμης επικοινωνίας με drone

### 2.3.4 Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα

Η ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (Enhanced Mobile Broadband) θεωρείται ως βασική λειτουργία του 5G. Ειδικά καθώς η ζήτηση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων αυξάνεται, οι πάροχοι υπηρεσιών χρειάζονται τεχνολογικές εξελίξεις για να ικανοποιήσουν αυτές τις απαιτήσεις.

Συνοπτικά, οι κύριες περιπτώσεις χρήσης για την Enhanced Mobile Broadband είναι:

- Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων - χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό περισσότερων συχνοτήτων, εύρους ζώνης και προηγμένων λειτουργιών.
- Υψηλότερη πυκνότητα σταθμών βάσης- βασισμένη σε καλύτερες τεχνικές μετριάσμου των παρεμβολών μεταξύ κυψελών, καθώς και στη δυνατότητα χρήσης υψηλότερων συχνοτήτων (mmWave), το δίκτυο μπορεί να πυκνώσει ώστε να πετύχει την ενίσχυση της ποιότητας υπηρεσιών για τον χρήστη.
- Εύκολη εφαρμογή και ενισχυμένη κάλυψη - οι λειτουργίες που ενσωματώνονται στο 5G θα παρέχουν στους παρόχους δυνατότητες για εύκολη εγκατάσταση 5G συστημάτων με βελτιωμένες επιδόσεις.
- Αυξημένη κινητικότητα των χρηστών – Το 5G βασίζεται σε νέο σχεδιασμό συστήματος για τη δημιουργία συνδέσεων υψηλότερης κινητικότητας.

### 2.3.5 Λειτουργία Δικτύου Κορμού

Το 5G σχεδιάζεται με λειτουργίες στο δίκτυο κορμού που στοχεύουν να βελτιώσουν τις λειτουργίες και τις δυνατότητες του δικτύου, κυρίως στους τομείς της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών και στην βελτίωση της ασφάλειας και αξιοπιστίας. Για να επιτευχθεί αυτό το δίκτυο βασίζεται εκτενώς σε λειτουργίες τύπου cloud και στο NFV.

Οι βασικές απαιτήσεις για την βελτίωση των λειτουργιών του συνοψίζονται παρακάτω:

- **Επεκτασιμότητα** - Το δίκτυο πρέπει να είναι κλιμακωτό και εύκολα επεκτάσιμο, δεδομένου ότι οι ανάγκες δεδομένων ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο, τη χρονική στιγμή και τη τοποθεσία. Παραδείγματος χάρη κατά τη διάρκεια ενός αθλητικού γεγονότος το δίκτυο πρέπει να μπορεί να επεκταθεί εύκολα ώστε να μπορεί να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες.
- **Υποστήριξη κινητικότητας** - Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης τόσο συσκευών που κινούνται με υψηλή ταχύτητα (κινούμενα οχήματα) όσο και στατικών συσκευών IoT (αισθητήρες, μετρητές και άλλα).
- **Αποτελεσματική παράδοση περιεχομένου** - Η εμπειρία του χρήστη πρέπει να είναι η αναμενόμενη.
- **Ασφάλεια** - Πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι έξυπνες συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο δεν μπορούν να υποκλαπούν και να τροποποιήσουν τη λειτουργία τους με παράνομα μέσα.
- **Εύκολη συνδεσιμότητα** - Πρέπει να διασφαλίζεται η διασύνδεση των συσκευών του δικτύου τόσο με τα παραδοσιακά δίκτυα που χρησιμοποιούνται ως τώρα όσο και το νέο δίκτυο κορμού του 5G.
- **Προσβασιμότητα** - Πρέπει να παρέχεται πρόσβαση τόσο σε δίκτυα 3GPP όσο και μη 3GPP ανάλογα με τον τύπο και απαιτήσεις της εκάστοτε υπηρεσίας.
- **Self-backhauling** - Σε περιοχές με πυκνή ανάπτυξη η εύκολη πρόσβαση στο δίκτυο κορμού είναι ένα πρόβλημα, επομένως η δυνατότητα χρήσης 5G ως μέσω επικοινωνίας με το δίκτυο κορμού είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα καθώς το 5G αξιοποιεί λειτουργίες cloud για τη διασύνδεση με το core network.

## 2.4 Ζώνες και φάσμα συχνοτήτων για 5G

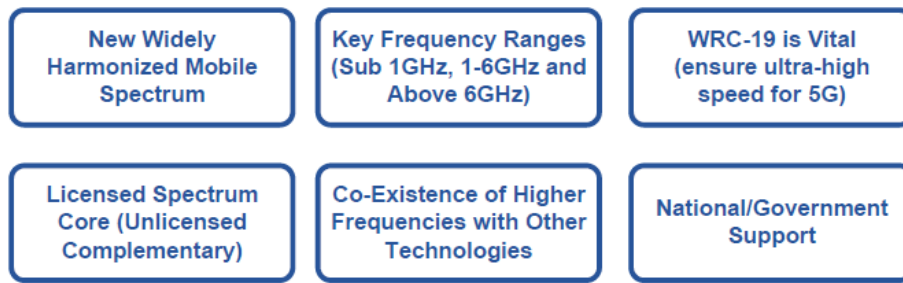
### 2.4.1 Φάσμα στο 5G

Η ITU επιβλέπει την παγκόσμια κατανομή ραδιοφάσματος και τους ρυθμιστικούς κανόνες που διέπουν την λειτουργία τεχνολογιών που βασίζονται στην ραδιοεκπομπή. Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας διεξάγονται τακτικά συνέδρια (World Radio Conference, WRC). Η τελευταία διάσκεψη που πραγματοποιήθηκε το 2015, ήτοι το WRC-15, εντόπισε διάφορες επιλογές ως προς τη διάρθρωση του φάσματος που θα χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία του 5G. Η επόμενη διάσκεψη (WRC-19<sup>20</sup>) θα είναι πολύ σημαντική για την περαιτέρω εναρμόνιση των απαιτήσεων για το φάσμα του 5G. Οι βασικοί στόχοι για το φάσμα του 5G περιλαμβάνουν:

- Ευρέως εναρμονισμένο φάσμα - Το κλειδί για την επιτυχία του 4G ήταν η σχεδόν καθολική υιοθέτηση του προτύπου και η διάθεση ενός συνόλου βασικών συχνοτήτων για τη λειτουργία του. Αντίστοιχη πρέπει να είναι η κατεύθυνση για το 5G.
- Εύρος συχνοτήτων - Αναμένονται πρόσθετες διαθέσιμες συχνότητες στη ζώνη κάτω του 1GHz και στη ζώνη 1-6GHz. Ωστόσο, οι συχνότητες άνω των 6GHz είναι οι καθοριστικές για την επίτευξη των στόχων του IMT-2020.
- WRC19 - Το συνέδριο WRC19 θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στην μελέτη για πρόσθετο φάσμα για τη λειτουργία του 5G και για την εναρμόνιση των διαδικασιών για την αδειοδότηση του φάσματος.
- Αδειοδοτούμενο φάσμα- Το φάσμα σε ζώνες συχνοτήτων για τις οποίες απαιτείται άδεια λειτουργίας αποτελεί τον κορμό της ανάπτυξης του 5G. Η λειτουργία σε μη- αδειοδοτούμενο φάσμα έχει κυρίως συμπληρωματικό χαρακτήρα.
- Συνύπαρξη - Καθώς χρησιμοποιούνται συχνότητες μεγαλύτερες τω 6GHz, η συνύπαρξη με άλλες τεχνολογίες αποτελεί καθοριστικό παράγοντα λειτουργίας του 5G.
- Εθνική / Κυβερνητική Υποστήριξη - Παρόλο που η ITU ρυθμίζει τη χρήση και διαθεσιμότητα φάσματος σε διάφορες περιοχές, και οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη διάθεση ραδιοφάσματος για τους παρόχους.

---

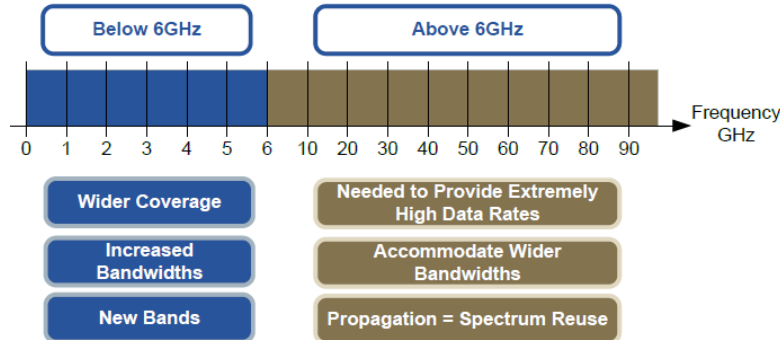
<sup>20</sup> <https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/2019/Pages/default.aspx>



Εικόνα 2.16 Απαιτήσεις για το φάσμα του 5G

### 2.4.2 Υψηλότερες συχνότητες και mmWave

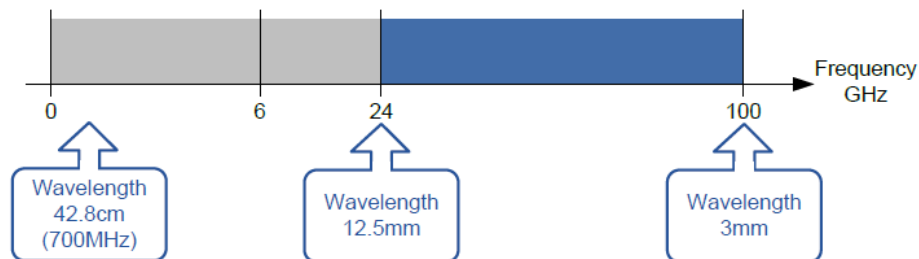
Προκειμένου το 5G να επιτύχει την απόδοση και επίδοση που απαιτείται, αναμένεται να αναπτυχθεί σε συχνότητες υψηλότερες των 6GHz καθώς και τις ζώνες κάτω από 6GHz. Οι ζώνες κάτω των 6GHz παρέχουν ευρύτερη κάλυψη, ωστόσο υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί το προσφερόμενο φάσμα σε αυτή την περιοχή και να διευρυνθούν τεχνικές που κάνουν καλύτερη αξιοποίηση του προσφερόμενου φάσματος (όπως το carrier aggregation).



Εικόνα 2.17 Κατανομή φάσματος για το 5G

Οι συχνότητες άνω των 6GHz απαιτούνται για την παροχή των εξαιρετικά υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που προσδιορίζονται από το IMT-2020. Επιπλέον, σε αυτές τις ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης 5G σε μεγαλύτερα εύρη ζώνης. Τέλος σε τόσο υψηλές ζώνες συχνοτήτων, τα χαρακτηριστικά μετάδοσης σήματος είναι τέτοια που διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση φάσματος και επομένως είναι δυνατή η απαιτούμενη πύκνωση του δικτύου, με την αξιοποίηση πολύ μικρών κυψελών (pico cells).

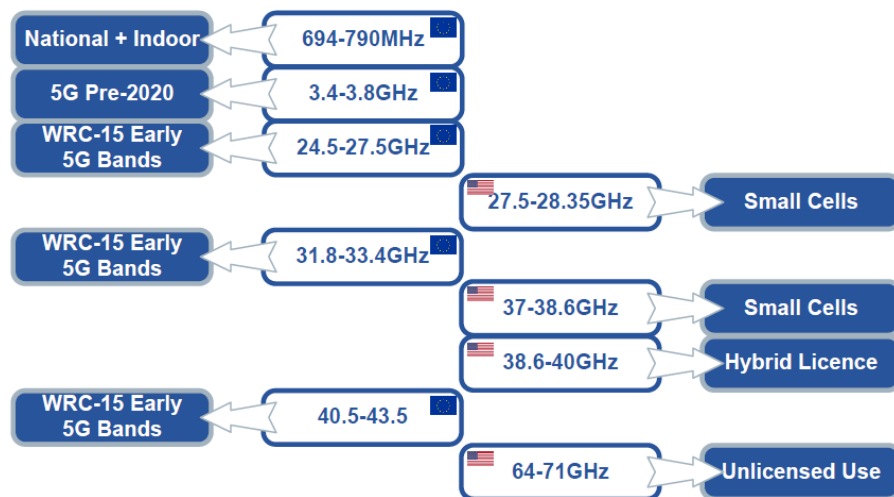
Ο όρος mmWave (Millimeter Wave) αναφέρεται στη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων, όπου το μήκος κύματος συχνότητας μετριέται σε χιλιοστά. Στην Εικόνα 2.18 απεικονίζεται η ζώνη μεταξύ 24GHz (μήκος κύματος 12.5mm) και 100GHz (μήκος κύματος 3mm) που συνδέεται συνήθως με τον όρο mmWave.



Σχήμα 2.18 Ζώνες mmWave

### 2.4.3 Ζώνες συχνοτήτων WRC-15 και FCC

Η Εικόνα 2.19 παρουσιάζει μερικές από τις ζώνες συχνοτήτων που προσδιορίστηκαν από το WRC-15 και την FCC και θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια πρώτη εκτίμηση για το φάσμα που θα χρησιμοποιηθεί για τις δοκιμές και την ανάπτυξη του 5G.



Εικόνα 2.19 Ζώνες συχνότητας WRC-15 και FCC για 5G

## 2.5 Αρχιτεκτονική Δικτύων 5G

Ως τώρα τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, σχεδιάζονται έχοντας ως πυρήνα την ικανοποίηση των αναγκών ενός χρήστη κινητού τηλεφώνου. Με το 5G αυτό αναμένεται να αλλάξει καθώς πλέον υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες που πρέπει να υποστηριχθούν από το δίκτυο, με τελείως διαφορετικά

χαρακτηριστικά και ανάγκες σε πόρους. Ανάγκη των παρόχων είναι σε κάθε περίπτωση να εκπληρώνονται όλες οι απαιτήσεις της κάθε υπηρεσίας όσο γίνεται πιο αποδοτικά για αυτό και το 5G σχεδιάζεται ώστε να υποστηρίζεται συνδεσιμότητα δεδομένων και υπηρεσίες, για την ανάπτυξη των οποίων η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών θα μπορεί να αξιοποιήσει λειτουργίες όπως το NFV (Network Function Virtualization) και το SDN (Software Defined Network).

Έχοντας τις παραπάνω απαιτήσεις σαν δεδομένα κατά τον σχεδιασμό του δικτύου για το 5G, η 3GPP επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη μιας επίπεδης αρχιτεκτονικής όπου τα επίπεδα ελέγχου και χρήστη (control/user plane) είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αυτός ο λειτουργικός διαχωρισμός επιτρέπει στους παρόχους να αξιοποιήσουν βέλτιστα τους διαθέσιμους πόρους κατά την ανάπτυξη, διαστασιολόγηση και επέκταση του δικτύου ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

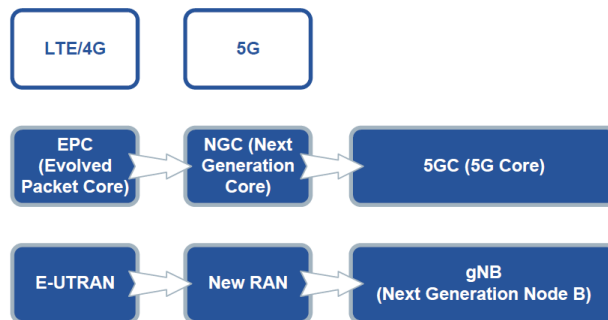
Μια άλλη αρχή που ακολουθήθηκε κατά το σχεδιασμό του δικτύου 5G, ήταν ο περιορισμός των σημείων εξάρτησης ανάμεσα στο RAN και το δίκτυο κορμού.

Βασική εξέλιξη που εισήλθε με τα δίκτυα 4G ήταν η εισαγωγή εξελιγμένων λειτουργιών στα eNode (Evolved-UTRAN) και η εισαγωγή του EPC. Αντίστοιχα, το 5G αναμένεται να εισάγει νέες εξελίξεις όσον αφορά την αρχιτεκτονική του δικτύου. Βασικά στοιχεία του ανανεωμένου δικτύου 5G θα αποτελούν το εξελιγμένο, νέας γενιάς δίκτυο πρόσβασης στο RF δίκτυο (Next Generation RAN) και το εξελιγμένο δίκτυο κορμού ( Next Generation Core). Η Εικόνα 2.20 περιγράφει σε γενικές γραμμές τις αλλαγές που αναμένεται να εισαχθούν στο δίκτυο 5G.

- Νέο RAN - ο σταθμό βάσης στο 5G μεταβαίνει από το eNodeB σε ένα κόμβο νέας γενιάς (Next Generation Node B , gNB). Στο κόμβο αυτό θα ενσωματώνονται όλες οι λειτουργίες για την υποστήριξη του δικτύου 5G στην επικοινωνία με το RF δίκτυο, καθώς και την επικοινωνία με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Επιπλέον, τα ήδη υπάρχοντα LTE eNodeBs εξελίσσονται ήδη και ο όρος "eLTE eNodeB" έχει οριστεί να χαρακτηρίζει υπάρχοντα eNodeB με προστιθέμενη ικανότητα διασύνδεσης στο δίκτυο 5G.
- 5GC (5G Core) - το κεντρικό δίκτυο εξελίσσεται για να παρέχει πιο ευέλικτη αρχιτεκτονική. Αυτό θα επιτευχθεί με το διαχωρισμό του επιπέδου ελέγχου (control plane) και του επιπέδου χρηστών (user plane) στο δίκτυο 5G. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 5G Core αναμένεται στην ουσία να είναι μια ομαδοποίηση διαφόρων λειτουργιών που μπορούν να υλοποιηθούν



χρησιμοποιώντας το NFV και cloud εφαρμογές. Τα στοιχεία του δικτύου κορμού, που καλούνται και Network Functions (NF), έχουν απλοποιηθεί σε σχέση με αυτά του δικτύου 4G και στην ουσία είναι software-based δομές που μπορούν να επεκταθούν και να εξαπλωθούν ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

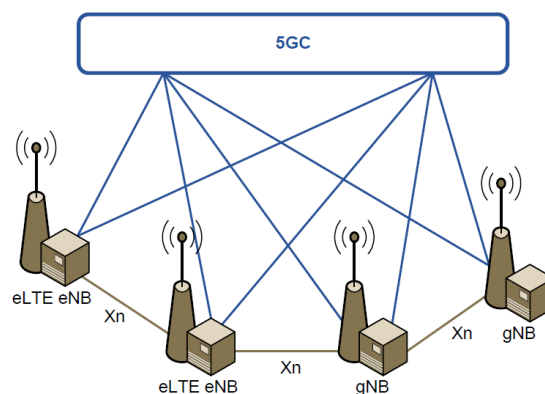


Εικόνα 2.20 Αρχιτεκτονική Δικτύου 5G

### 2.5.1 Δίκτυο ραδιοεκπομπής στο 5G, 5G RAN

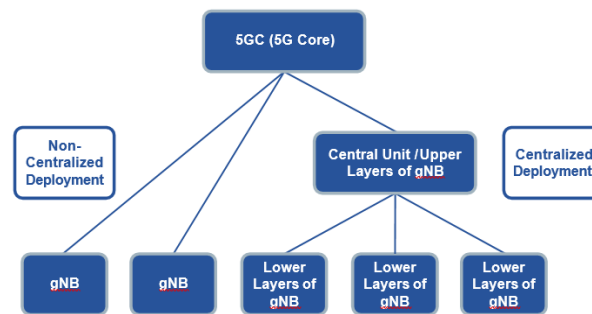
Η Εικόνα 2.21 απεικονίζει το νέο 5G RAN. Ο νέος κόμβος είναι το gNB που συνδέεται με το 5GC μέσω διαφόρων διεπαφών. Η επικοινωνία μεταξύ των gNB πραγματοποιείται μέσω της διεπαφής Xn, σε αντιστοιχία με την διεπαφή X2 του δικτύου 4G.

Εκτός των νέων κόμβων που θα ενσωματωθούν στο δίκτυο, οι υφιστάμενοι κόμβοι (eNodeBs) θα αναβαθμιστούν σε eLTE eNodeBs (evolved) ώστε να έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν απευθείας με το δίκτυο κορμού του 5G.



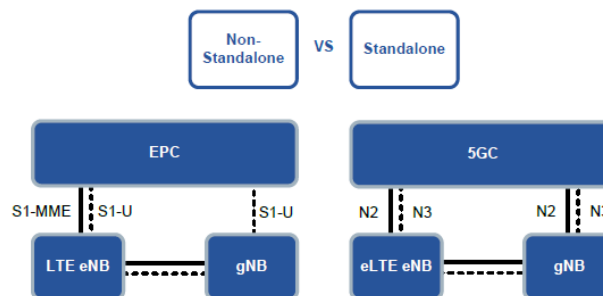
Εικόνα 2.21 Αρχιτεκτονική 5G RAN

Οι ακριβείς διαδικασίες που θα οδηγήσουν στην πρακτική εφαρμογή των δικτύων 5G, είναι ακόμα αντικείμενο προς συζήτηση, ωστόσο αναμένεται να προτυποποιηθούν διαδικασίες τόσο για αποκεντροποιημένη ανάπτυξη του δικτύου, όπου τα gNBs θα επικοινωνούν με το δίκτυο κορμού στο σύνολο των λειτουργιών τους, όσο και για κεντρική ανάπτυξη του δικτύου όπου οι λειτουργίες των ανωτέρων στρωμάτων των gNB θα εκτελούνται κάτω από κεντρική διαχείριση και ορισμένες άλλες στο gNB (κυρίως τα κατώτερα στρώματα που σχετίζονται με την διασύνδεση με το RAN) σε αυτά καθ' αυτά. Η Εικόνα 2.22 συνοψίζει τις δύο εναλλακτικές μεθόδους ανάπτυξης του νέου RAN στο 5G.



Εικόνα 2.22 Μη κεντρική και κεντρική ανάπτυξη RAN στο 5G

Στην Εικόνα 2.23 παρουσιάζεται δύο άλλες επιλογές για την ανάπτυξη του νέου RAN, αυτές της αυτόνομης και της μη-αυτόνομης σύνδεσης. Στην αυτόνομη (Standalone) σύνδεση, το gNB συνδέεται απευθείας με το 5GC μέσω των αντίστοιχων διεπαφών, ενώ στη μη αυτόνομη (Non-Standalone) σύνδεση το gNB πρώτα συνδέεται με ένα eLTE eNB και στη συνέχεια στο EPC ή στο 5GC. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι ακόμα δεν υπάρχει καμία προτυποποίηση και όλες οι επιλογές είναι αντικείμενα συζήτησης για αυτό και δεν υπάρχει πρακτική ουσία στην περαιτέρω ανάλυση τους στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας.



Εικόνα 2.23 Αυτόνομη και Μη-αυτόνομη ανάπτυξη RAN στο 5G

## 2.5.2 5G Core

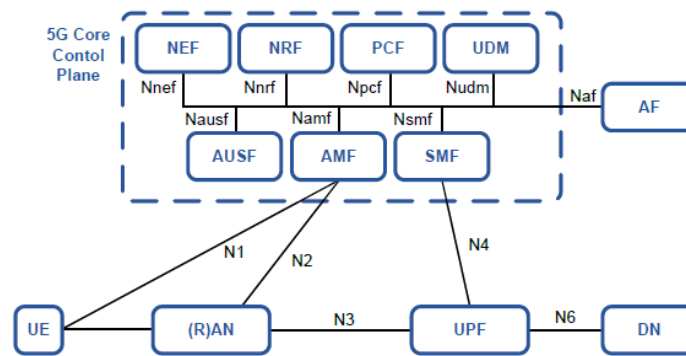
Υπάρχουν δύο βασικές αποτυπώσεις του δικτύου κορμού στο 5GC. Η μία βασίζεται στην προσφερόμενη υπηρεσία (service based), ενώ η άλλη βασίζεται στην έννοια του σημείου αναφοράς (reference point based).

Η Εικόνα 2.24 αποτυπώνει την αρχιτεκτονική βασισμένη σε υπηρεσίες στο 5G.

Τα κύρια στοιχεία (Network Functions, NF) που απαρτίζουν την αρχιτεκτονική που βασίζεται στην υπηρεσία στο δίκτυο κορμού 5G είναι τα παρακάτω:

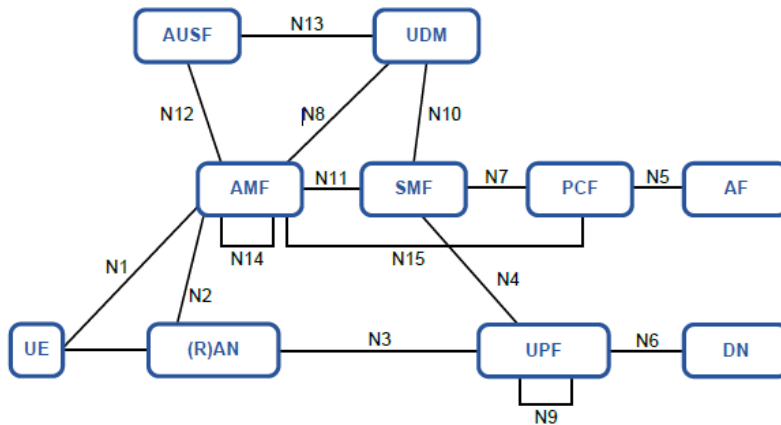
- AUSF (Authentication Server Function) - χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση διαδικασιών ασφαλείας στο 5G.
- AMF (Core Access and Mobility Management) - τα κύρια καθήκοντά της περιλαμβάνουν: Διαχείριση Εγγραφών, Διαχείριση Σύνδεσης, Διαχείριση Φορητότητας, Διαχείριση Κινητικότητας και διάφορες λειτουργίες σχετικά με την ασφάλεια, τη διαχείριση της πρόσβασης και την εξουσιοδότηση. Το AMF επικοινωνεί με το UE μέσω της διεπαφής N1 και με το RAN μέσω της διεπαφής N2. Η λειτουργία του AMF μπορεί να θεωρηθεί αντίστοιχη σε κάποια στοιχεία με αυτή του MME στο δίκτυο 4G.
- DN (Data Network) - ένας γενικός όρος που ενσωματώνει όλες τις υπηρεσίες δεδομένων που μπορεί να υποστηρίζονται, είτε αναφερόμαστε στη σύνδεση στο διαδίκτυο είτε οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία δεδομένων απαιτείται.
- NEF (Network Exposure Function) - αυτή η λειτουργία παρέχει ένα μέσο για την ασφαλή αξιοποίηση υπηρεσιών και δυνατοτήτων που παρέχονται από τις λειτουργίες δικτύων 3GPP.
- DSF (Data Storage Network Function) – αν και δεν αποτυπώνεται στο λειτουργικό διάγραμμα της Εικόνας 2.24, εκτελεί λειτουργίες που σχετίζονται με την αποθήκευση δεδομένων από το NEF.
- NRF (NF Repository Function) - υποστηρίζει τη λειτουργία εντοπισμού υπηρεσιών μέσα στο δίκτυο. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση να αναγνωρίζει Discovery Requests από τα NF του δικτύου και να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις ανάγκες των NF που έχει ανιχνεύσει.
- PCF (Policy Control Function) - αυτή η λειτουργία υποστηρίζει το ενοποιημένο πλαίσιο πολιτικής που διέπει τη συμπεριφορά του δικτύου. Παρέχει κανόνες για τον έλεγχο των λειτουργιών του επιπέδου ελέγχου.

- SMF (Session Management Function) - αυτή είναι μία από τις κύριες λειτουργίες του 5G Core. Περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες σχετικές με συνόδους συνδρομητών (subscriber session), παραδείγματος χάρη την εγκατάσταση, την τροποποίηση και τον τερματισμό μια συνόδου. Το SMF ελέγχει και επικοινωνεί με το UPF (User Plane Function) μέσω της διεπαφής N4.
- UDM (Unified Data Management) - αποθηκεύει τα μακροπρόθεσμα διαπιστευτήρια ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση των συνδρομητών. Επιπλέον, αποθηκεύει πληροφορίες σχετικές με τις συνδρομές.
- UPF (User Plane Function) – επιτελεί παρόμοια λειτουργία με αυτή που επιτελεί το SPGN στο δίκτυο 4G. Το UPF υποστηρίζει λειτουργίες που διευκολύνουν την λειτουργία του επιπέδου χρηστών. Παραδείγματα περιλαμβάνουν: δρομολόγηση και προώθηση πακέτων, διασύνδεση με το δίκτυο δεδομένων (Data Network), επιβολή πολιτικής και προσωρινή αποθήκευση δεδομένων. Η σύνδεση του επιπέδου χρήστη με το δίκτυο RAN γίνεται μέσω της διεπαφής N3 και με το δίκτυο δεδομένων μέσω του N6.



Εικόνα 2.24 Αρχιτεκτονική δικτύου κορμού 5G βασισμένο στις υπηρεσίες

Η Εικόνα 2.25 συνοψίζει τις διεπαφές (σημεία αναφοράς) που ορίζονται για το 5GC. Καθώς αυτά βρίσκονται ακόμη υπό συζήτηση, δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 2.25 5G Διεπαφές δικτύου 5GC.

### 2.5.3 Network Slicing

Το Network Slicing είναι ακόμα μια βασική λειτουργία που θα ενσωματωθεί στα συστήματα 5G. Μέσω του Network Slicing θα δίνεται η δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσιών να προσφέρουν προσαρμοσμένα δίκτυα ανάλογα με τις απαιτήσεις τις εκάστοτε υπηρεσίας που προσφέρεται. Παραδείγματος χάριν ένας πάροχος μπορεί να προσαρμόσει το δίκτυο ανάλογα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Σε όρους λειτουργικότητας - προσδιορισμός διαφορετικής προτεραιότητας, χρέωσης, ελέγχου πολιτικής, ασφάλειας και κινητικότητας ανάλογα με την υπηρεσία.
- Σε όρους απόδοσης - προσδιορίζοντας διαφορετικής επιτρεπόμενης καθυστέρησης, διαθεσιμότητας υπηρεσίας, αξιοπιστίας και ρυθμού δεδομένων.
- Σε όρους χρηστών - καθορίζοντας ποιοι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το κομμάτι του δικτύου, π.χ. χρήστες δημόσιας ασφάλειας, εταιρικοί πελάτες, δρομολογητές και άλλα.

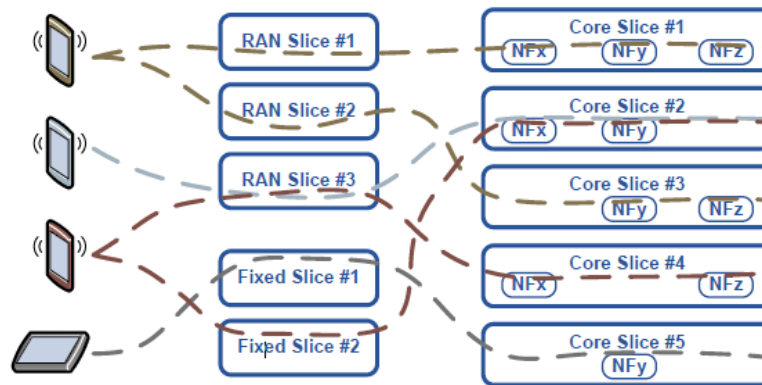
Προκειμένου να εφαρμοστεί η έννοια του network slicing, εισάγεται από τη 3GPP η έννοια του Slice ID. Μέσω των network slices και ανάλογα με το Slice ID, οι πάροχοι αξιοποιώντας το δίκτυο 5G θα μπορούν:

- Να δημιουργούν, τροποποιούν και να διαγράφουν network slices.
- Να καθορίζουν το σύνολο των υπηρεσιών και δυνατοτήτων που υποστηρίζονται σε ένα network slice.
- Να διαμορφώνουν τις πληροφορίες που συσχετίζουν μια συσκευή με ένα network slice.

- Να συσχετίζουν μια συσκευή σε ένα ή περισσότερα network slices.

Βασική απαίτηση της λειτουργίας του network slicing είναι η κίνηση και οι υπηρεσίες από ένα network slice να μην επηρεάζουν άλλα network slices στο δίκτυο.

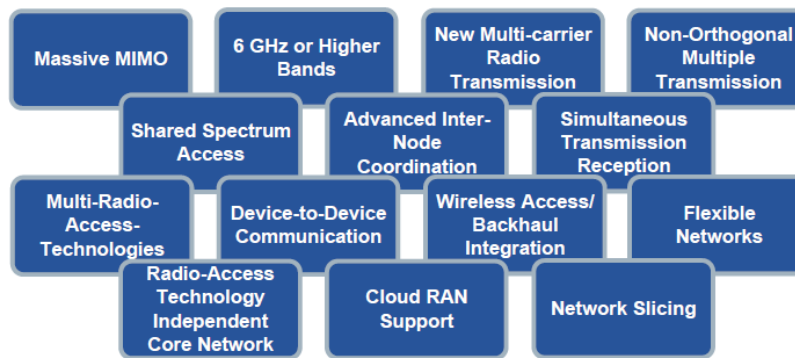
Η Εικόνα 2.26 αποτυπώνει τον τρόπο λειτουργίας του network slicing. Πολλαπλές συσκευές, χρησιμοποιούν διάφορα network slices με διαφορετικές απαιτήσεις και πόρους το καθένα ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο επίπεδο και χαρακτηριστικά λειτουργίας της υπηρεσίας που επιθυμούν.



Εικόνα 2.26 Τρόπος λειτουργίας Network Slicing

## 2.6 Εξελίξεις στο 5G

Η Εικόνα 2.27 απεικονίζει τις κυριότερες βελτιώσεις που εισάγονται με το 5G, μερικές από τις οποίες έχουν ήδη αναφερθεί και μερικές θα εξηγηθούν λεπτομερέστερα στα παρακάτω υποκεφάλαια.



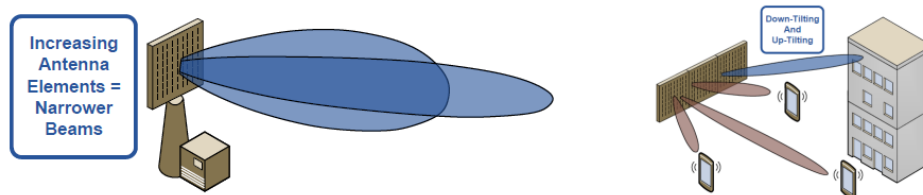
Εικόνα 2.27 Βελτιώσεις από το 5G

### 2.6.1. Μαζικό MIMO

Προκειμένου τα συστήματα 5G να επιτύχουν τις απαιτήσεις IMT-2020 πρέπει να υπάρξουν βελτιώσεις στην τεχνολογία κεραιών. Ήδη τα συστήματα LTE και LTE Advanced έχουν εξελιχθεί για να

συμπεριλάβουν το MIMO, αυξάνοντας ουσιαστικά τον αριθμό των στοιχειοκεραιών που ενσωματώνονται εντός των κεραιοσυστημάτων. Βασική εξέλιξη που έρχεται με το 5G είναι η λειτουργία Massive MIMO.

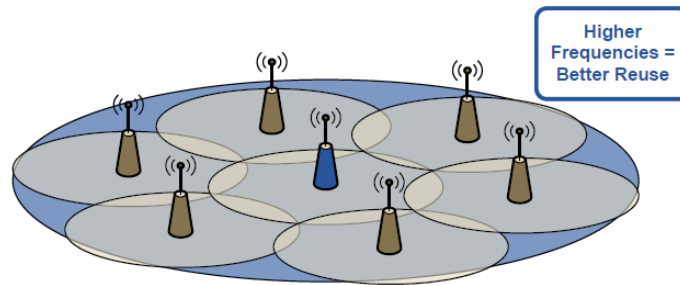
Το massive MIMO θα επιτευχθεί με την αξιοποίηση μαζικών (με την έννοια των πολλαπλών) συστοιχιών κεραιών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.28. Χάρη στην αξιοποίηση πολλαπλών συστοιχιών κεραιών μπορούν παραχθούν στενές και κατευθυντικές δέσμες εκπομπής που θα στοχεύουν σε συγκεκριμένους συνδρομητές ή ομάδες συνδρομητών. Αξιοποιώντας στενές δέσμες εκπομπής βελτιώνεται η συνδεσιμότητα μεταξύ χρήστη και δικτύου ενώ παράλληλα περιορίζονται οι παρεμβολές από και προς άλλους χρήστες, έχοντας ως τελικό όφελος τη σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.



Εικόνα 2.28 Μαζικό MIMO και προσαρμοστικές κεραίες

### 2.6.2. 6GHz και υψηλότερες ζώνες

Η λειτουργία σε υψηλότερες συχνότητες, πάνω από το φάσμα των 6GHz, αποτελεί βασικό στοιχείο για να μπορέσει το 5G να επιτύχει τον επιθυμητό ρυθμό δεδομένων και χωρητικότητα του IMT-2020. Συνήθως, περισσότερο φάσμα ισοδυναμεί με μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλότερο ρυθμό δεδομένων. Ωστόσο, η τυφλή επέκταση του δικτύου σε υψηλότερες συχνότητες δεν είναι κατάλληλη σε όλες τις καταστάσεις, καθώς σήμα που εκπέμπεται σε υψηλότερες συχνότητες υπόκειται σε μεγαλύτερη εξασθένιση διάδοσης και περιορίζεται η διεισδυτικότητα του για την κάλυψη εσωτερικών χώρων και κτηρίων. Παρόλα αυτά τα με την χρήση του 5G, το μικρό εύρος κάλυψης ουσιαστικά λειτουργεί σαν πλεονέκτημα. Βασική αρχή λειτουργίας του 5G είναι η ανάπτυξη κυψελών με πολύ μικρή ακτίνα και ισχύ εκπομπής, επομένως το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί βέλτιστα. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.29, οι μικρότερες κυψέλες (cell/σταθμοί βάσης) μπορούν να καλύψουν περίπου την ίδια περιοχή και σε αυτή την περίπτωση, να παρέχουν 7 φορές τη χωρητικότητα σε σύγκριση με ένα σταθμό βάσης 4G.



Εικόνα 2.29 Αρχή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας στο 5G

Επιπλέον, η χρήση υψηλότερων συχνοτήτων για κάλυψη εσωτερικών χώρων θα έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση του εκπεμπόμενου σήματος και τον σημαντικό περιορισμό των παρεμβολών από και προς γειτονικά συστήματα.

### 2.6.3 Νέες τεχνικές ραδιοεκπομπής

Βασικό αντικείμενο μελέτης κατά την ανάπτυξη του 5G αποτελεί το σχήμα ραδιοεκπομπής που θα αξιοποιηθεί για τη λειτουργία του 5G, έχοντας ως απαίτηση το μοντέλο που θα επιλεγθεί να προσφέρει βέλτιστη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα για ανάπτυξη σε μικρο-κυψέλες. Η 3GPP μελετάει και δοκιμάζει πολλά υποψήφια σχήματα διαμόρφωσης, κάποια από τα οποία είναι τα παρακάτω:

- FOFDM (Filtered OFDM).
- GFDM (Generalized Frequency-Division Multiplexing).
- SCMA (Sparse Code Multiple Access).
- PDMA (Pattern Division Multiple Access).
- FBMC (Filter Bank Multi-Carrier).
- UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier).
- IDMA (Interleave Division Multiple Access).
- LDS (Low Density Spreading).

Εκτός από την αποδοτικότητα του συστήματος για την ανάπτυξη μικρο-κυψελών, δύο ακόμα βασικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψιν για την επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης αλλά και για την αξιοποίηση η μη τεχνικών ορθογώνιας διαμόρφωσης, είναι ο περιορισμός των παρεμβολών του συστήματος και η βέλτιστη λειτουργία δεδομένου του massive IoT (τεράστιο πλήθος συνδρομητών, σε με μικρή χωροταξική κατανομή και με ποικίλες ανάγκες πόρων).



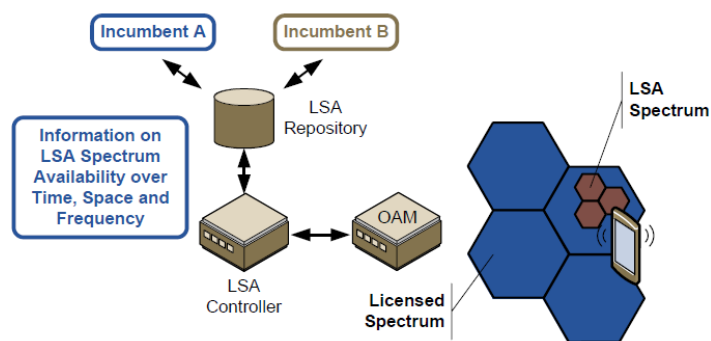
#### 2.6.4. Από κοινού αξιοποίηση φάσματος

Η δυνατότητα εκμετάλλευση του ίδιου αδειοδοτούμενου φάσματος από κοινού ανάμεσα στους παρόχους, αποτελεί βασική συνθήκη στα συστήματα 5G για την επίτευξη των απαιτούμενων αποτελεσμάτων. Η ιδέα δεν είναι ούτε καινούρια ούτε καινοτόμα καθώς ο όρος ASA (Authorized Shared Access) χρησιμοποιήθηκε για την κατανομή ευρυζωνικού φάσματος στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Ο νέος όρος που εισάγεται με το 5G είναι αυτός του LSA (License Share Access) που επιτρέπει σε έναν πάροχο υπηρεσιών να χρησιμοποιεί / μοιράζεται το διαθέσιμο φάσμα.

Σε γενικές γραμμές:

- ASA - Επιτρέπει την πρόσβαση σε πρόσθετες ζώνες συχνοτήτων για κινητή ευρυζωνική σύνδεση
- LSA - Χρησιμοποιεί το φάσμα σύμφωνα με "κανόνες κοινής χρήσης", επιτρέποντας στους εξουσιοδοτημένους χρήστες να παρέχουν συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών.

Η Εικόνα 2.30 απεικονίζει την βασική αρχή λειτουργίας του LSA. Πολλοί φορείς εκμετάλλευσης επιτρέπουν τη διαθεσιμότητα φάσματος LSA με ορισμένους κανόνες. Αυτοί θα μπορούσαν να σχετίζονται με το τι, πότε και πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διαθέσιμες/κοινές συχνότητες. Στο σύστημα εισάγονται 2 καινούρια στοιχεία, αυτά του ελεγκτή LSA (LSA Controller) και του OAM (Operations, Administration and Management). Τα OEM και LSA controller είναι σε θέση να ελέγχουν τη χρήση φάσματος και να εκχωρούν επιπλέον δυνατότητες και φάσμα ανάλογα με τους κανόνες και τις συμφωνίες που έχουν θεσπιστεί μεταξύ των παρόχων.

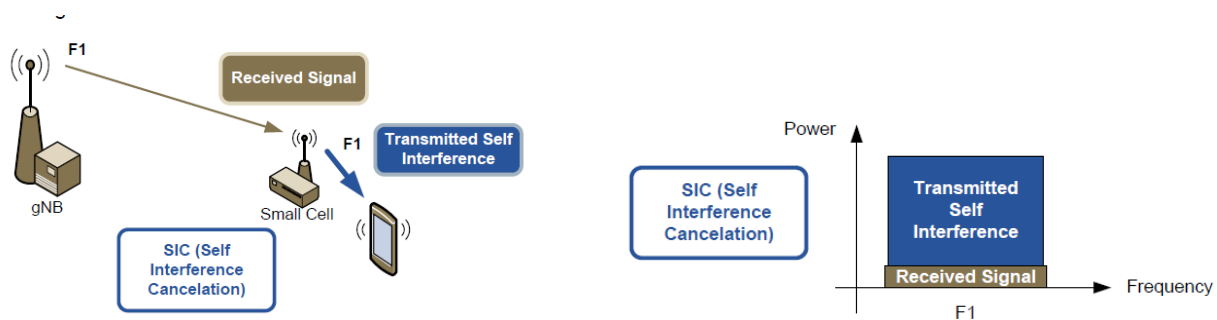


Σχήμα 2.30 Αρχή λειτουργίας LSA

### 2.6.5. Ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το LTE βασίζεται σε διαμορφώσεις FDD (Frequency Division Duplex) ή TDD (Time Division Duplex). Και στις δύο περιπτώσεις, το σύστημα δεν έχει σχεδιαστεί για να μεταδίδει και να λαμβάνει την ίδια συχνότητα ταυτόχρονα. Μια πιθανή βελτίωση για το 5G είναι η ικανότητα του συστήματος να κάνει ακριβώς αυτό, αξιοποιώντας τη λειτουργία Self Interference Cancellation (SIC), όπως παράδειγμα της οποίας απεικονίζεται στην Εικόνα 2.31.

Μία μικρο-κυψέλλη (small cell) χρησιμοποιεί το γειτονικό gNB ως δότη σήματος. Σε αυτή την περίπτωση, το small cell χρησιμοποιεί τον ίδιο συνδυασμό συχνότητας για λήψη από το gNB και για την αποστολή του σήματος. Ως αποτέλεσμα, για την λειτουργία του small cell, στην ίδια συχνότητα F1, υπάρχει ένα μεγάλο μεταδιδόμενο σήμα και ένα αρκετά μικρό λαμβανόμενο σήμα.



Εικόνα 2.31 Ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη - παράδειγμα χρήσης σε small cell

### 2.6.6 Λοιπές εξελίξεις του 5G

Τέλος, παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του 5G:

- Επικοινωνία συσκευής με συσκευή- Το LTE Advanced Pro περιλαμβάνει ήδη τα V2X (Vehicle to Everything) και ProSe (Proximity Services) ως μέρος των Release 13 και Release 14. Το 5G, θα ενσωματώνει χαρακτηριστικά για υποστήριξη πλήρους D2D επικοινωνίας.
- Ενσωμάτωση ασύρματης πρόσβασης / backhaul - Η πύκνωση του δικτύου είναι βασικό χαρακτηριστικό του 5G. Ως εκ τούτου, υπάρχει έντονη συζήτηση για τις μεθόδους πρόσβασης στο δίκτυο κορμού με το 5G. Προκειμένου να επιλυθεί οποιοδήποτε πρόβλημα με την πρόσβαση στο backhaul, αναμένεται να συμπεριληφθούν μηχανισμοί για την αξιοποίηση του 5G ως τεχνολογίας backhaul.

- Ευέλικτα δίκτυα - Το 5G ορίζει μια ευέλικτη αρχιτεκτονική που επιτρέπει τον συντονισμό των χαρακτηριστικών απόδοσης, τη διαχείριση φορτίων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, καθιστά δυνατή τη χρήση τεχνικών NFV και SDN και διευκολύνεται η ταχύτερη ανάπτυξη του 5G.
- Τεχνολογία ραδιο-πρόσβασης ανεξάρτητη από το δίκτυο κορμού - Ο πυρήνας του 5G είναι δομημένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης. Με τον τρόπο αυτό, το 5GC μπορεί να υποστηρίζει άλλες τεχνολογίες όπως το eLTE (εξελιγμένο LTE).
- Cloud RAN - Το C-RAN (Cloud RAN) ή το Centralized RAN σχετίζονται συνήθως με την επεξεργασία του ψηφιακού σήματος για την παράλληλη επεξεργασία σήματος και διαχείριση πολλαπλών σταθμών. Αυτό οδηγεί σε βελτιωμένη απόδοση μέσω του βέλτιστου συντονισμού του συστήματος. Το Cloud RAN είναι ήδη διαθέσιμο σε συστήματα πρόσβασης 2G, 3G και 4G. Δεδομένου ότι το 5G αποτελεί τη τελευταία εξέλιξη στο χώρο την κινητών επικοινωνιών, αναμένεται ότι το Cloud RAN θα αποτελεί την βέλτιστη επιλογή ανάπτυξης του δικτύου.
- Network Slicing - Το Network Slicing βελτιστοποιεί και εξειδικεύει τους πόρους που χρησιμοποιούνται για μια υπηρεσία. Χρησιμοποιεί πόρους RAN και Core Network για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του συνδρομητή ή της υπηρεσίας.



## Κεφάλαιο 3 – Σταθμός Βάσης Κινητών Επικοινωνιών

### 3.1 Εισαγωγή

Κάθε χρόνο εκατομμύρια χρήστες και νέες υπηρεσίες προστίθενται στα δίκτυα των παρόχων κινητών επικοινωνιών. Παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον να μελετηθεί η υλικοτεχνική υποδομή που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των σημερινών αναγκών και μελλοντικών απαιτήσεων.

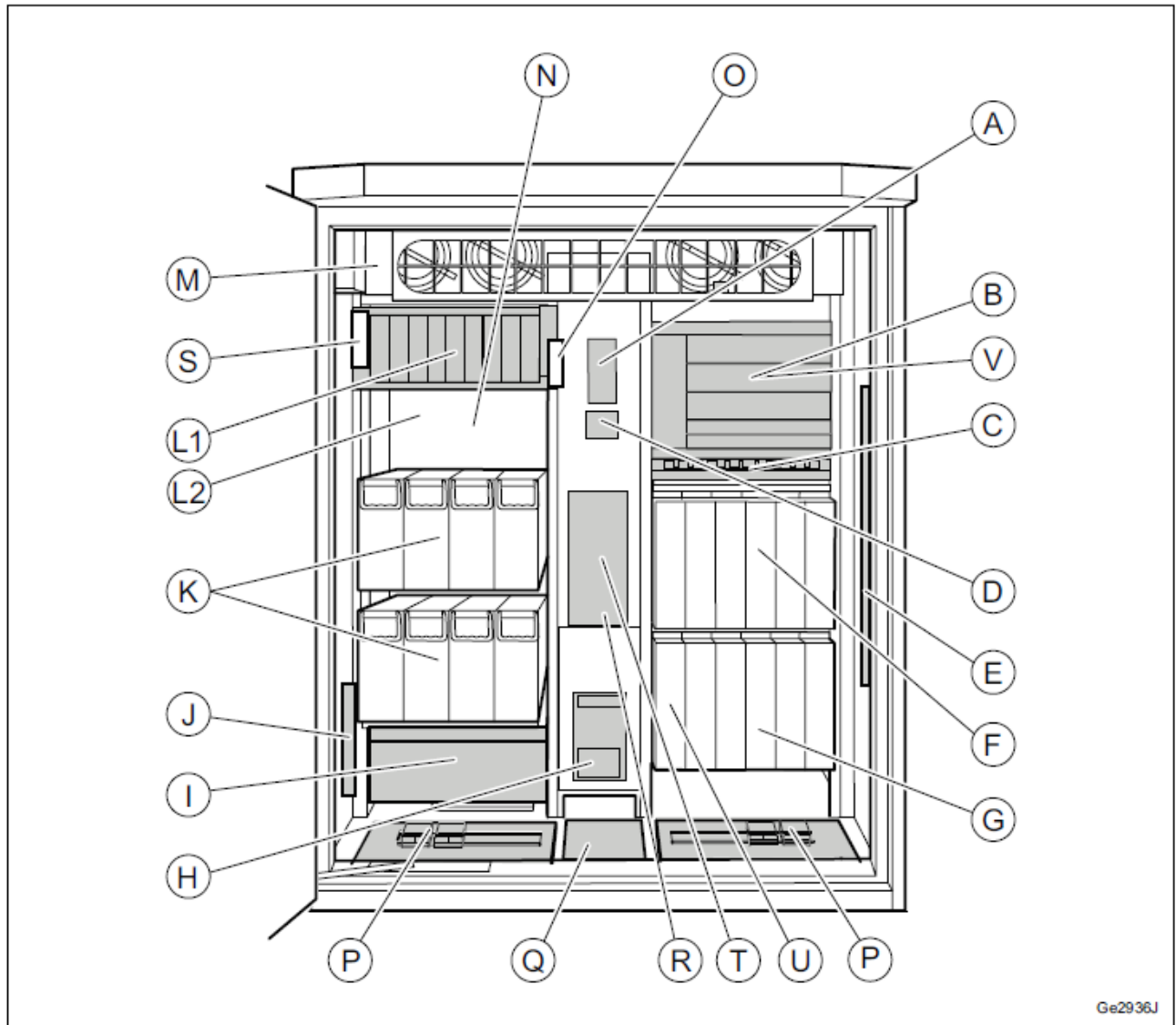
Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί γενική επισκόπηση των μονάδων που απαρτίζουν ένα σταθμό βάσης (site), παρέχοντας εφαρμοσμένο παραδείγμα του δικτύου κορυφαίου παρόχου των Η.Π.Α, έχοντας την Ericsson ως τον προμηθευτή εξοπλισμού.

Ανεξαρτήτως του προμηθευτή εξοπλισμού, τα κύρια μέρη που απαρτίζουν το σταθμό βάσης είναι τα παρακάτω, τα οποία θα αναλυθούν εκτενέστερα στις επόμενες ενότητες :

- Σταθμός βάσης ραδιοεκπομπής (Radio Base station, RBS). Περιλαμβάνει την κεντρική μονάδα ή καμπίνα του σταθμού
- Ψηφιακή μονάδα (Digital Unit, DU)
- Μονάδα ραδιοεκπομπής (Radio Unit, RU)
- Κεραιosύστημα

### 3.2 Κύρια Μονάδα RBS

Το RBS περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες, πόρους και μονάδες που απαιτούνται για τη στήριξη της ραδιοεκπομπής. Στην Εικόνα 3.1 παρέχεται επισκόπηση του RBS 6131, που χρησιμοποιείται συχνά σε πραγματικά δίκτυα και αναπτύσσεται από την Ericsson. Όλα τα RBS έχουν παρόμοια αρχιτεκτονική υλικού, αλλά καθώς το RBS 6131 είναι το πιο συνηθισμένο, θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει όλες τις υλικές μονάδες που περιλαμβάνονται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Αρχιτεκτονική υλικού RBS 6131

Θέση	Όνομα Μονάδας	Περιγραφή
A	SCU	Η μονάδα SCU (Support Controls Unit) ελέγχει το κλιματικό σύστημα. Η κύρια λειτουργία του SCU είναι να ελέγχει και να επιβλέπει την ταχύτητα των ανεμιστήρων στη καμπίνα.
B	Ψηφιακή (DU) ή Μονάδα βαθυπερατής ζώνης (BaseBand Unit)	Χώρος που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση DU ή BBU. Πληροφορίες για τη Ψηφιακή ή τη Μονάδα Βαθυπερατής ζώνης παρέχονται στην επόμενη ενότητα
C	Power Distribution Unit (PDU)	Ο κύριος σκοπός της PDU είναι να διανείμει -48 V DC ισχύ σε μονάδες με ισχύ DC. Το σύστημα PDU λαμβάνει μία τροφοδοσία τάσης εισόδου και την κατανέμει σε ξεχωριστές εξόδους παρέχοντας προστασία από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα.
D	Connection Field (CF)	Το Connection Field είναι μια μονάδα που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη της σύνδεσης μεταξύ των διαφόρων μονάδων.
E	Service Light	Το Service Light ανάβει όταν ανοίξει η πόρτα της καμπίνας.
F	Radio Unit	Χώρος που χρησιμοποιείται για τη εγκατάσταση RUs. Πληροφορίες σχετικά με τις RUs παρέχονται σε επόμενη ενότητα.
G	Χώρος Μπαταριών	Αυτός ο χώρος χρησιμοποιείται για τη εγκατάσταση των μπαταριών που απαιτούνται για την παροχή ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
H	GPS	Ο χώρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια μονάδα GPS. Η μονάδα GPS χρησιμοποιείται για συγχρονισμό μεταξύ της RU, της DU μονάδας και του δικτύου μεταφοράς

I	Power Connection Unit (PCU)	Η PCU χρησιμοποιείται για τη διανομή ενέργειας μεταξύ των μονάδων.
J	Support Alarm Unit (SAU)	Η SAU χρησιμοποιείται για τη σύνδεση εξωτερικών μετρητών και αισθητήρων όπως ανιχνευτές καπνού, ανιχνευτές ανοικτής πόρτας και άλλα.
K	Μπαταρίες	Δύο συστοιχία τεσσάρων μπαταριών μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό της καμπίνας ως εφεδρικές. Επιπλέον, μπορεί να τοποθετηθεί μία πρόσθετη συστοιχία των τεσσάρων μπαταριών στο χώρο G.
L1, L2	Μονάδες ισχύος	Ένας επιπλέον χώρος που χρησιμοποιείται για τη εγκατάσταση μονάδων ισχύος, όπως PDU και μπαταρίες.
M	Ανεμιστήρες	Οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας μέσα στο RBS.
N	Προαιρετικός Εξοπλισμός	Χώρος για προαιρετικό εξοπλισμό που καθορίζεται από τον πελάτη, όπως ένα δεύτερο σύστημα παροχής ισχύος.
O	Support Hub Unit (SHU)	Η SHU χρησιμοποιείται για τη σύνδεση περιφερειακών μονάδων, όπως CLU, DU, Baseband, PDUs και SCU στο δίαυλο ελέγχου.
P, Q	Μονάδες Προστασίας από υπερτάσεις	Οι μονάδες προστασίας από υπερτάσεις προστατεύουν το RBS από ζημιές που προκαλούνται από υπερτάσεις.



R	RUS 01	Χώρος που χρησιμοποιείται για τη εγκατάσταση μονάδας RUS-01. Το RUS 01 υποστηρίζει GSM, WCDMA και LTE FDD (ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων). Διαθέτει έναν αμφίδρομο κλάδο RX / TX και έναν κλάδο RX μόνο για uplink, επίσης υποστηρίζει και σύνδεση των θυρών RX με άλλες RRU. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις RU παρέχονται στην επόμενη ενότητα.
T, U, V,	BBU R503	Η BBU R503 ή η βοηθητική μονάδα πολυπλεξίας (Auxiliary Multiplexing Unit, XMU) χρησιμοποιείται για τη διανομή δεδομένων μέσω πρωτοκόλλου CPRI (Common Public Radio Interface). Παρέχει γενική επεξεργασία, πολυπλεξία, διασύνδεση ραδιοσυχνοτήτων και συγχρονισμό χρησιμοποιώντας σήματα GPS. Η XMU διαχωρίζει τη ροή bits στο downlink/uplink ώστε να υποστηρίζεται ο αναγκαίος αριθμός Cells σύμφωνα με τον προγραμματισμό του παρόχου.
W	Προαιρετικός Εξοπλισμός	Χώρος για προαιρετικό εξοπλισμό που καθορίζεται από τον πελάτη, όπως ένα δεύτερο σύστημα παροχής ισχύος.

Πίνακας 3.1 Μονάδες υλικού RBS 6131

### 3.3 Ψηφιακή Μονάδα, DU

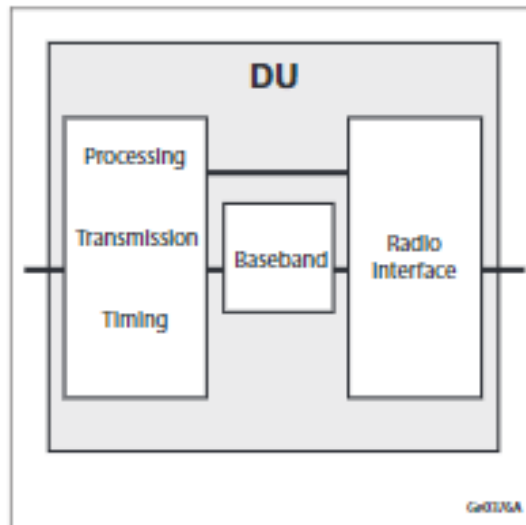
Η θέση B στο RBS 6131 παρέχει χώρο για την εγκατάσταση DU ή BBU.

Οι DUs έχουν τις παρακάτω λειτουργίες:

- Λειτουργία χρονισμού
- Είναι η μονάδα στην οποία εγκαθίσταται το απαραίτητο λογισμικό
- Εκτελεί επεξεργασία ψηφιακού σήματος στο uplink/downlink
- Εκτελεί διαχείριση του φορτίου σε επίπεδο IP

- Εκτελεί προγραμματισμό δεδομένων και χειρισμό μετάδοσης στο δίκτυο κορμού
- Ελέγχει την ισχύ και τη λειτουργία του κλιματισμού στο RBS
- Παρέχει τη διεπαφή για τη μετάδοση δεδομένων μέσω καλωδίων CPRI στις RU

Οι ψηφιακές μονάδες αποτελούν τον πυρήνα ενός σταθμού βάσης. Όλα τα ψηφιακά δεδομένα επεξεργάζονται στη μονάδα αυτή, που επίσης παρέχει και τη διεπαφή μεταξύ του RAN (μέσω της σύνδεσης με τις RU) και του δικτύου κορμού. Σε όρους εξοπλισμού NOKIA, οι ίδιες λειτουργίες εκτελούνται από τις System Modules. Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζεται το διάγραμμα μπλοκ μιας DU της Ericsson και στην Εικόνα 3.3 υπάρχουν τα βασικά σημεία μιας System Module NOKIA.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα μπλοκ DU Ericsson

## Flexi Multiradio System Module (FSMF)

### What is new?

- **GSM, WCDMA, LTE and LTE-A support**
  - Existing WCDMA/LTE support extended to cover also GSM
- **Improved usability**
  - Capacity expansions with sub-modules (FBBA)
  - Support for OBSAI interface, HW prepared also for CPRI
- **Exceptional high capacity**
  - The latest state-of-the-art processor technology
  - Increased baseband pooling from two (2) to nine (9) System Modules (Future)
  - Larger multiradio and multiband configurations
    - Increased number RF interfaces from 3 (FSMC/D/E) to 6
  - Improved RF Module chaining capability
    - Enhanced optical interfaces capacity from 3 Gbps (FSMC/D/E) to 6 Gbps
- **Improved connectivity**
  - High capacity Ethernet transport integrated in System Module
  - Other transport media with optional integrated Transport Sub-module

- 133 x 447 x 420/560 mm (h x w x d)
- Outdoor: -35 to +55 °C, IP65
- Weight: 10.1 - 19.7 kg



- Typical power consumption:
- FSMF - 125W
  - FBBA - 90W

3 © Nokia Siemens Networks 2011



Εικόνα 3.3 Βασικά στοιχεία FSMF Nokia

Πλέον, η Ericsson προτείνει στους παρόχους με τους οποίους συνεργάζεται μια εξελιγμένη μονάδα DU, τη BBU 5216, που παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα, ώστε να ανταποκριθεί στις συνεχώς εξελισσόμενες ανάγκες για επέκταση της δυναμικότητας του δικτύου και υψηλότερες ταχύτητες. Επιπλέον, η μονάδα αυτή, έρχεται ένα βήμα πιο κοντά στο 5G και τις απαιτήσεις του IMT-2020 ενσωματώνοντας λειτουργίες Centralized / Elastic RAN, NIoT LTE και άλλα. Οι Εικόνες 3.4-3.6 παρέχουν μερικές πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες της BBU5216. Αντίστοιχες λειτουργίες για την NOKIA, ενσωματώνονται στη μονάδα AIRSCALE<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> <https://networks.nokia.com/products/airscale-radio-access>



Εικόνα 3.4 Ericsson BBU 5216

## BASEBAND 5216 HARDWARE CAPABILITIES

- › LTE (FDD & TDD supported)
  - Up to 8000 connected users\*
  - Up to 2000 VoIP users\*
  - Up to 1.2 Gbps Downlink & 600 Mbps Uplink\*
  - Up to 24 cells & 1920 MHz antenna bandwidth\*
- › WCDMA
  - Up to 1152 CE Downlink\*
  - Up to 1152 CE Uplink\* / Up to 1920 CE EUL\*
  - Up to 24 cell carriers
- › GSM
  - Up to 48 TRX\*
- › Mixed Mode capable
  - LTE + WCDMA, LTE + GSM, GSM + WCDMA

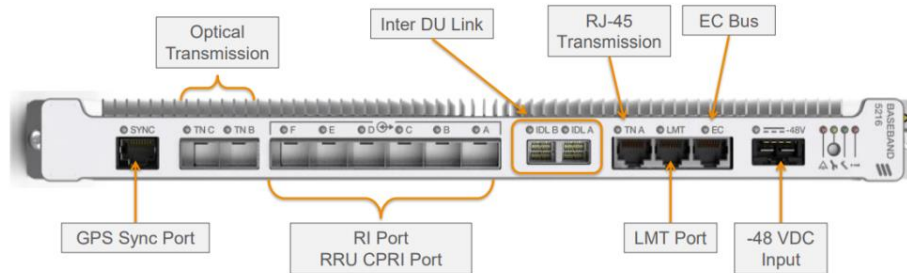


Baseband 5216 SW | Commercial in confidence | 2016-05-11 | Page 7 (3)

\*Hardware prepared

Εικόνα 3.5 Χαρακτηριστικά BBU 5216

## BASEBAND 5216



Εικόνα 3.6 Διεπαφές εισόδου / εξόδου BBU 5216.

### 3.4 Μονάδα Ραδιοεκπομπής, RU

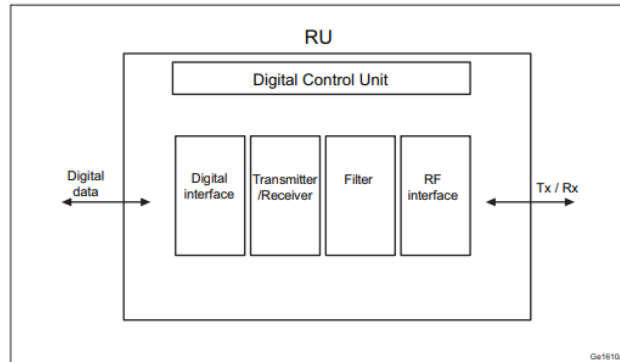
Η θέση F στο RBS 6131 παρέχει χώρο για την εγκατάσταση RUs. Οι RU εκτελούν τις παρακάτω λειτουργίες:

- Επεξεργασία ραδιοεκπομπής. Μετατροπή Αναλογικού σήματος (RF) σε ψηφιακό και αντίστροφα
- Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση RF σήματος
- Φιλτράρισμα Uplink και downlink
- Καθυστέρηση και προσαρμογή κέρδους
- Αποτελεί διεπαφή τερματισμού οπτικού καλωδίου (για την σύνδεση της RU με τη DU)
- Εκτελεί ενίσχυση του RF σήματος
- Υποστηρίζει τις λειτουργίες Remote Electrical Tilt, Tower Mast Amplifiers και Voltage Standing Wave Ratio (VSWR<sup>22</sup>)

Η RU στο uplink χρησιμοποιείται για την οπτική διασύνδεση με τις DU. Τα δυαδικά ψηφία που μεταδίδονται από τον DU μετατρέπονται σε σήμα RF, ενισχύονται και προωθούνται μέσω των κλάδων RF στην κεραία για μετάδοση. Στο downlink η RU χρησιμοποιείται ως φίλτρο ζώνης διέλευσης και ενισχυτής χαμηλού θορύβου, αποδιαμορφώνει το RF σήμα και το μετατρέπει σε ψηφιακό το οποίο μεταδίδεται μέσω των οπτικών διεπαφών στην DU. Η επικοινωνία μεταξύ της RU και της DU

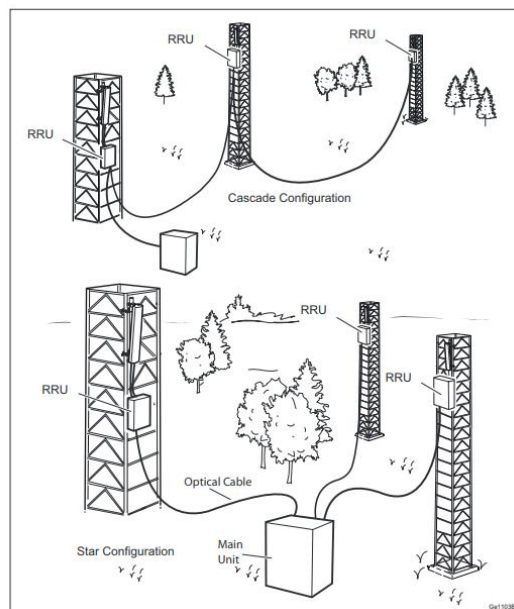
<sup>22</sup> <http://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>

επιτυγχάνεται μέσω οπτικών καλωδίων και η μετάδοση δεδομένων βασίζεται στο πρωτόκολλο CPRI<sup>23</sup>. Το διάγραμμα μπλοκ μιας RU παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7 Διάγραμμα μπλοκ ράδιο μονάδας της Ericsson.

Μια RU μπορεί να βρίσκεται είτε εντός του RBS, είτε να βρίσκεται έξω από το RBS σε μια θέση πιο κοντά στην κεραία. Στην περίπτωση αυτή ονομάζεται Remote RU (RRU). Στην Ericsson η σύνδεση DUs με τις RUs μπορεί να επιτευχθεί είτε με συνδεσμολογία αστέρα (star) είτε με μέσω διαδοχική σύνδεσης μεταξύ των RUs (cascaded) όπως εικονίζεται στην Εικόνα 3.8.



Σχήμα 3.8 Συνδεσμολογία star και cascaded .

<sup>23</sup> <http://www.cpri.info/>

Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας RU είναι η συχνότητα λειτουργίας της (όπως ήδη αναφέρθηκε, η RU είναι ένα ζωνοπερατό φίλτρο), ο αριθμός των εξόδων που παρέχει προς το κεραιοσύστημα (δηλαδή τα Rx /Tx branches) και η ισχύς εκπομπής που μπορεί να υποστηριχθεί στην κάθε έξοδο. Για τη NOKIA η παρόμοια μονάδα ονομάζεται RF Module. Η Εικόνα 3.9 παρουσιάζει τις διεπαφές ενός RF Module (μονάδα FXEB που παρέχει 3 κλάδους RF, υποστηρίζοντας ισχύ 80W σε κάθε cell, στο φάσμα των 1800MHz). Η Εικόνα 3.10 απεικονίζει τις διεπαφές μιας RRU της Ericsson (η μονάδα RRUS 11 παρέχει 2 κλάδους RF με υποστηριζόμενη ισχύ 30W ανά κλάδο και υποστηρίζει το φάσμα των 1900MHz).



Εικόνα 3.9 Μονάδα FXEB της Nokia



Εικόνα 3.10 Μονάδα RRUS 11\_B2 της Ericsson

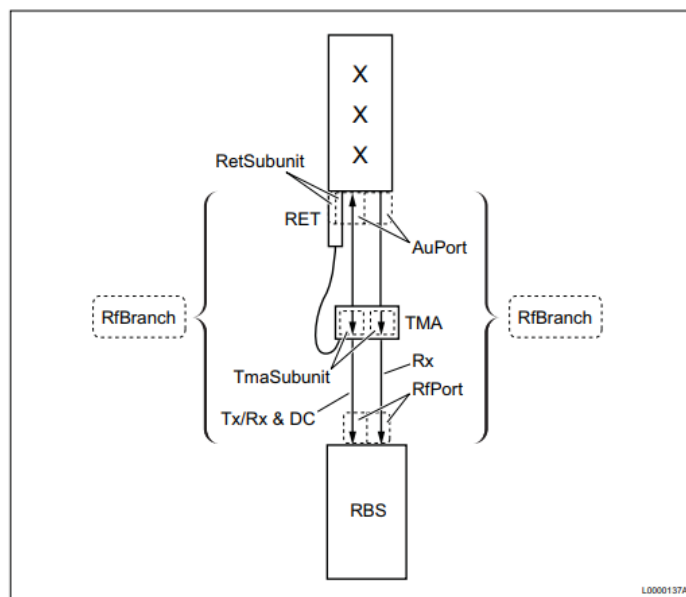
### 3.5 Κεραιοσύστημα

Ο εξοπλισμός του κεραιοσυστήματος αποτελείται από το ακόλουθα μέρη:

- Κεραία

- Ενισχυτής σήματος (Tower Mast Amplifier, TMA- προαιρετικός)
- Απομακρυσμένη ηλεκτρική μονάδα (Remote Electrical Unit,RET - προαιρετική)
- Καλωδίωση τροφοδοσίας

Η Εικόνα 3.11 απεικονίζει ένα απλοποιημένο κεραιοσύστημα αποτελούμενο από κεραία, TMA και RET. Η σύνδεση της RU με τις θύρες τη κεραίας (Antenna Unit Ports , AuPorts) πραγματοποιείται μέσω καλωδίων τροφοδοσίας που μεταφέρουν το RF σήμα από την RU στην κεραία και αντίστροφα.



Εικόνα 3.11 Παράδειγμα κεραιοσυστήματος (με Antenna, TMA και RET)

### 3.5.1 Κεραία

Ρόλος της κεραίας στο downlink (μετάδοση σήματος από το σταθμό) είναι η ενίσχυση του RF σήματος που λαμβάνει μέσω των καλωδίων τροφοδοσίας από την RU και η μετάδοση του στο φάσμα συχνοτήτων που υποστηρίζει. Στο uplink (λήψη σήματος από το σταθμό) λειτουργεί σαν ένα ζωνοπερατό φίλτρο. Λαμβάνει όλο το εύρος σήματος, το φιλτράρει με βάση τη ζώνη συχνοτήτων που υποστηρίζει, το ενισχύει και το μεταδίδει στις RU όπου διεξάγεται η αντίστροφη λειτουργία.

Η Εικόνα 3.12 αποτελεί ένα τεχνικό φυλλάδιο μίας ευρέως χρησιμοποιούμενης εμπορικά κεραίας.



<b>2-Multi-band Panel</b>	<b>1710-2170</b>	<b>1710-2170</b>
<b>Dual Polarization</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Half-power Beam Width</b>	<b>65°</b>	<b>65°</b>
<b>Adjust. Electr. Downtilt</b>	<b>0°-10°</b>	<b>0°-10°</b>

set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

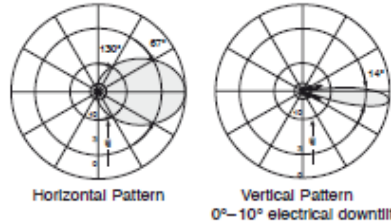
**KATHREIN**  
Antennen · Electronic

XXPol Panel 1710-2170/1710-2170 65°/65° 15/15dBi 0°-10°/0°-10°T

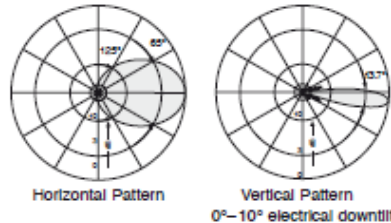
Type No.	<b>742233v01</b>		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	<b>1710-2170</b> 1850 - 1990 MHz	1920 - 2170 MHz
Polarization	+45°, -45°, +45°, -45°	+45°, -45°, +45°, -45°	+45°, -45°, +45°, -45°
Gain	4 x 15 dBi	4 x 15.2 dBi	4 x 15.3 dBi
<b>Horizontal Pattern:</b>			
Half-power beam width	67°	65°	62°
Front-to-back ratio	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio			
Malndirection	0°	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB
Sector	±60°	Typically: 10 dB	Typically: 10 dB
<b>Vertical Pattern:</b>			
Half-power beam width	14°	13.7°	13°
Electrical tilt	0°-10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 4° ... 8° ... 10°T 16 ... 16 ... 15 ... 15 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10°T 16 ... 16 ... 16 ... 16 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10°T 16 ... 16 ... 16 ... 16 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between inputs	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per Input	250 W (at 50 °C ambient temperature)		



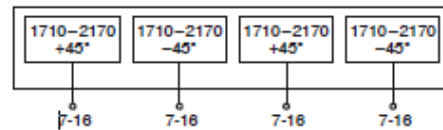
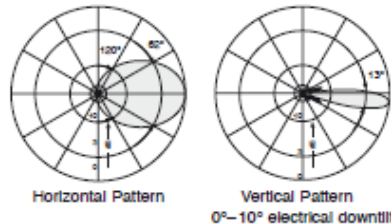
1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 - 2170 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	4 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	2x, Position bottom continuously adjustable
Wind load	Frontal: 350 N (at 150 km/h) Lateral: 85 N (at 150 km/h) Rearside: 370 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	679 / 323 / 71 mm
Category of mounting hardware	M (Medium)
Weight	11 kg / 13 kg (clamps incl.)
Packing size	924 x 360 x 130 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 50 - 115 mm diameter

906 3965/6 Subject to alteration.

Internet: www.kathrein.de

742233v01 Page 1 of 2

KATHREIN-Werke KG · Anton-Kathrein-Straße 1 - 3 · P.O. Box 10 04 44 · 83004 Rosenheim · Germany · Phone +49 8031 184-0 · Fax +49 8031 184-973

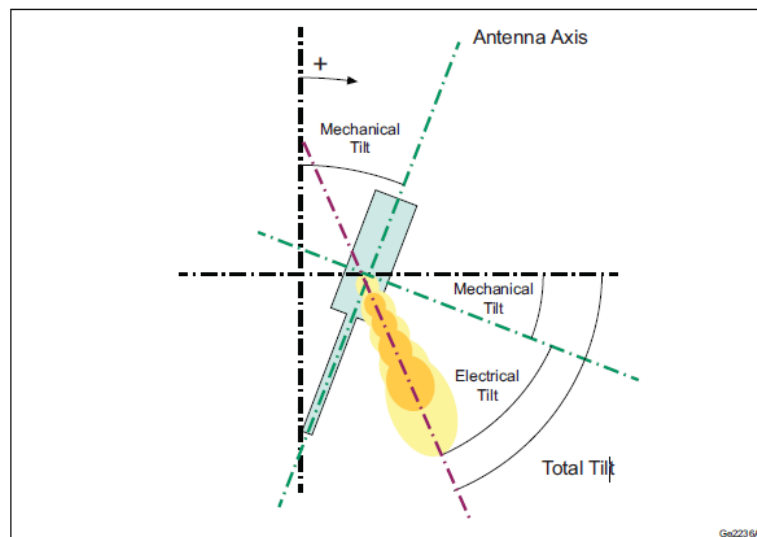
Εικόνα 3.12 Τεχνικό φυλλάδιο κεραίας Kathrein 742233

### 3.5.2. Απομακρυσμένη ηλεκτρική κλίση

Η ρύθμιση της γωνίας εκπομπής της κεραίας αποτελεί μία από τις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς των παρόχων ώστε να επιτύχουν την απαιτούμενη απόδοση του συστήματος, μειώνοντας παράλληλα τις παρεμβολές. Απαιτούνται αλλαγές στην κλίση της κεραίας κατά την αρχική ρύθμιση. Ρύθμιση της γωνίας εκπομπής επιτυγχάνεται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Με παροχή σταθερής γωνία κλίσης με την εγκατάσταση της κεραίας (μηχανική κλίση)
- Τροποποιώντας το ρεύμα που διαρρέει τις στοιχειοκεραίες της κεραίας ώστε να αλλάξει ο συνολικός λοβός εκπομπής της κεραίας (ηλεκτρική κλίση)

Η Εικόνα 3.13 αποτελεί παράδειγμα μηχανικής και ηλεκτρικής κλίσης:



Εικόνα 3.13 Μηχανική και ηλεκτρική κλίση

Η ηλεκτρική κλίση μπορεί να ρυθμιστεί χειροκίνητα και τοπικά στην κεραία ρυθμίζοντας μέσω ειδικής συσκευής την φάση στις κυματομορφές εκπομπής της κεραίας (phase shifting). Κάτι τέτοιο απαιτεί επίσκεψη στην εγκατάσταση και πρόσβαση στην κεραία, που συχνά είναι δύσκολη και επικίνδυνη. Πλέον παρέχεται η ευκαιρία στους μηχανικούς του δικτύου για απομακρυσμένο έλεγχο της ηλεκτρικής κλίσης μέσω της συσκευής RET. Ο απομακρυσμένος έλεγχος έχει ως αποτέλεσμα, λιγότερες επισκέψεις στις εγκαταστάσεις και επομένως μείωση του λειτουργικού κόστους και τους κόστους συντήρησης.

Η σύνδεση της συσκευής RET με την κεραία γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου AISG<sup>24</sup>, που καθιστά δυνατή τη διασύνδεση του κεραιοσυστήματος με το σταθμό βάσης επιτρέποντας τον απομακρυσμένο έλεγχο του ρυθμιστή φάσης της ηλεκτρικής κλίσης.

### 3.5.3 Ενισχυτής σήματος

Από την πλευρά του downlink του σταθμού (μετάδοση δεδομένων από σταθμό) η ισχύς εκπομπής είναι τόση ώστε τα UEs δεν αντιμετωπίζουν δυσκολία στη λήψη του σήματος από το σταθμό και στην αποκωδικοποίησή του. Στην uplink όμως (λήψη δεδομένων από το σταθμό), ο κάθε σταθμός βάσης καλείται να λάβει δεδομένα και να τα αποκωδικοποιήσει από δεκάδες συσκευές των οποίων η ισχύς εκπομπής είναι περιορισμένη. Επιπλέον, από το σημείο λήψης της κεραίας μέχρι την RU, μπορεί να μεσολαβούν αρκετά μέτρα ομοαξονικού καλωδίου, που εισάγουν εκ νέου σημαντικές απώλειες στο σύστημα. Για το λόγο αυτό, κοντά στην κεραία συχνά τοποθετείται ενισχυτής (Tower Mast Amplifier, TMA<sup>25</sup>) του uplink σήματος.

Το TMA ενισχύει τα RF σήματα που λαμβάνονται από την κεραία πριν αποσταλούν στο RBS μέσω των καλωδίων τροφοδοσίας κεραίας. Η βελτίωση του σηματοθυρβικού λόγου που προκύπτει, αντισταθμίζει τις απώλειες που εισάγονται από την μεταφορά του σήματος από της κεραία στο RBS μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Το TMA λειτουργεί σαν ζωνοπερατός ενισχυτής, καθώς ενισχύει το λαμβανόμενο σήμα μόνο σε συγκεκριμένο εύρος ζώνης και συνδέεται απευθείας με την κεραία.

Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει στο RBS να τροφοδοτεί με DC ρεύμα το TMA μέσω του ίδιου καλωδίου τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της κεραίας. Η επικοινωνία και έλεγχος του TMA με το υπόλοιπο σύστημα γίνεται μέσω πρωτοκόλλου AISG.

## 3.6 Πραγματικό παράδειγμα εγκατάστασης

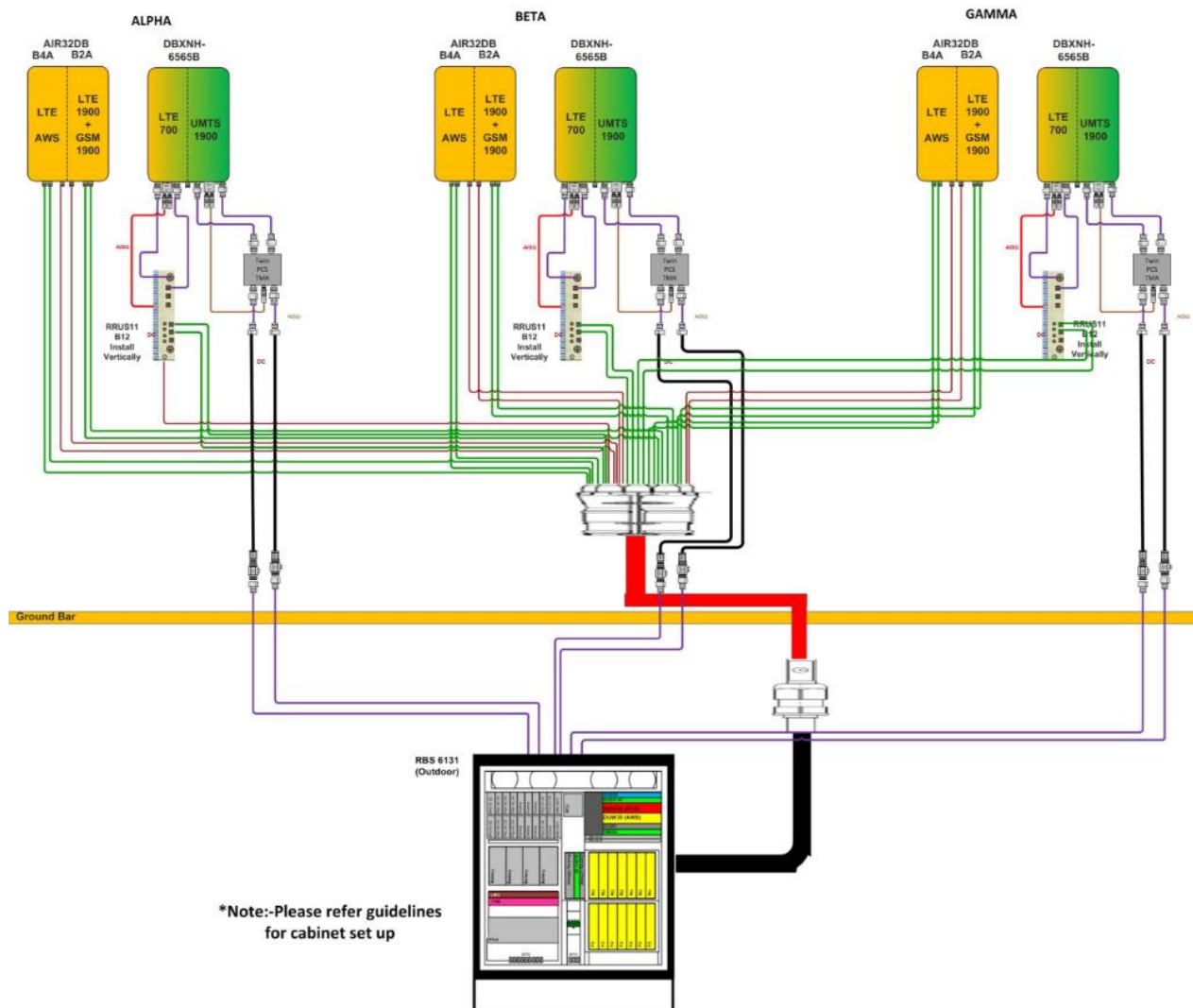
Δεδομένης της ιδιωτικότητας των δεδομένων δεν είναι δυνατόν να δοθούν επακριβή στοιχεία για το που τοποθετείται και σε ποιο πάροχο ανήκει η συγκεκριμένη εγκατάσταση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.14 οι μεταδιδόμενες τεχνολογίες είναι LTE σε AWS<sup>26</sup>, PCS, 700MHz, UMTS PCS και GSM PCS. Η περιοχή αποτελείται από 3 τομείς (άλφα, βήτα και γάμα),

<sup>24</sup> <https://www.asentria.com/solutions/active-aisg.aspx>

<sup>25</sup> Η λειτουργία του TMA είναι συμβατή με την τεχνική έκθεση TS 25.466. του 3GPP

<sup>26</sup> Οι όροι AWS, PCS, 700MHz αναφέρονται σε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων στοιχεία για τις οποίες μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο.

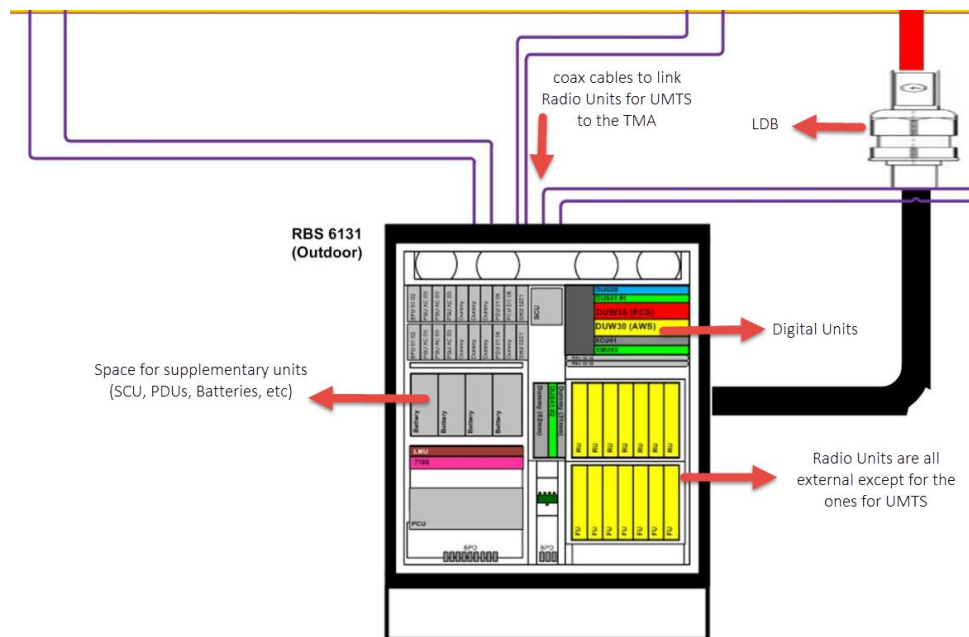
όπου κάθε τομέας αποσκοπεί στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης περιοχής με βάση την κατεύθυνση εστίασης και προσανατολισμό του. Το συγκεκριμένο παράδειγμα αποτελεί έναν από τους αντιπροσωπευτικότερους σταθμούς βάσης στο δίκτυο του συγκεκριμένου παρόχου.



Εικόνα 3.14 Παράδειγμα σταθμού βάσης

Το RBS που χρησιμοποιείται σε αυτό το σταθμό είναι το RBS 6131, που αναλύθηκε στην αρχική ενότητα του κεφαλαίου. Στο σταθμό είναι εγκαταστημένες δύο μονάδες DUS, που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη του LTE, μία μονάδα DUW για UMTS και μία DUG για GSM. Όλες οι RUs εκτός από εκείνες που χρησιμοποιούνται για την εκπομπή UMTS είναι εγκατεστημένες εκτός του RBS (RRUs). Έξω από το RBS υπάρχει επίσης ένα τοπικό κιβώτιο διανομής (Local Distribution Box) που συγκεντρώνει

τις οπτικές ίνες από το DUS και το DUG και παρέχει ως έξοδο ένα υβριδικό καλώδιο με ζεύγη καλωδίων DC και οπτικών ινών.

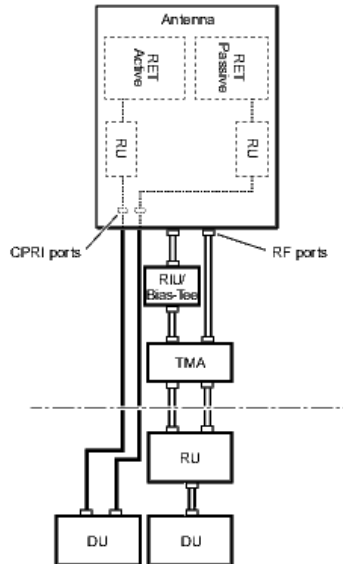


Σχήμα 3.15 Παράδειγμα RBS 6131 του σταθμού αναφοράς

Όπως ήδη αναφέρθηκε, όλες οι RUs που χρησιμοποιούνται βρίσκονται εκτός του RBS, εκτός από τις RUs για το UMTS PCS. Οι RUs που χρησιμοποιούνται είναι RUS01B2. Ο κωδικός RUS 01 έχει ήδη αναφερθεί στην αρχική περιγραφή για το RBS 6131. Το B2 αντιπροσωπεύει τη ζώνη συχνοτήτων που υποστηρίζεται από το RUS01, δηλαδή τη ζώνη 2 για PCS (L1900). Στην ίδια λογική η RU που χρησιμοποιείται για LTE στα 700MHz είναι η RRUS 11 (Remote RU) η οποία υποστηρίζει τη ζώνη 12. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτού του σταθμού είναι η αξιοποίηση κεραίας AIR (Antenna Integrated Radio) για τη εκπομπή του LTE στο φάσμα AWS και PCS. Το LTE στο 1900MHz μεταδίδει μέσω κοινής RU με το GSM στην ίδια συχνότητα.

Η κεραία AIR (Antenna Integrated Radio) αποτελείται από 2 μέρη, ένα που λειτουργεί σαν ενεργό και ένα σαν παθητικό στοιχείο. Στο ενεργό στοιχείο ενσωματώνεται μια RU που υποστηρίζει πρόσβαση σε LTE, UMTS και GSM και έχει ως είσοδο/έξοδο προς το μέρος της κεραίας 4TX / 4RX . Κάθε RU συνδέεται με τη DU ή BBU που βρίσκεται στο RBS με ένα ή δύο καλώδια οπτικών ινών. Το παθητικό μέρος λειτουργεί ως υποδοχή για μια εξωτερική RU. Η κεραία AIR υποστηρίζει παράλληλα

πολλές ζώνες συχνοτήτων. Η λειτουργία ηλεκτρικής κλίσης επιτυγχάνεται με ενσωματωμένες μονάδες RET. Η Εικόνα 3.16 αποτελεί ένα διάγραμμα μπλοκ της κεραίας AIR.



Εικόνα 3.16 Διάγραμμα μπλοκ κεραίας AIR

Το LTE μεταδίδει στα 700MHz μέσω κεραίας Commscope DBXNH-6565A αξιοποιώντας τις δύο από τις 4 θύρες της κεραίας, ενώ το UMTS μεταδίδει στο PCS μέσω των εναπομεινάντων θυρών της κεραίας. Προκειμένου να αντισταθμιστούν οι απώλειες στο uplink, που οφείλονται στη χρήση μεγάλου μήκους ομοαξονικών καλωδίων με υψηλή εξασθένηση και συνδέουν τις RUs του UMTS που βρίσκονται στο RBS με τις θύρες της κεραίας που υποστηρίζουν την εκπομπή του UMTS, παρεμβάλλεται TMA ανάμεσα στις RUs και την κεραία.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> – Δείκτες Ποιότητας Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

### 4.1 Δείκτες Ποιότητας δικτύου 4G σύμφωνα με τη 3GPP

Η παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου 4G αποτελεί μια από τις σημαντικότερες δραστηριότητες ενός παρόχου για τη διασφάλιση αξιόπιστων και αποδοτικών υπηρεσιών προς τους πελάτες του.

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, το OSS-RC αποτελεί την διαχειριστική διεπαφή για τους μηχανικούς του παρόχου, μέσω του οποίου έχουν τη δυνατότητα επίβλεψης και διαχείρισης του δικτύου. Το OSS-RC δρα ως το κεντρικό σημείο όπου συγκεντρώνονται τα δεδομένα που σχετίζονται με την απόδοση του δικτύου από τα διάφορα RBS. Τα eNodeBs παρέχουν μια διεπαφή τύπου machine to machine μέσω της οποίας το OSS-RC συλλέγει τα δεδομένα λειτουργίας και δίνεται η δυνατότητα στους παρόχους να έχουν την γενική επίβλεψη της απόδοσης του δικτύου (Performance Management).

Οι λειτουργίες διαχείρισης απόδοσης μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του δικτύου, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση της αποδοτικότερης χρήσης του δικτύου. Συγκεκριμένα:

- Ανιχνεύεται μη αναμενόμενη υποβαθμισμένη επίδοση του δικτύου, επιτρέποντας στον πάροχο να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για τη διατήρηση της ποιότητας του δικτύου
- Αντιμετωπίζονται προβλήματα δικτύου και προτείνονται ενέργειες βελτίωσης της ποιότητας.
- Παρακολουθείται και βελτιστοποιείται το δίκτυο είτε για τη βελτίωση της ποιότητας που αντιλαμβάνονται οι συνδρομητές είτε για τη διασφάλιση βέλτιστης χρήση των υπαρχόντων πόρων.
- Παρέχονται λεπτομερείς πληροφορίες στους σχεδιαστές του δικτύου, απαραίτητες για την διαστασιολόγηση του δικτύου σε μελλοντική επέκταση του.

Σύμφωνα με την Τεχνική Εκθεση TS 32.451 του 3GPP, περιγράφονται οι παρακάτω κατηγορίες Δεικτών Ποιότητας για το δίκτυο 4G:

- **Accessibility (Προσβασιμότητα)** -Η δυνατότητα πρόσβασης σε μια υπηρεσία, εντός προκαθορισμένων ορίων και συγκεκριμένων συνθηκών, όταν υπάρχει απαίτηση από τη χρήση για πρόσβαση στην υπηρεσία.

- Retainability (Διατηρησιμότητα) - Η ικανότητα μιας υπηρεσίας, όταν αποκτηθεί, να εξακολουθήσει να παρέχεται υπό συγκεκριμένους όρους για την απαιτούμενη από το χρήστη διάρκεια.
- Integrity (Ακεραιότητα) - Ο βαθμός στον οποίο μια υπηρεσία, όταν αποκτηθεί, παρέχεται χωρίς δυσλειτουργίες.
- Mobility (Κινητικότητα) - Η απόδοση των διαφόρων handovers.
- Availability (Διαθεσιμότητα) - Κατά πόσο η υπηρεσία/δίκτυο είναι διαθέσιμα.

## 4.2 Δείκτες Ποιότητας Υπηρεσιών Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών για την Ελλάδα

Με σκοπό την προστασία του Έλληνα καταναλωτή σε θέματα σχετικά με τις τηλεπικοινωνίες, έχει θεσμοθετηθεί η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (Ε.Ε.Τ.Τ.). Πρόκειται για την Ανεξάρτητη Αρχή που αποτελεί τον Εθνικό Ρυθμιστή που ελέγχει, ρυθμίζει και εποπτεύει (α) την αγορά ηλεκτρονικών επικοινωνιών, στην οποία δραστηριοποιούνται οι εταιρείες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, ασύρματων επικοινωνιών και διαδικτύου και (β) την ταχυδρομική αγορά, στην οποία δραστηριοποιούνται οι εταιρείες παροχής ταχυδρομικών υπηρεσιών και υπηρεσιών ταχυμεταφοράς. Επιπλέον, η Ε.Ε.Τ.Τ. ασκεί τις αρμοδιότητες Επιτροπής Ανταγωνισμού στις εν λόγω αγορές.

Στο πλαίσιο της λειτουργίας της Ε.Ε.Τ.Τ. εκδόθηκε το Νοέμβριο του 2011 η υπ' αριθ. ΑΠ. 621/011/27-09-2011 Απόφαση (ΦΕΚ 2417/Β/1-11-2011). Σκοπός της είναι ο ορισμός, η μεθοδολογία μέτρησης καθώς και ο τρόπος και χρόνος δημοσίευσης των ελάχιστων, αντικειμενικών και συγκρίσιμων Δεικτών Ποιότητας (Δ.Π.) παρεχόμενων προς το κοινό υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών, ώστε οι τελικοί χρήστες να διευκολύνονται, αφενός, στη σύγκριση της ποιότητας υπηρεσιών που παρέχονται από διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών και ,αφετέρου, στην πιστοποίηση στο μέτρο του δυνατού, της ποιότητας υπηρεσιών που ήδη τους παρέχονται.

Η παρούσα απόφαση αφορά υπηρεσίες α) σταθερής τηλεφωνίας β) συστημάτων κινητής τηλεφωνίας γ) σταθερών ευρυζωνικών υπηρεσιών και υπηρεσιών VoIP δ) εξυπηρέτησης τελικών χρηστών ε) πληροφοριών καταλόγου. Στη παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναλύονται οι δείκτες ποιότητας για τη κατηγορία των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας.



Οι υπόχρεοι πάροχοι υπηρεσιών συστημάτων κινητών υπηρεσιών μετρούν και παρουσιάζουν Δείκτες Ποιότητας (Δ.Π.) σχετικούς με υπηρεσίες συστημάτων κινητών επικοινωνιών, όπως περιγράφονται ακολούθως. Οι Δ.Π. χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

#### 4.2.1 Δείκτες ανεξάρτητοι της υπηρεσίας

Οι Δ.Π. Υπηρεσιών Συστημάτων Κινητών Υπηρεσιών χωρίζονται σε: α) δείκτες ανεξάρτητοι της υπηρεσίας β) δείκτες υπηρεσίας φωνής γ) δείκτες υπηρεσιών ευρυζωνικών δεδομένων. Οι δείκτες α,β αφορούν τις υπηρεσίες συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και συστημάτων TETRA. Οι δείκτες γ αφορούν μόνο στις υπηρεσίες συστημάτων κινητής τηλεφωνίας.

##### 4.2.1.1 Διαθεσιμότητα δικτύου- ραδιοκάλυψη

Ο Δ.Π. M01 δηλώνει τη γεωγραφική κάλυψη για την παροχή οποιασδήποτε υπηρεσίας μέσω ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών σε πανελλαδική κλίμακα. Ορίζεται ως ο λόγος

$$M01 = \frac{\text{πλήθος σημείων μέτρησης που υπάρχει ραδιοκάλυψη}}{\text{Συνολικός αριθμός των σημείων μέτρησης}} * 100 \quad (1.1)$$

Επίσης, ο Δ.Π. M01, εκφράζεται και μέσω κάποιου από τους ακόλουθους όρους κατηγοριών ποιότητας ραδιοκάλυψης, ανάλογα με την ένταση του πεδίου που καταγράφεται: καλή , αποδεκτή, κακή, μη διαθέσιμη.

Τα όρια ραδιοκάλυψης (κατώφλι ) ανά δίκτυο κινητών υπηρεσιών είναι τα εξής:

1. *GSM/DCS1800 (Global System for Mobile Communications/Digital Cellular Service 1800 MHz):*

$R*Lev \geq -100$  dBm , όπου  $R*Lev$  ( Received signal Level) η τιμή της έντασης του πεδίου που μετράται

2. *UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) :*  $RSCP-CPICH \geq -115$  dBm , όπου RSCP- Received Signal Code Power και CPICH-Common Pilot Channel για την τεχνολογία UMTS.

3. *TETRA (Terrestrial Trunked Radio) :*  $R*Lev \geq -92$  dBm

Ο χαρακτηρισμός της ραδιοκάλυψης γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηρισμός ραδιοκάλυψης	GSM/DCS1800 R*Lev (dBm)	TETRA R*Lev(dBm)	UMTS RSCP-CPICH(dbm)
Καλή	$R*Lev \geq -85$	$R*Lev \geq -85$	$RSCP-CPICH \leq -95$
Αποδεκτή	$-95 \leq R*Lev \leq -85$	$-92 \leq R*Lev \leq -85$	$-105 \leq RSCP-CPICH \leq -95$
Κακή	$-110 \leq R*Lev \leq -95$	$-105 \leq R*Lev \leq -92$	$-115 \leq RSCP-CPICH \leq -105$
Μη διαθέσιμη	$R*Lev \leq -110$	$R*Lev \leq -105$	$RSCP-CPICH \leq -115$

Πίνακας 4.1 Χαρακτηρισμός Ραδιοκάλυψης

Για τον υπολογισμό του Δ.Π. M01 λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- I. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω μετρήσεων στο πεδίο με σαρωτή. Οι διαδρομές που ακολουθούνται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων καθορίζονται ώστε να καλύπτουν αντιπροσωπευτικά όλες τις κατηγορίες περιβάλλοντος.
- II. Οι εξωτερικές παρεμβολές που επηρεάζουν αρνητικά τη ραδιοκάλυψη πρέπει να επιβεβαιώνονται από την ΕΕΤΤ. Οι μετρήσεις στις περιοχές όπου εμφανίζονται φαινόμενα παρεμβολών είτε εξαιρούνται από το δείγμα, είτε πραγματοποιούνται μετά την επίλυση του προβλήματος με απόφαση της ΕΕΤΤ και σύμφωνα με όσα ορίζονται στο Παράρτημα Δ της σχετικής Απόφασης.
- III. Η μέτρηση των επίγειων κινητών υπηρεσιών πραγματοποιείται σε συνθήκες παρόμοιες με αυτές που αντιμετωπίζει ο τελικός χρήστης.
- IV. Η ένταση πεδίου καταγράφεται κατά τη διαδρομή που διανύει το όχημα μέτρησης με επαρκή ανάλυση, ώστε να πραγματοποιούνται αποδεκτές μετρήσεις της συμπεριφορά της έντασης του πεδίου. Λαμβάνεται μεγάλος αριθμός δειγμάτων ανά μονάδα του χρόνου, ώστε να μπορούν να προκύψουν οι μέγιστες και οι μέσες τιμές της έντασης πεδίου, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και συστάσεις καθώς και με τη διεθνή πρακτική.
- V. Για την καλύτερη αποτύπωση της ραδιοκάλυψης, οι διαδρομές μέτρησης επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμπεριέχονται οι αλλαγές στην ένταση του πεδίου καθώς και φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath).
- VI. Η μέτρηση αφορά μόνο την καθοδική ζεύξη (downlink) των δικτύων.

VII. Για λόγους αμεροληψίας και αντικειμενικότητας οι μετρήσεις της ραδιοκάλυψης γίνονται ταυτόχρονα για δίκτυα που προσφέρουν ίδιες υπηρεσίες.

#### 4.2.2. Δείκτες υπηρεσίας τηλεφωνίας

Στο πλαίσιο των υπηρεσιών φωνής ορίζονται 4 Δείκτες Ποιότητας (Δ.Π.)

##### 4.2.2.1 Πιθανότητα εμπλοκής κλήσης φωνής

Ο Δ.Π. M02 αφορά στην εμπλοκή κλήσεων φωνής σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών και χαρακτηρίζει την προσβασιμότητα στην υπηρεσία φωνής του δικτύου. Εκφράζεται με ποσοστό με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων. Ορίζεται ως ο λόγος:

$$M02 = \frac{\text{πληθος κλήσεων στις οποίες παρουσιάστηκε εμπλοκή}}{\text{συνολικός αριθμός κλήσεων φωνής που πραγματοποιήθηκε}} * 100\% \quad (1.2)$$

Για τον υπολογισμό του Δ.Π. M02 λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- I. Ο υπολογισμός του γίνεται μέσω μετρήσεων στο πεδίο με κινητό σταθμό μέτρησης, οι οποίες εκτελούνται ταυτόχρονα με αυτές του M01.
- II. Οι κλήσεις πραγματοποιούνται στο διάστημα 08.00 με 20.00. Δε πραγματοποιούνται μετρήσεις σε γεωγραφικές περιοχές όπου επικρατούν ακραίες τηλεπικοινωνιακές συνθήκες, όπως μεγάλες συγκεντρώσεις τελικών χρηστών, φυσικές καταστροφές κ.α.
- III. Οι κλήσεις λαμβάνονται υπόψη εφόσον υπάρχει ραδιοκάλυψη (διαθεσιμότητα δικτύου) στα σημεία όπου έχουν πραγματοποιηθεί.
- IV. Το χρονικό όριο στο οποίο ολοκληρώνεται μια κλήση καθώς και ο χρόνος αναμονής μεταξύ δύο κλήσεων ορίζονται στα πρότυπα του ETSI TS 102 250-2 για δίκτυα GSM/DCS1800, ETSI TS 102 250-5 για δίκτυα UMTS, και στο πρότυπο ETSI TS 100 392-16 για δίκτυο TETRA. Ο ελάχιστος χρόνος αναμονής μεταξύ δύο κλήσεων είναι είκοσι (20) έως τριάντα (30) δευτερόλεπτα για τα δίκτυα GSM/DCS1800 και UMTS, και δέκα(10) έως είκοσι (20) δευτερόλεπτα για τις υπηρεσίες φωνής δικτύων TETRA.
- V. Το χρονικό περιθώριο ολοκλήρωσης μιας κλήσης μένει σταθερό στη διάρκεια των μετρήσεων. Στην περίπτωση όπου μια κλήση αποτύχει ή διακοπεί βεβιασμένα από το δίκτυο, η επόμενη προσπάθεια ξεκινά με το πέρας του σταθερού χρονικού περιθωρίου που ορίζεται στο (IV).

#### 4.2.2.2 Πιθανότητα διακοπής κλήσης

Ο Δ.Π. M03 αφορά την πιθανότητα τερματισμού μιας επιτυχημένης προσπάθειας κλήσης φωνής για οποιοδήποτε λόγο εκτός από τον σκόπιμο τερματισμό εκ μέρους του καλούντος ή του καλούμενου. Ο Δ.Π. M03 εκφράζεται ως ποσοστό με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων, δηλαδή

$$M03 = \frac{\text{πλήθος επιτυχημένων κλήσεων φωνής που εξαναγκάστηκαν να τερματιστούν}}{\text{συνολικό πλήθος κλήσεων που εκκίνησαν}} * 100 \quad (1.3)$$

Για τον υπολογισμό του Δ.Π. M03 λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- I. Οι κλήσεις λαμβάνονται υπόψη εφόσον υπάρχει ραδιοκάλυψη (διαθεσιμότητα δικτύου) στα σημεία όπου έχουν πραγματοποιηθεί.
- II. Η διαδικασία μέτρησης του Δ.Π. M03 είναι ίδια με αυτή του M02.
- III. Το σύνολο των παραμέτρων που απαιτούνται για τη μέτρηση του Δ.Π. M03 στα δίκτυα GSM/DCS1800 και UMTS προσδιορίζονται αναλυτικά στα πρότυπα ETSI EN 102 250-2 και TS 102 250-5, καθώς και στο πρότυπο ETSI EN TS 100 392-16 για όλες τις υπηρεσίες φωνής στα δίκτυα TETRA.

#### 4.2.2.3 Ποιότητα φωνής

Ο Δ.Π. M04 αποτελεί το Δ.Π. μετάδοσης από άκρο σε άκρο της φωνής της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας. Ο υπολογισμός του Δ.Π. M04 πραγματοποιείται με βάση αλγορίθμους και παραμέτρους που προδιαγράφονται σε σχετικές Συστάσεις της ITU-T καθώς και προτύπων του ETSI και βασίζεται σε ολοκληρωμένες κλήσεις, δηλαδή κλήσεις στις οποίες ο τερματισμός τους έγινε από τη διάταξη τερματισμού. Η μέτρηση του Δ.Π. M04 πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία υπολογισμού του Δ.Π. M03 προσθέτοντας την ανάλογη λειτουργική μονάδα καταγραφής στην αρχιτεκτονική της μετρητικής διάταξης.

#### 4.2.2.4 Χρόνος αποκατάστασης κλήσεων φωνής

Ο Δ.Π. M05 εκφράζει το χρόνο εντός του οποίου αποκαθίσταται η κλήση φωνής από τη στιγμή όπου ο τελικός χρήστης συμπληρώνει τον αριθμό του καλούμενου συνδρομητή. Εκφράζεται σε δευτερόλεπτα με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και ορίζεται ως ο χρόνος από τη συμπλήρωση εκ

μέρους του καλούντος της πληροφορίας διεύθυνσης, δηλαδή του αριθμού τηλεφώνου του καλουμένου, μέχρι τη λήψη ειδοποίησης αποκατάστασης κλήσης φωνής.

Η μεθοδολογία, η υλοποίηση και οι μετρητικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για το υπολογισμό του Δ.Π.Μ05 είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για το Δ.Π. Μ02. Κατά τον υπολογισμό του Δ.Π. Μ05 εξαιρούνται οι κλήσεις για τις οποίες υπάρχει εμπλοκή κλήσης.

#### 4.2.3 Δείκτες Ποιότητας ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένων

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας υπηρεσιών ευρυζωνικών δεδομένων έχουν θεσπιστεί τέσσερις (4) Δείκτες Ποιότητας (Δ.Π.).

##### 4.2.3.1 Πιθανότητα αποτυχίας μεταφοράς δεδομένων http

Ο Δ.Π. Μ06 εκφράζει την πιθανότητα αποτυχίας μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα Δtd με βάση το πρωτόκολλο http. Εκφράζεται μέσω του ποσοστού.

$$M06 = \frac{\text{πλήθος ανεπιτυχών προσπαθειών μεταφοράς δεδομένων με http σε Δtd}}{\text{συνολικός αριθμός επιτυχώς αρχικοποιημένων προσπαθειών}} * 100 \quad (1.4)$$

Ο Δ.Π. Μ06 καθορίζεται με βάση το πρότυπο ETSI TR 102 678.

##### 4.2.3.2 Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων http

Ο Δ.Π. Μ07 εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα Δtd με βάση το πρωτόκολλο http μετά την επιτυχημένη αποκατάσταση σύνδεσης δεδομένων. Εκφράζεται μέσω του πηλίκου και μετράται σε kbps.

$$M07 = \frac{\text{Όγκος δεδομένων που μεταφέρθηκαν}}{\text{Χρονικό διάστημα Δtd}} \text{ kbps} \quad (1.5)$$

Ο υπολογισμός του Δ.Π. Μ07 γίνεται με βάση το πρότυπο ETSI TR 102 678.

##### 4.2.3.3 Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {upload}

Ο Δ.Π. Μ08 (Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {upload}) εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα Δtd με βάση το πρωτόκολλο ftp, μετά την επιτυχημένη αποκατάσταση σύνδεσης δεδομένων. Εκφράζεται μέσω του πηλίκου και μετράται σε kbps.

$$M08 = \frac{\text{Όγκος δεδομένων που μεταφέρθηκαν}}{\text{Χρονικό διάστημα } \Delta td} \text{ kbps} \quad (1.6)$$

Ο υπολογισμός του Δ.Π. M08 γίνεται με βάση το πρότυπο ETSI TR 102 678.

#### 4.2.3.4 Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {download}

Ο Δ.Π. M08 (Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {download}) εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα  $\Delta td$  με βάση το πρωτόκολλο ftp, μετά την επιτυχημένη αποκατάσταση σύνδεσης δεδομένων. Εκφράζεται μέσω του πηλίκου και μετράται σε kbps.

$$M09 = \frac{\text{Όγκος δεδομένων που μεταφέρθηκαν}}{\text{Χρονικό διάστημα } \Delta td} \text{ kbps} \quad (1.7)$$

Ο υπολογισμός του Δ.Π. M09 γίνεται με βάση το πρότυπο ETSI TR 102 678.

### 4.3 1<sup>η</sup> Μετρητική εκστρατεία Δ.Π. Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

Η 1<sup>η</sup> μετρητική εκστρατεία δεικτών ποιότητας συστημάτων κινητών επικοινωνιών πραγματοποιήθηκε από την εταιρεία COVERAGE ICT για λογαριασμό της ΕΕΤΤ και αφορούσε την εξαγωγή δεικτών ποιότητας συστημάτων κινητών επικοινωνιών, όπως αυτοί ορίζονται στο ΦΕΚ 2417/Β'/2011 και αναλύθηκαν στη προηγούμενη ενότητα, για τους τρεις (3) βασικούς παρόχους κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα (Cosmote, Vodafone, Wind).

Οι μετρήσεις έγιναν τόσο εν κινήσει για συγκεκριμένες διαδρομές και περιοχές που έχει ορίσει η ΕΕΤΤ, όσο και σε στατικά σημεία που επίσης έχουν επιλεγεί από την ΕΕΤΤ. Οι εν κινήσει μετρήσεις αφορούν δείκτες ποιότητας ραδιοκάλυψης, φωνής και ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένων, ενώ οι στατικές μετρήσεις αφορούν δείκτες ποιότητας μόνο ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένων σε σημεία με εξασφαλισμένη ραδιοκάλυψη.

#### 4.3.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δ.Π.

##### 4.3.1.1 - M01 Διαθεσιμότητα Δικτύου / Ραδιοκάλυψη

Ο Δ.Π. M01 (Διαθεσιμότητα Δικτύου–Ραδιοκάλυψη) δηλώνει τη γεωγραφική κάλυψη για την παροχή οποιασδήποτε υπηρεσίας μέσω ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών σε πανελλαδική κλίμακα. Εκφράζεται με ποσοστό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους των

σημείων μέτρησης στα οποία υπάρχει ραδιοκάλυψη προς το συνολικό αριθμό των σημείων μέτρησης. Επίσης, ο Δ.Π. M01 εκφράζεται με έναν από τους ακόλουθους όρους κατηγοριών ποιότητας ραδιοκάλυψης: «καλή», «αποδεκτή», «κακή» και «μη διαθέσιμη». Στο πλαίσιο της μετρητικής εκστρατείας ο χαρακτηρισμός ραδιοκάλυψης επεκτάθηκε ώστε να καλύπτει και συστήματα LTE σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηρισμός ραδιοκάλυψης	GSM/DCS1800 R*Lev (dBm)	UMTS RSCP-CPICH(dBm)	LTE RSRP (dBm)
Καλή	$R*Lev \geq -85$	$RSCP-CPICH \leq -95$	$RSRP \geq -95$
Αποδεκτή	$-95 \leq R*Lev \leq -85$	$-105 \leq RSCP-CPICH \leq -95$	$-110 \leq RSRP < -95$
Κακή	$-110 \leq R*Lev \leq -95$	$-115 \leq RSCP-CPICH \leq -105$	$-125 \leq RSRP < -110$
Μη διαθέσιμη	$R*Lev \leq -110$	$RSCP-CPICH \leq -115$	$RSRP < -125$

Πίνακας 4.2 Χαρακτηρισμός Ραδιοκάλυψης μετρητικής εκστρατείας

#### 4.3.1.2 ΔΠ M02 – Πιθανότητα εμπλοκής κλήσης φωνής

Ο Δ.Π. M02 (Πιθανότητα εμπλοκής κλήσης φωνής) αφορά στην εμπλοκή κλήσεων φωνής σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών και χαρακτηρίζει την προσβασιμότητα στην υπηρεσία φωνής του δικτύου.

Ο Δ.Π. M02 εκφράζεται με ποσοστό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους των κλήσεων φωνής στις οποίες παρουσιάστηκε εμπλοκή προς το συνολικό αριθμό των κλήσεων φωνής που πραγματοποιήθηκαν.

#### 4.3.1.3 ΔΠ M03 – Πιθανότητα διακοπής κλήσης φωνής

Ο Δ.Π. M03 (Πιθανότητα διακοπής κλήσης φωνής) αφορά στην πιθανότητα τερματισμού μιας επιτυχημένης προσπάθειας κλήσης φωνής για οποιοδήποτε λόγο, εκτός από τον σκόπιμο τερματισμό του καλούντος ή του καλούμενου.

Ο Δ.Π. M03 εκφράζεται με ποσοστό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους των επιτυχημένων κλήσεων φωνής που τερματίστηκαν για οποιοδήποτε λόγο εκτός από τον σκόπιμο τερματισμό του καλούντος ή του καλούμενου, προς το συνολικό πλήθος των κλήσεων που εγκαταστάθηκαν επιτυχώς.

#### *4.3.1.4 ΔΠ M04 – Ποιότητα φωνής*

Ο Δ.Π. M04 (Ποιότητα φωνής) αποτελεί το Δ.Π. μετάδοσης από άκρο σε άκρο της φωνής της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας.

Για τη μέτρηση της ποιότητας φωνής (ΔΠ M04) λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα: Ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων φωνής ανά κλήση είναι 8. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι ο POLQA wideband, στον οποίο έχει επιλεγθεί δείγμα ανδρικής και γυναικείας φωνής διάρκειας 6 sec στην αγγλική γλώσσα. Ο υπολογισμός βασίζεται σε ολοκληρωμένες κλήσεις, δηλαδή κλήσεις στις οποίες ο τερματισμός τους έγινε από την διάταξη τερματισμού.

#### *4.3.1.5 ΔΠ M05 – Χρόνος αποκατάστασης κλήσης φωνής*

Ο Δ.Π. M05 (Χρόνος αποκατάστασης κλήσης φωνής) εκφράζει το χρόνο στον οποίο αποκαθίσταται η κλήση φωνής από τη στιγμή που ο τελικός χρήστης συμπληρώνει τον αριθμό του καλούμενου συνδρομητή.

Ο Δ.Π. M05 εκφράζεται σε δευτερόλεπτα με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και ορίζεται ως ο χρόνος από τη συμπλήρωση από τον καλούντα της πληροφορίας διεύθυνσης, δηλαδή του αριθμού τηλεφώνου του καλούμενου, μέχρι τη λήψη ειδοποίησης εγκατάστασης κλήσης φωνής.

Για τον υπολογισμό του Δ.Π. M05 εξαιρούνται οι κλήσεις για τις οποίες υπάρχει εμπλοκή κλήσης. Επισημαίνεται ότι για τεχνικούς λόγους ο εν λόγω ΔΠ δε μετρήθηκε κατά τη μετρητική εκστρατεία του 2016.

#### *4.3.1.6 ΔΠ M06 – Πιθανότητα αποτυχίας μεταφοράς δεδομένων http*

Ο Δ.Π. M06 (Πιθανότητα αποτυχίας μεταφοράς δεδομένων http) ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους των μη ολοκληρωμένων προσπαθειών μεταφοράς δεδομένων με βάση το πρωτόκολλο http ως



προς το συνολικό αριθμό επιτυχώς αρχικοποιημένων προσπαθειών και εκφράζεται με ποσοστό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.

Ο Δ.Π. M06 υπολογίστηκε σύμφωνα με το δείκτη 6.8.8 HTTP Data Transfer Cut-off Ratio [%], Start Method A του προτύπου ETSI TS 102 250-2 V2.2.1.

#### *4.3.1.7 ΔΠ M07 – Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων http*

Ο Δ.Π. M07 (Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων http) εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων με βάση το πρωτόκολλο http, για τις επιτυχώς ολοκληρωμένες προσπάθειες http (προσπάθειες όπου ολοκληρώθηκε η λήψη της σελίδας αναφοράς σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα  $\Delta t_d$ ) και εκφράζεται σε Kbps σε ακέραιες τιμές. Ο Δ.Π. M07 υπολογίστηκε σύμφωνα με το δείκτη 6.8.7 HTTP Mean Data Rate [kbit/s], Start Method A, του προτύπου ETSI TS 102 250-2 V2.2.1.

#### *4.3.1.8 ΔΠ – Μέσος χρόνος μεταφοράς δεδομένων http*

Ο Δ.Π Μέσος χρόνος μεταφοράς δεδομένων http εκφράζει το μέσο χρονικό διάστημα μεταφοράς δεδομένων, για τις επιτυχώς ολοκληρωμένες προσπάθειες http (προσπάθειες όπου ολοκληρώθηκε η λήψη της σελίδας αναφοράς σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα  $\Delta t_d$ ) και εκφράζεται σε msec σε ακέραιες τιμές. Ο συγκεκριμένος Δ.Π. δεν έχει οριστεί στο ΦΕΚ 2417/Β'/2011.

Ο Δ.Π – Μέσος χρόνος μεταφοράς δεδομένων http, υπολογίστηκε ως το μέσο χρονικό διάστημα (tdata transfer complete – tdata transfer start), όπως αυτό περιγράφεται στο δείκτη 6.8.7 HTTP Mean Data Rate [kbit/s], Start Method A, του προτύπου ETSI TS 102 250-2 V2.2.1.

#### *4.3.1.9 ΔΠ M08 – Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp upload*

Ο Δ.Π. M08 (Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {upload}) εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα  $\Delta t_d$  με βάση το πρωτόκολλο ftp, μετά την επιτυχημένη αποκατάσταση σύνδεσης δεδομένων.

Ο Δ.Π. M08 ορίζεται ως το πηλίκο του όγκου των δεδομένων προς το χρονικό διάστημα  $\Delta t_d$  και μετράται σε Kbps σε ακέραιες τιμές.

#### 4.3.1.10 ΔΠ M09 – Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp download

Ο Δ.Π. M09 (Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ftp {download} εκφράζει τον μέσο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα Δtd με βάση το πρωτόκολλο ftp, μετά την επιτυχημένη αποκατάσταση σύνδεσης δεδομένων.

Ο Δ.Π. M09 ορίζεται ως το πηλίκο του όγκου των δεδομένων που μεταφέρθηκαν προς το χρονικό διάστημα Δtd και μετράται σε Kbps σε ακέραιες τιμές.

#### 4.3.2 Σενάρια Μέτρησης

##### 4.3.2.1 Σενάρια μέτρησης δεικτών ποιότητας φωνής

Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, οι κλήσεις φωνής για τη μέτρηση των ΔΠ M02-M05 έγιναν με τον ακόλουθο τρόπο:

- i. Ο υπολογισμός τους γίνεται μέσω μετρήσεων στο πεδίο με κινητό σταθμό, οι οποίες εκτελούνται ταυτόχρονα με αυτές του Δ.Π. M01.
- ii. Οι κλήσεις πραγματοποιούνται από κινητό προς σταθερό τερματικό.
- iii. Οι κλήσεις πραγματοποιούνται στο διάστημα 08:00 με 20:00. Μετρήσεις δεν πραγματοποιούνται σε γεωγραφικές περιοχές όπου επικρατούν ακραίες τηλεπικοινωνιακές συνθήκες, όπως συγκεντρώσεις, φυσικές καταστροφές κ.α.
- iv. Οι κλήσεις λαμβάνονται υπόψη εφόσον υπάρχει ραδιοκάλυψη (διαθεσιμότητα δικτύου) στο σημείο που έχουν πραγματοποιηθεί.
- v. Στο σενάριο για την πραγματοποίηση των κλήσεων φωνής τηρείται η ακόλουθη σειρά ενεργειών:
  - Πραγματοποίηση κλήσης
  - Διατήρηση της κλήσης
  - Τερματισμός κλήσης.
  - Αναμονή μέχρι την επόμενη κλήση

με τις εξής παραμετροποιήσεις :

- Διάρκεια αναμονής (Idle Time): 30sec
- Χρόνος απάντησης (Call Setup Time): 0 - 20 sec

- Διάρκεια ηχητικού μηνύματος (Message duration): 90 sec
- Διάρκεια κλήσης (Call duration): 90 - 110 sec, όπου  $Call\ duration = Message\ duration + Call\ Setup\ Time$
- Συνολική διάρκεια συνεδρίας (Session duration): 120 - 140sec, όπου  $Session\ duration = Call\ duration + Idle\ Time$

Διευκρινίζεται ότι το χρονικό περιθώριο ολοκλήρωσης μια κλήσης παραμένει σταθερό στη διάρκεια των μετρήσεων. Στην περίπτωση που μια κλήση αποτύχει ή διακοπεί βεβαιωμένα από το δίκτυο, η επόμενη προσπάθεια ξεκινά με το πέρας του σταθερού χρονικού περιθωρίου που ορίζεται παραπάνω (Idle Time).

#### 4.3.2.2 Σενάρια μέτρησης δεικτών ποιότητας δεδομένων

Για τον υπολογισμό των δεικτών ποιότητας που αφορούν δεδομένα M06 – M09 ελήφθησαν υπόψη τα ακόλουθα:

- i. Οι μετρήσεις γίνονται ταυτόχρονα για όλα τα δίκτυα.
- ii. Ο πλοηγός (web browser) στο τερματικό του τελικού χρήστη που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις είναι κοινός για όλες τις μετρήσεις.
- iii. Οι μετρήσεις γίνονται σε σταθερό σημείο εξασφαλισμένης κάλυψης ραδιοδικτύου καθώς και εν κινήσει σε συμφωνημένες διαδρομές. Η επιλογή των σημείων των μετρήσεων έχει γίνει από την EETT.
- iv. Για τη μέτρηση των ΔΠ δεδομένων που αφορούν το πρωτόκολλο http, ισχύουν:
  - Ιστοσελίδα αναφοράς: kepler reference web page
  - Χρονικό διάστημα Δtd (Busy Time): 30 sec
  - Χρόνος αναμονής (Idle time): 20 sec
  - Οι μετρήσεις αφορούν την κατεύθυνση λήψης δεδομένων (download)
  - Αποτυχία θεωρείται όταν δεν ολοκληρώνεται η λήψη της σελίδας αναφοράς στο διάστημα Δtd
- v. Για τη μέτρηση των δεικτών ποιότητας δεδομένων που αφορούν το πρωτόκολλο ftp, ισχύουν:
  - Μέγεθος ftp upload αρχείου: 700 Mbyte
  - Μέγεθος ftp download αρχείου: 5,5 Gbyte
  - Χρονικό διάστημα Δtd (Busy Time): 30 sec

- Χρόνος αναμονής (Idle time): 20 sec
- vi. Στο σενάριο για τη μέτρηση των δεικτών ποιότητας δεδομένων ακολουθείται η παρακάτω σειρά:
  - Ftp download Wait:20sec (Idle time)
  - Ftp upload Wait:20sec (Idle time)
  - 5 x Ping 1024 bytes
  - Http download Wait:20sec (Idle time)

#### 4.3.3 Εξοπλισμός Μετρήσεων

##### 4.3.3.1 Κάρτες SIM

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τρεις κάρτες SIM για κάθε έναν από τους παρόχους (Cosmote, Vodafone, Wind), από τις οποίες οι δύο χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των μετρήσεων φωνής και η τρίτη για την εκτέλεση των μετρήσεων δεδομένων.

Από τις κάρτες SIM που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των μετρήσεων φωνής, η μία είναι κλειδωμένη σε GSM και η άλλη ελεύθερη σε GSM/UMTS, ενώ αυτή που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των μετρήσεων δεδομένων είναι ελεύθερη σε GSM/UMTS/LTE.

Για λόγους αμεροληψίας, κάθε 2 ημέρες μετρήσεων πραγματοποιήθηκε εναλλαγή των SIM καρτών ανά πάροχο ανά συσκευή δοκιμής.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για στη μετρητική εκστρατεία, για τη μέτρηση των δεικτών ποιότητας αποτελείται από τον κινητό σταθμό δοκιμής και το σταθερό σταθμό δοκιμής.

##### 4.3.3.2 Κινητός Σταθμός Δοκιμής – MQT

Ο κινητός σταθμός δοκιμής περιλαμβάνει:

- Αυτοκίνητο (Peugeot 208)
- Μπαγκαζιέρα (Thule Dynamic 208)
- Μετρητική συσκευή (Nemo Invex II, Annite Finland Ltd).

Η μετρητική συσκευή περιλαμβάνει:

- Μονάδα Ελέγχου, η οποία ελέγχει όλα τα ενεργά μέρη της μετρητικής διάταξης

- Επεξεργαστή, ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα της μέτρησης
  - Μονάδα αποθήκευσης, η οποία αποθηκεύει τα δεδομένα μέτρησης και τα λογιστικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται
  - MMI: Man Machine Interface για τον έλεγχο της μετρητικής διάταξης σε τοπικό επίπεδο ή απομακρυσμένο
- Εννέα (9) κινητές συσκευές (Samsung Galaxy Note 4), κάθε μία από τις οποίες προσομοιώνει ένα τυπικό τελικό χρήστη. Για τη μέτρηση των ΔΠ δεδομένων χρησιμοποιούνται οι τρεις (3) κινητές συσκευές, κάθε μία από τις οποίες συνδέεται με μία SIM κάρτα δεδομένων του αντίστοιχου παρόχου.
  - Τρεις (3) σαρωτές (scanners) συχνοτήτων (Annite Nemo FSR). Ο κάθε σαρωτής έχει τη δυνατότητα αναγνώρισης της ταυτότητας του παρόχου δικτύου ανά τεχνολογία, ενώ η ταχύτητα σάρωσης ικανοποιεί το κριτήριο του Lee για τη μέτρηση όλων των τεχνολογιών ταυτόχρονα.
  - Επτά (7) εξωτερικές κεραίες λήψης (PC TEL HA01025-PCRFB 698-3800MHZ, καλώδιο LMR 240 Ultraflex Coaxial Cable)
- Οι κεραίες τοποθετούνται στο εξωτερικό μέρος του οχήματος, σε ύψος 1,5 m από το επίπεδο του δρόμου και είναι κατάλληλα στερεωμένες στο εσωτερικό της μπαγκαζιέρας για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων από τις αναταράξεις της οδήγησης. Επιπλέον, είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο, ώστε γύρω από κάθε κεραία σε κύκλο διαμέτρου 2λ τουλάχιστον να μην υπάρχουν εμπόδια που να αλλοιώνουν το διάγραμμα ακτινοβολίας της κάθε κεραίας. Οι τρεις (3) κεραίες συνδέονται με τα scanners και οι υπόλοιπες τέσσερις (4) με τις κινητές συσκευές.
- GPS (σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικών συντεταγμένων) Για τις μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους, η θέση μέτρησης προσδιορίζεται με τη χρήση μιας μονάδας GPS. Για τις περιπτώσεις απώλειες του σήματος GPS (π.χ. τούνελ) η μετρητική διάταξη περιλαμβάνει σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικής θέσεως με τη χρήση της μεθοδολογίας Dead Reoning (σύνδεση με το ταχύμετρο του αυτοκινήτου για απόκτηση των γεωγραφικών συντεταγμένων).
  - PWR (παροχή ενέργειας), η οποία δίνεται από τη μπαταρία του αυτοκινήτου
  - Laptop

#### 4.3.3.3 Σταθερός Σταθμός Δοκιμής – FQT για υπηρεσίες φωνής

Για την προσομοίωση τελικού σταθερού χρήστη κατά την πραγματοποίηση κλήσεων φωνής από κινητό προς σταθερό, στήθηκε ένας voice server στο χώρο της εταιρείας Coverage ICT.

Ο server συνδέθηκε με 6 ανεξάρτητες τηλεφωνικές γραμμές PSTN του ΟΤΕ, προκειμένου να μπορεί να δεχτεί 6 ταυτόχρονες κλήσεις (1 από κάθε SIM κάρτα που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες φωνής). Έχει τη δυνατότητα να απαντάει στις εισερχόμενες κλήσεις, ενώ ο αλγόριθμος του μηνύματος που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της ποιότητας φωνής, είναι κείμενο στην αγγλική γλώσσα.

#### *4.3.3.4 Σταθερός Σταθμός Δοκιμής – FQT για υπηρεσίες δεδομένων*

Για τις ανάγκες των μετρήσεων δεικτών ποιότητας δεδομένων στήθηκε ένας data server στο χώρο της EETT, ο οποίος είναι απευθείας συνδεδεμένος με το GR-IX.

Για την καταγραφή και αποκωδικοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιείται το λογισμικό Nemo Outdoor, ενώ για την ανάλυση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή των δεικτών ποιότητας χρησιμοποιείται το λογισμικό Nemo Analyze.

#### *4.3.3.5 Περιοχές Μέτρησης και αποτελέσματα*

Η μετρητική εκστρατεία ξεκίνησε στις 22/02/16 και ολοκληρώθηκε στις 10/06/16. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Επισημαίνεται ότι οι μετρήσεις στα στατικά σημεία σε κάθε πόλη πραγματοποιήθηκαν την/ις ημέρα/ες όπου έλαβαν χώρα οι εν κινήσει μετρήσεις εντός της πόλης.

Ημερολογιακή εβδομάδα	Περιοχή μέτρησης
22/02 – 26/02	Μαρούσι Αττικής
29/02 – 04/03	Κέντρο Αθήνας, στατικά σημεία Αθήνας
07/03 – 11/03	Χαλάνδρι, βασικές οδικές αρτηρίες Αττικής
14/03 – 18/03	ΕΟ Κορίνθου – Τριπόλεως, Τρίπολη, Πάτρα, ΕΟ Αθηνών - Πατρών
21/03 – 25/03	ΕΟ Αντιρρίου – Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Κέρκυρα
28/03 – 01/04	Θεσσαλονίκη
04/04 – 08/04	ΕΟ Θεσσαλονίκης – Προμαχώνα, ΕΟ Θεσσαλονίκης – Ευζώνων, ΕΟ Θεσσαλονίκης – Καβάλας, Καβάλα
11/04 – 15/04	ΕΟ Αθηνών – Θεσσαλονίκης, Μαρούσι, στατικά σημεία Αθήνας
18/04 – 22/04	Ρόδος, Λέσβος
09/05 – 13/05	Σάμος
16/05 – 20/05	Ανατολική Αττική
30/05 – 03/06	Βόλος, Λάρισα
06/06 – 10/06	Ηράκλειο, Βόρειος άξονας Κρήτης

Πίνακας 4.3 Πίνακας περιοχών μετρήσεων

Αναλυτικά τα αποτελέσματα της μετρητικής εκστρατείας βρίσκονται στην ιστοσελίδα της ΕΕΤΤ<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> <https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Consumer/QualityIndicators/Mobile/>





## 5. Διαχείριση Έργων Επέκτασης Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

### 5.1 Εισαγωγή στο TechInsights

Η συνεχής αύξηση του πλήθους των χρηστών, του τύπου και είδους προσφερόμενων υπηρεσιών και η προετοιμασία για την εγκατάσταση 5G δικτύων, έχουν ως αποτέλεσμα οι πάροχοι να εκτελούν συνέχεια εργασίες στο δίκτυο τους που στόχο έχουν είτε την επέκταση του, είτε την προετοιμασία για την ενσωμάτωση νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών. Όλες οι εργασίες πρέπει να εκτελούνται ομαλά, χωρίς να διακυβεύεται η ποιότητα υπηρεσιών και η εμπειρία χρήσης των συνδρομητών τους. Για το λόγο αυτό οι πάροχοι ή οι συνεργαζόμενες με αυτούς εταιρείες, αξιοποιούν εργαλεία που θα τους βοηθήσουν στην διαχείριση οποιουδήποτε έργου επέκτασης, συντήρησης ή παραμετροποίησης του δικτύου.

Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το πρόγραμμα TechInsights, που αναπτύσσεται από την εταιρεία Telecom Technology Services (TTS) Wireless<sup>28</sup>. Πυρήνας ανάπτυξης του TechInsights είναι η παροχή διαφάνειας, εύκολης παρακολούθησης και προσαρμόσιμων αναφορών σε όλα τα στάδια εξέλιξης ενός τηλεπικοινωνιακού έργου και σε όλα τα επίπεδα χρηστών, είτε αυτοί είναι μηχανικοί που υποστηρίζουν το έργο, project managers, μηχανικοί των παρόχων και άλλα. Η διαχείριση ενός έργου δεν έχει να κάνει μόνο με το ποιες εργασίες έχουν υλοποιηθεί και ποιες εκκρεμούν, αλλά κυρίως με την ανάλυση των διαδικασιών που ακολουθούνται σε ένα έργο και με το πόσο χρόνο απαιτείται για την υλοποίηση του κάθε επιμέρους σταδίου των διαδικασιών. Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα κατά την υλοποίηση ενός έργου, τα συνεργαζόμενα μέλη πρέπει να γνωρίζουν ποια στάδια είναι αυτά που καθυστερούν την συνολική υλοποίηση, ώστε να βρεθούν τρόποι που θα αντιμετωπίσουν την όποια καθυστέρηση.

---

<sup>28</sup> <https://www.ttswireless.com/>

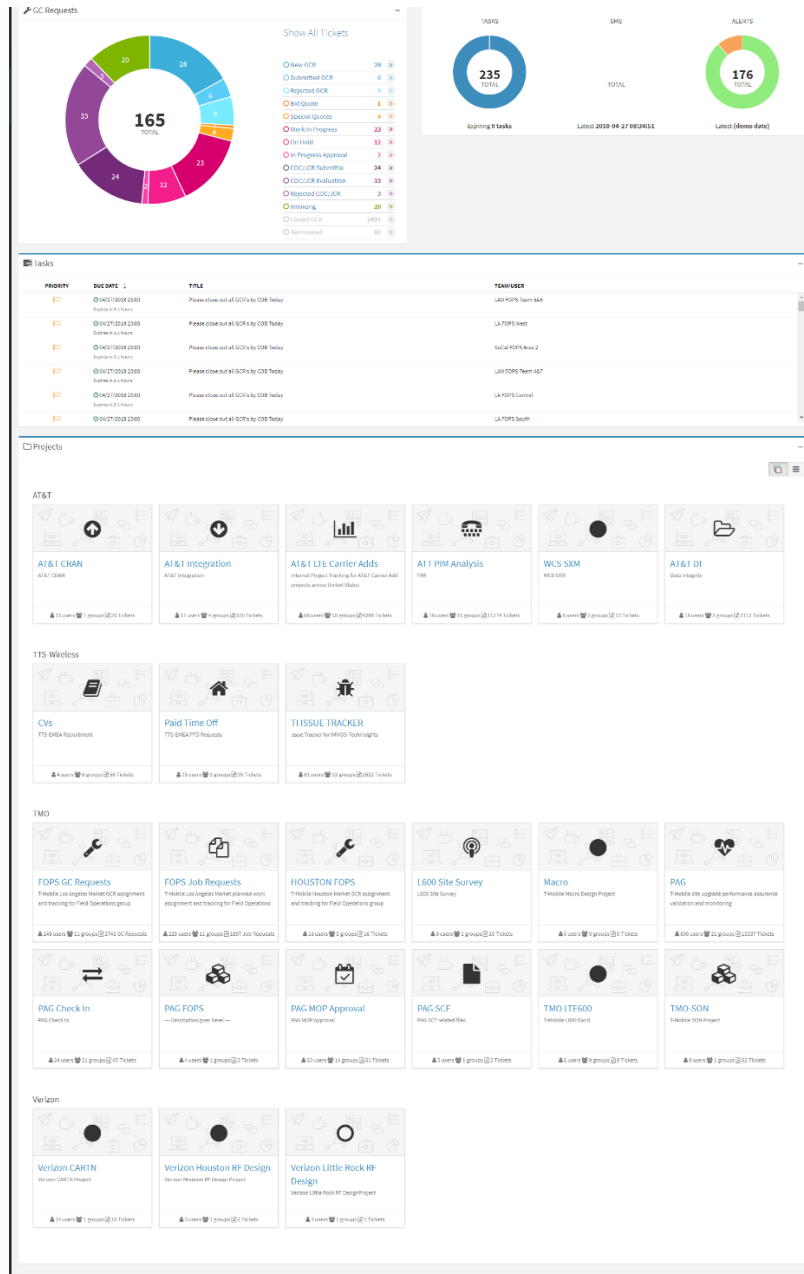
Βασικά χαρακτηριστικά του εργαλείου TechInsights είναι τα παρακάτω:

- Εύκολη διαχείριση της ροής εργασιών ενός έργου και η δημιουργία ρυθμιζόμενων και προσαρμοσμένων αναφορών ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών του.
- Δυνατότητα για χρήση του τόσο από χρήστες εσωτερικούς της εταιρείας, όσο και από εξωτερικούς χρήστες.
- Εύκολη μετατροπή και παραμετροποίηση του κύκλου εργασιών ενός έργου, διάφορων πεδίων, λειτουργιών και δημιουργία διαφορετικών πολλαπλών έργων.
- Ενσωματωμένες ειδοποιήσεις προς τους χρήστες μέσω email/sms ανάλογα με την εξέλιξη του χρήστη
- Λειτουργία επικοινωνίας των χρηστών του εργαλείου με εξωτερικούς χρήστες μέσω SMS (χρήσιμη λειτουργία για την επικοινωνία απομακρυσμένων μηχανικών με μηχανικούς που εκτελούν εργασίες στο πεδίο).
- Δυνατότητα επικοινωνίας και συλλογής δεδομένων με εξωτερικές πλατφόρμες (παραδείγματος χάρη με τον OSS της Ericsson/NOKIA, εργαλεία των παρόχων και με άλλα εργαλεία της TTS).
- Παρακολούθηση μέσω web εφαρμογής, και εφαρμογής σε android λογισμικό.

Το Tech Insights χρησιμοποιείται από την TTS σε πολλά έργα, όπου λειτουργεί ως υπεργολάβος αμερικάνικων παρόχων, όπως η T-Mobile, η AT&T, ή Verizon, είτε για την παρακολούθηση διαδικασιών και λειτουργιών στο εσωτερικό της ίδιας της εταιρείας. Στην Εικόνα 5.1 απεικονίζεται η αρχική επιφάνεια εργασίας του TechInsights<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup>Η συγκεκριμένη αρχική οθόνη απεικονίζει την κατάσταση του TechInsights κατά την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής και αλλάζει συνεχώς ανάλογα με τα έργα όπου δραστηριοποιείται η εταιρεία.



Εικόνα 5.1 Αρχική οθόνη TechInsights

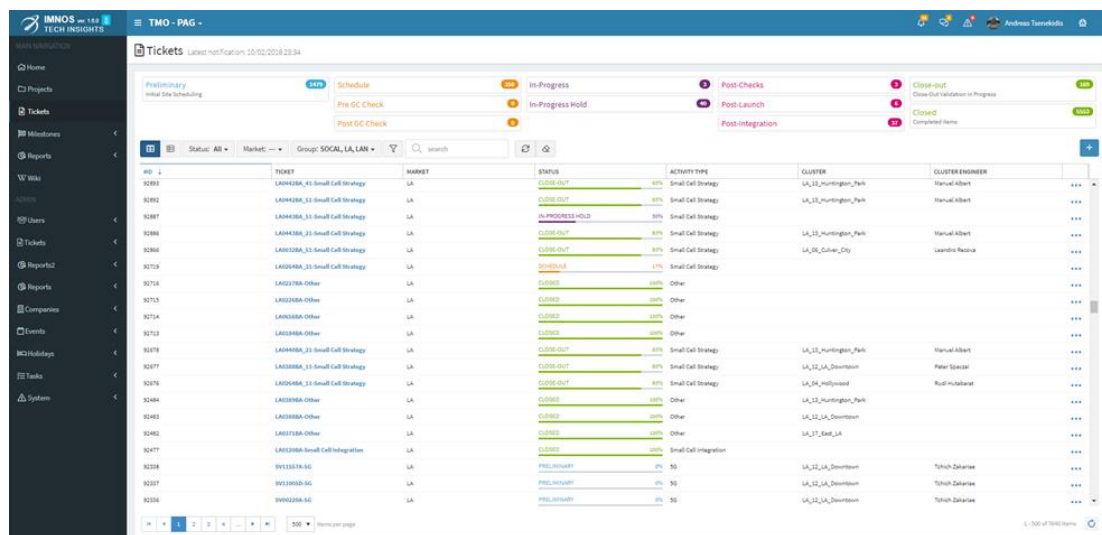
## 5.2 Πλεονεκτήματα TechInsights

Προκυμμένους να περιγράψουν αναλυτικότερα τα κύρια πλεονεκτήματα του TechInsights θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά, το έργο PAG. Το PAG (Performance Assurance Group) είναι ένα project όπου η TTS λειτουργεί ως υπεργολάβος της T-Mobile. Η T-Mobile<sup>30</sup> ως ένας από τους κύριους παρόχους

<sup>30</sup> <http://www.telcomatraining.com/list-of-mobile-network-operators-of-united-states/>

κινητών υπηρεσιών στις Η.Π.Α. προχωράει συνεχώς σε εργασίες επέκτασης του δικτύου της και σε εργασίες που προετοιμάζουν το δίκτυο για την έλευση του 5G. Οι εργασίες επέκτασης αφορούν την εγκατάσταση LTE στα 1900Mhz, στα 700Mhz, στα 600Mhz και άλλα ενώ η προετοιμασία για το 5G έχει να κάνει κυρίως με την εγκατάσταση small cells και την εγκατάσταση εξοπλισμού (BB, RUs, κεραιών) που θα μπορούν να υποστηρίξουν 5G. Η εγκατάσταση LTE στα 600Mhz μπορεί να χαρακτηριστεί και ως προετοιμασία της T-Mobile για το 5G καθώς αναμένεται να αξιοποιήσει αυτό το φάσμα για την υλοποίηση λύσεων 5G<sup>31</sup>.

Είναι προφανές ότι σε όλες για την πραγματοποίηση όλων των εργασιών, η T-Mobile συνεργάζεται με διάφορους προμηθευτές (κυρίως την Ericsson και τη NOKIA) και διάφορα συνεργία εκτέλεσης εργασιών. Κατά τη διάρκεια όλων των εργασιών το PAG, λειτουργεί ως ελεγκτής εκ μέρους της T-Mobile και διασφαλίζει ότι όλες οι εργασίες εκτελούνται με τον αναμενόμενο τρόπο, η απόδοση του υφιστάμενου δικτύου δεν επηρεάζεται αρνητικά από τις εργασίες και το νέο δίκτυο που υλοποιείται λειτουργεί και αποδίδει όπως έχει προγραμματιστεί. Για την διαχείριση και παρακολούθηση του έργου χρησιμοποιείται το TechInsights προσφέροντας τα πλεονεκτήματα και τις λειτουργίες που θα αναφερθούν στα παρακάτω υποκεφάλαια.

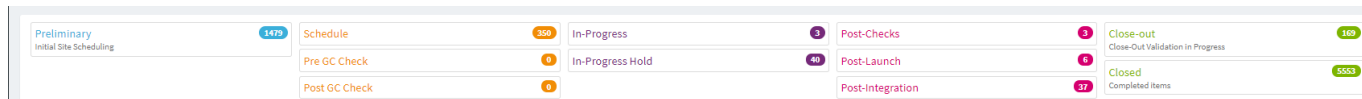


Εικόνα 5.2 Αρχική οθόνη TechInsights για το PAG

<sup>31</sup> <https://www.t-mobile.com/news/600-mhz-update-puerto-rico>

### 5.2.1 Προσαρμοσμένη διαχείριση ροής εργασιών

Τα έργα τα οποία διαχειρίζεται το PAG πραγματοποιούνται σε πολλά στάδια και απαιτούν αναλυτική και εύκολη διαχείριση της προόδου και της ροής εργασιών. Παράδειγμα της ροής εργασιών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3 Ροή εργασιών στο PAG

Κάθε πεδίο στην παραπάνω ροή εργασιών αντικατοπτρίζει και διαφορετικό στάδιο κατά τις εργασίες επέκτασης του δικτύου. Αναλυτικότερα κάποια από τα βασικότερα στάδια:

- Preliminary: Περιλαμβάνει τους σταθμούς που έχουν ανατεθεί στην TTS και στους οποίους είναι γνωστό ότι θα πραγματοποιηθούν εργασίες
- Schedule: Περιλαμβάνει τους σταθμούς για τους οποίους έχει ανακοινωθεί η ημερομηνία εκκίνησης εργασιών
- In Progress/ In Progress Hold: Περιλαμβάνει τους σταθμούς στους οποίους οι εργασίες είναι σε εξέλιξη
- Post Check/Post Integration: Περιλαμβάνει τους σταθμούς στους οποίους οι εργασίες έχουν ολοκληρωθεί
- Post Launch: Περιλαμβάνει τους σταθμούς στους οποίους η νέα τεχνολογία/συχνότητα έχει δοθεί για εκμετάλλευση
- Close out: Περιλαμβάνει τους σταθμούς στους οποίους η νέα τεχνολογία/συχνότητα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί
- Closed: Περιλαμβάνει τους σταθμούς στους οποίους το έργο έχει ολοκληρωθεί

Η κατηγοριοποίηση των παραπάνω σταδίων κατά τη ροή εργασιών κατά την εξέλιξη του project μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του έργου. Το PAG λειτουργεί την περίοδο συγγραφής της εργασίας λειτουργεί σε 12 πολιτείες των Η.Π.Α. και η κάθε πολιτεία έχει τις δικές τις απαιτήσεις και ανάγκες. Επομένως υπάρχει ανάγκη και παρέχεται η δυνατότητα η ροή εργασιών να προσαρμόζεται στις ανάγκες τις εκάστοτε εργασίας που απαιτείται.

Κάθε επιμέρους στάδιο της ροής εργασιών περιλαμβάνει κάποιες επιμέρους εργασίες που πρέπει να ολοκληρωθούν από τα συνεργαζόμενα μέλη. Η εκτέλεση, προγραμματισμός και παρακολούθηση όλων των επιμέρους εργασιών είναι εύκολα εφικτή σε κάθε στάδιο της ροής εργασιών. Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι υποεργασίες που απαιτούνται όταν οι εργασίες στο πεδίο για την εγκατάσταση της νέας τεχνολογίας έχουν ολοκληρωθεί και οι έλεγχοι που πρέπει να πραγματοποιηθούν πρώτου ένας η νέα τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά από την T-Mobile.

The screenshot displays a 'Post-Checks' interface for a site identified as 'IE04527A-L1900 Capacity'. The 'Data' section includes fields for 'Existing tech checked (GC)' (empty), 'Exist Tech' (GSM, U19, L21, L7), and 'New Tech' (L19). Below these are several validation dropdowns: VSWR Validation (Pass), RSSI validation (Pass), RTWP Validation ((select)), Parameter Audit (checked), Nokia Audit (unchecked), RET validation (Pass), Alarm Clear (24h) (Pass), Alarm Clear (48h) (Pass), Existing Tech Parameter Alignment (checked), SSV Status ((select)), SSV Validation ((select)), and Gating Launch (No). There is also a 'Pending issue for launch' field (blank) and a 'Related Files' section with a 'Select Files...' button and a 'Clear All Files' link. A 'Notes' section has a 'Write Note' button. At the bottom, an 'Issues List' table is visible with columns for ISSUE OWNER, ISSUES, CONTACT TIME, TECHNOLOGIES, HARDWARE, PRE-EXISTING, and ISSUE RESOLVED. The table contains one entry: FOPS, Site Dev | RSSI, KPI | 09/27/2018 22:41 | L700 | | No | No.

Εικόνα 5.4 Παράδειγμα υποεργασιών στο στάδιο Post Check

Αναλυτικότερα σχετικά με την παραπάνω εικόνα, αφού έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες στο σταθμό, πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποιοι έλεγχοι από την TTS ούτε ώστε να ενημερώσει την T-Mobile, ότι η νέα συχνότητα/ τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς πρόβλημα. Ενδεικτικά, πρέπει να βεβαιωθεί ότι κάποιοι βασικοί δείκτες απόδοσης του σταθμού λειτουργούν σωστά (VSWR/ RSSI Validation), να ελεγχθούν οι παράμετροι λειτουργίας του σταθμού (Parameter Audit/Existing Tech Parameter Alignment) και άλλα. Σε όλους τους ελέγχους που πραγματοποιούνται οποιοδήποτε πρόβλημα εντοπιστεί η TTS ενημερώνει την αντίστοιχη ομάδα που είναι υπεύθυνη να λύσει το πρόβλημα (Issue List).

Αντίστοιχα πεδία και έλεγχοι εκτελούνται και καταγράφονται εύκολα στο TechInsights σε όλα τα επιμέρους στάδια υλοποίησης του έργου.

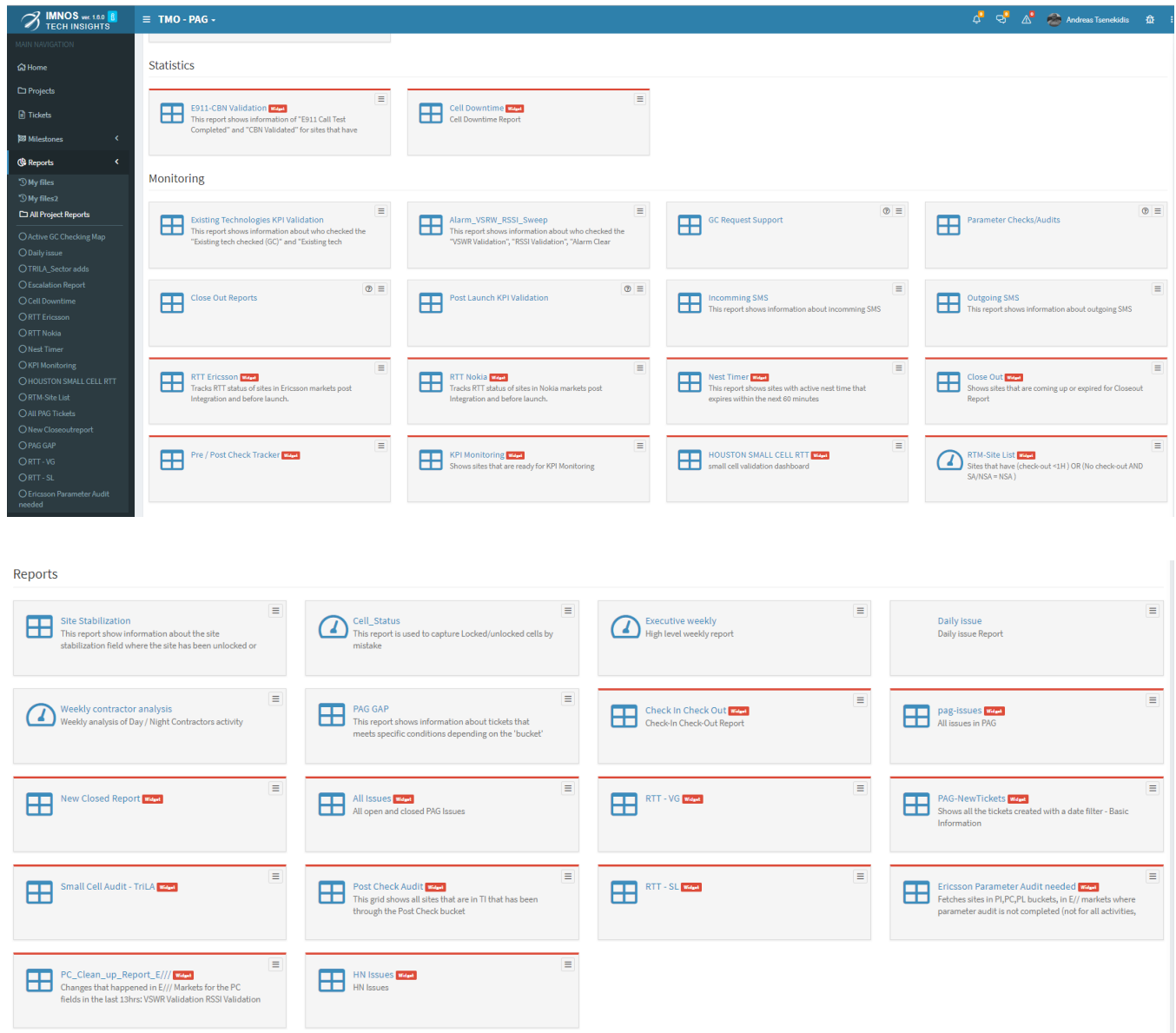
### 5.2.2 Ανάλυση εργασιών

Πολύ συχνά, η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των διαδικασιών ενός έργου θεωρείται δεδομένη άλλα όταν μετριέται προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα από τα αναμενόμενα. Με το TechInsights ο χρόνος υλοποίησης ενός σταδίου ή αντιμετώπισης ενός προβλήματος και η αποτελεσματικότητα αντιμετώπισης αποτυπώνονται σε μετρήσιμα μεγέθη διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο τον εξ ορθολογισμό των δραστηριοτήτων μέσα στο έργο. Με το TechInsights μετράται η παραγωγικότητα του έργου και των ομάδες μέσω της έκδοσης αναφορών ανάλογα με το επίπεδο και το ενδιαφέρον του εκάστοτε χρήστη. Παραδείγματος χάρη τα μέλη της ομάδας έχουν πρόσβαση σε αναφορές για τις εργασίες που πρέπει να εκτελέσουν, οι υπεύθυνη της ομάδας σε αναφορές σχετικά με την παραγωγικότητα και τις αδυναμίες της ομάδας και οι υπεύθυνοι του έργου σε αναφορές σχετικές με το ποιες εργασίες εκκρεμούν, τι εκκρεμότητες υπάρχουν και σε στοιχεία για την τιμολόγηση του έργου.

Με αυτόν τον τόπο κάθε στάδιο και διαδικασία αποτυπώνεται σε μετρήσιμα μεγέθη τα οποία μετρούνται και αξιολογούνται εγκαίρως. Επιπλέον, προσδιορίζονται τα πλεονεκτήματα, οι ευκαιρίες και οι αδυναμίες. Όλες οι αναφορές μπορούν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του έργου και οι στόχοι και οι προτεραιότητες να μεταβληθούν ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του έργου. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο του process analytics and reporting το TechInsights έχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- Εξατομικευμένες αναλύσεις και αναφορές για κάθε στάδιο του έργου
- Κατάτμηση των αναλύσεων και των διαδικασιών ανάλογα με την ομάδα, τον πάροχο, τον υπεργολάβο και άλλα
- Προσαρμοσμένο πίνακα ελέγχου και δημιουργία μεμονωμένων αναφορών
- Reporting σε πραγματικό χρόνο και με διαφανή δεδομένα

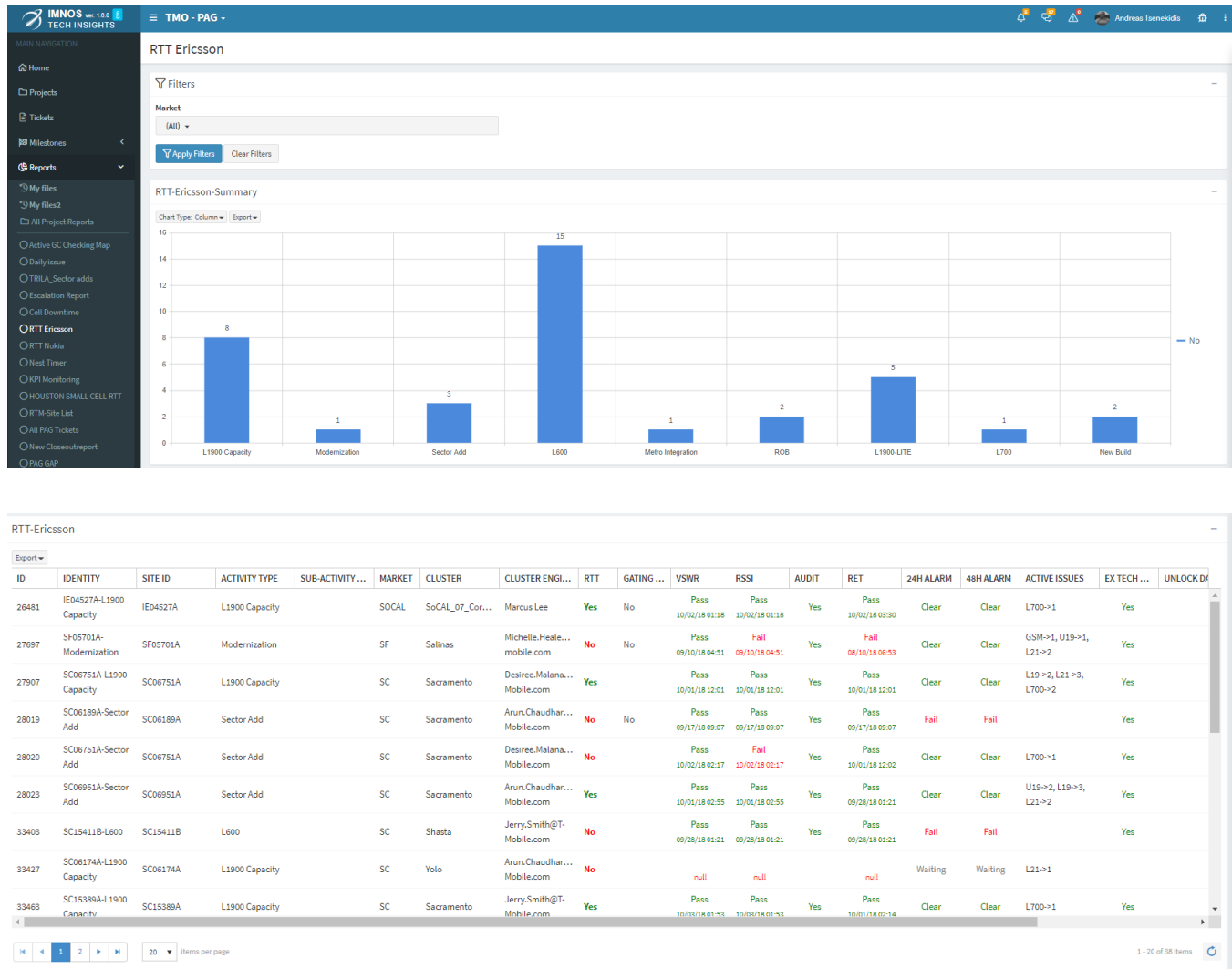
Στην Εικόνα 5.5 αποτυπώνονται για αναφορά οι αναλύσεις και αναφορές που μπορούν να εκδοθούν από το TechInsights σε πραγματικό χρόνο για το PAG κατά την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 5.5 Αρχική Οθόνη των διαθέσιμων report για το PAG

Για λόγους αναφοράς στις Εικόνες 5.6- 5.5.8 απεικονίζονται ενδεικτικά κάποια από τα διαθέσιμα reports.





Εικόνα 5.6 Report για την κατάσταση του RTT

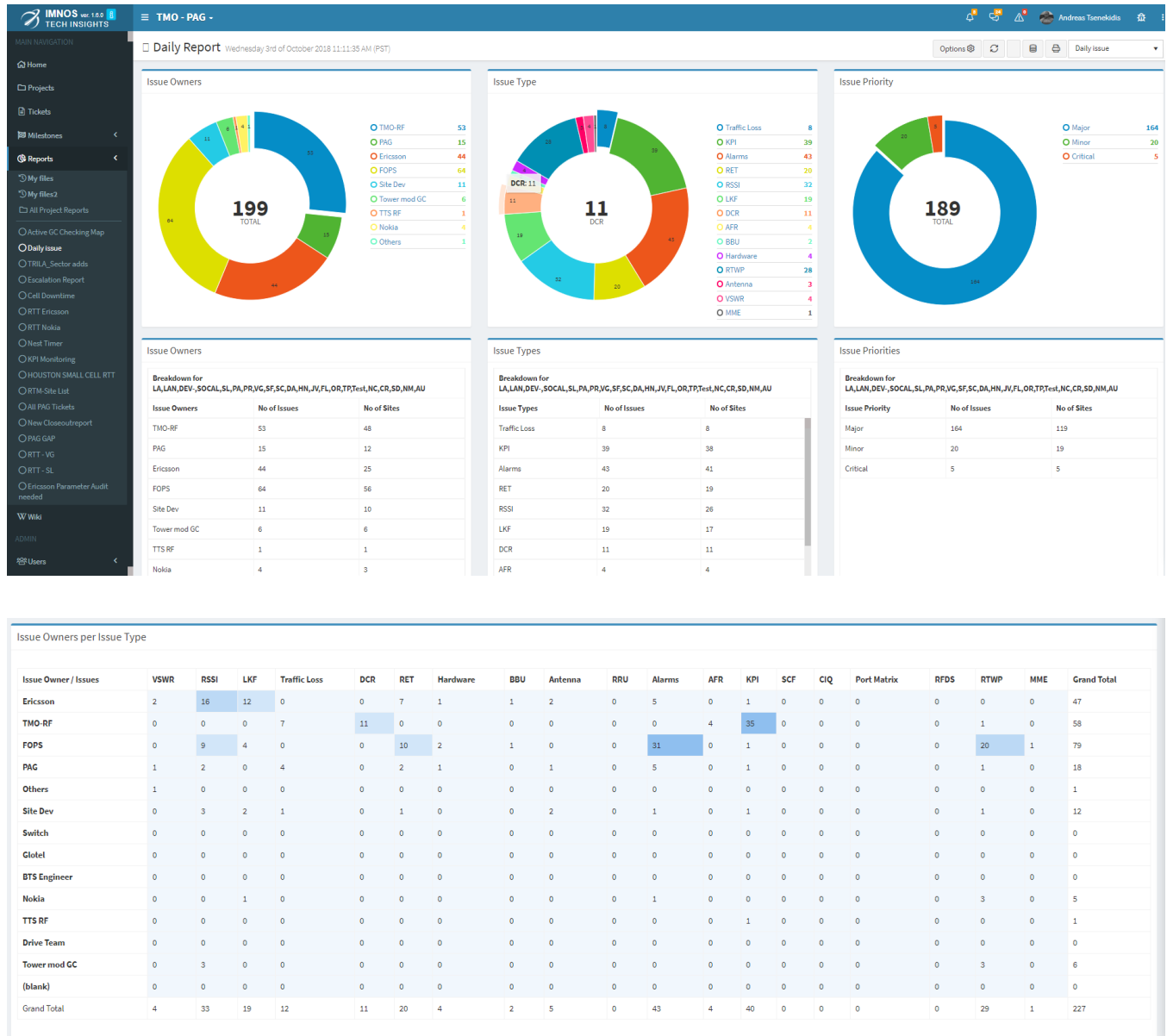
Αφού έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες σε ένα σταθμό και έχει γίνει η εγκατάσταση της υλικοτεχνικής υποδομής που απαιτείται ώστε μια καινούρια τεχνολογία να μπορεί να εκπέμψει, κατά τη διάρκεια της νύχτας οι μηχανικοί του PAG, πραγματοποιούν ενέργειες και ελέγχους στους σταθμούς ώστε να κρίνουν αν η τεχνολογία είναι έτοιμη να εκπέμψει (Ready to Transmit, RTT). Η κατάσταση των ελέγχων αυτών, οι εκκρεμότητες που υπάρχουν, οι έλεγχοι που εκκρεμούν αποτυπώνονται στην αναφορά (report) της Εικόνας 5.6. Επομένως μέσω αυτού του report μπορούν να δουν οι μηχανικοί του PAG για το ποιες ενέργειες καλούνται να εκτελέσουν και οι διαχειριστές του έργου τι εκκρεμεί ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι η τεχνολογία μπορεί να εκπέμψει και να αξιοποιηθεί εμπορικά.

SITE ID	MARKET	TECHNOLOGY	SUB-ACTIVITY TYPE	UNIQUE	1H KPI	2H KPI	4H KPI	8H KPI	24H KPI	48H KPI	UNLOCK DATE	ON AIR DATE
A3C0180B	HN	New Build	A3C0180B-New Build	2018/09/29 13:34:18	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	09/28/2018 12:00	09/28/2018 12:00
HN0695BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0695BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 04:24:35	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Fail	09/28/2018 00:00	09/29/2018 15:00
HN0194BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0194BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 03:08:39	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	09/28/2018 12:39	09/29/2018 15:00
HN0766BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0766BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 05:44:16	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	09/27/2018 11:41	09/29/2018 15:00
HN0384BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0384BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 05:46:39	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	09/27/2018 10:11	09/29/2018 15:00
HN0693BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0693BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 05:44:39	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Fail	09/28/2018 10:16	09/29/2018 15:00
HN0694BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0694BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 06:31:05	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Fail	09/28/2018 14:25	09/29/2018 15:00
HN0696BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0696BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 06:05:13	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Fail	09/28/2018 11:15	09/29/2018 15:00
HN0698BA_11	HN	Small Cell Strategy	HN0698BA_11-Small Cell Strategy	2018/09/29 05:48:33	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	09/27/2018 13:06	09/29/2018 15:00

Εικόνα 5.7 Report για την κατάσταση του KPI monitoring

Όταν οι εργασίες και όλοι οι έλεγχοι που πρέπει να πραγματοποιηθούν για ένα σταθμό ολοκληρωθούν (δηλαδή πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι του του report στην Εικόνα 5.6), απόδοση των δεικτών ποιότητας του σταθμού παρακολουθείται για ορισμένες ημέρες μέχρι να δοθεί για εμπορική χρήση. Το report στην Εικόνα 5.7 αποτυπώνει την κατάσταση του KPI monitoring. Μέσω αυτού του report τα μέλη της ομάδας έχουν τη δυνατότητα να δουν ποιους σταθμούς πρέπει να παρακολουθήσουν και να αξιολογήσουν την απόδοσή τους, οι υπεύθυνοι των ομάδων αν όλες οι εργασίες και ενέργειες πραγματοποιούνται και οι διαχειριστές του έργου να επικοινωνήσουν για τυχόν εκκρεμότητες και ενέργειες που απαιτούνται.

Σε κάθε στάδιο του έργου, μια από τις βασικότερες αρμοδιότητες του PAG, είναι ο εντοπισμός των προβλημάτων που έχουν προκύψει στους σταθμούς κατά τη διάρκεια του έργου και η ανάθεση του προβλήματος στην ομάδα που είναι υπεύθυνη να λύσει το εκάστοτε πρόβλημα. Τα προβλήματα μπορεί να οφείλονται είτε σε αστοχία, έλλειψη ή κακή συνδεσμολογία υλικού, είτε σε λάθος παραμετροποίηση του σταθμού είτε σε άλλους λόγους και υπεύθυνη ομάδα για την αντιμετώπιση τους μπορεί να είναι είτε κάποιος προμηθευτής, είτε κάποιος υπεργολάβος είτε το PAG ή η T-Mobile. Σε κάθε περίπτωση το report της Εικόνας 5.8, παρέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για τη φύση του προβλήματος, ώστε η υπεύθυνη ομάδα να δράσει για την γρήγορη αντιμετώπιση του.

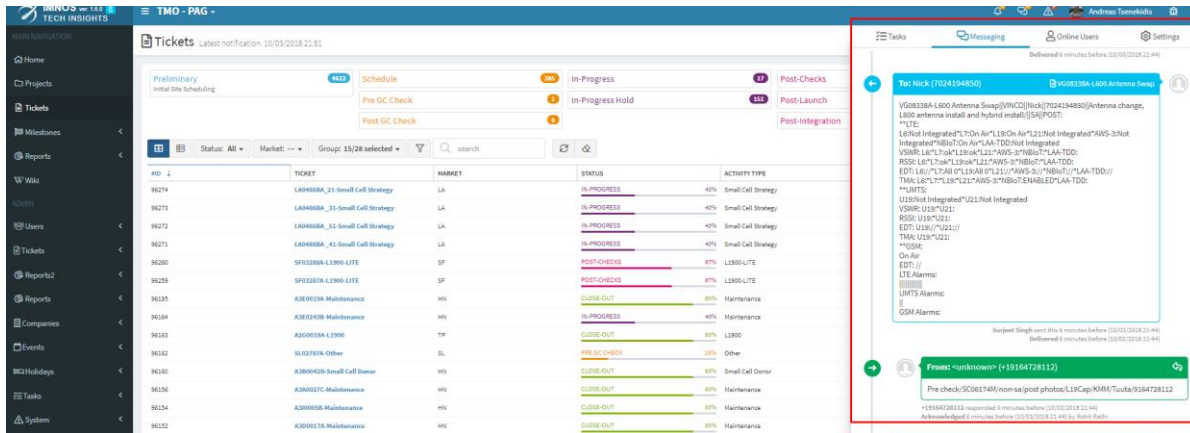


Εικόνα 5.8 – Report με τα προβλήματα (issues) των σταθμών

### 5.2.3 Επικοινωνία με εξωτερικές πλατφόρμες

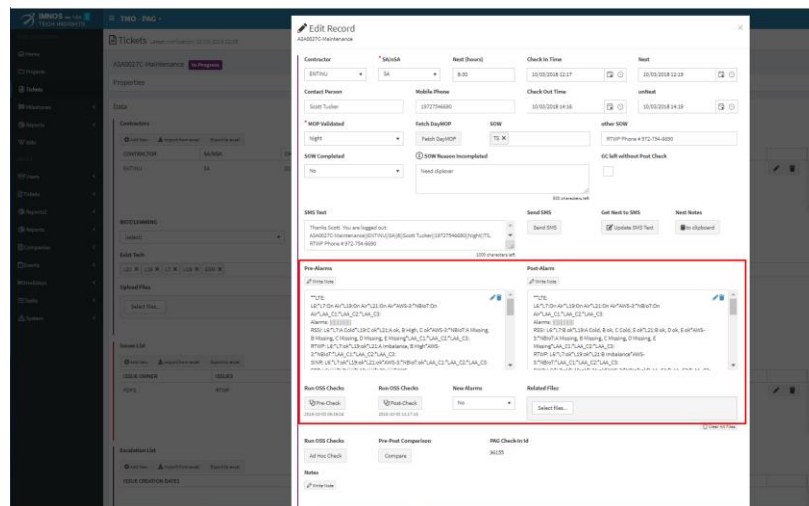
Βασικό χαρακτηριστικό για την αύξηση της αποτελεσματικότητας ενός έργου είναι οι εργασίες να γίνονται γρήγορα και να μην απαιτούνται πολύπλοκα εργαλεία και μέθοδοι για την υλοποίηση του. Βασικό πλεονέκτημα του TechInsights είναι ότι μπορεί να συνδεθεί και να επικοινωνήσει με εξωτερικές πλατφόρμες και εργαλεία ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα του και να λειτουργεί ως κεντρικό σημείο αναφοράς.

Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων υλοποιήσεων στο TechInsights απεικονίζονται στις Εικόνες 5.9 και 5.10. Η επικοινωνία των μηχανικών του PAG με τους εργολάβους που πραγματοποιούν τις εργασίες στους σταθμούς πραγματοποιείται με χρήση προσυμφωνημένων SMS μέσω του TechInsights. Με αυτό τον τρόπο δεν απαιτείται τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ των μελών που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη συνεννόηση και απαιτεί περισσότερο χρόνο.



Εικόνα 5.9 Επικοινωνία με SMS μέσω του TechInsights

Οι μηχανικοί του PAG πρέπει να ελέγχουν την κατάσταση του σταθμού και κάποιες κύριες παραμέτρους πριν και μετά την υλοποίηση των εργασιών στο σταθμό. Το TechInsights επικοινωνεί και συλλέγει κατευθείαν δεδομένα και διαγνωστικούς ελέγχουν από τους σταθμούς και παρουσιάζει στους μηχανικούς του PAG τα δεδομένα που χρειάζονται σε ευκολονόητη και εύχρηστη δομή χωρίς οι μηχανικοί να χρειάζεται να πραγματοποιούν χρονοβόρες ενέργειες για να πάρουν τα δεδομένα που χρειάζονται.



The image displays two side-by-side screenshots of a spreadsheet application, likely TechInsights, used for network monitoring. The left screenshot is titled 'Pre-Check data' and the right is 'Post-Check data'. Both show a grid of data for cell status and various parameters.

**Pre-Check data (Left Screenshot):**

Cell Status	L6	L7	L19	L21	AWS-3	NBofT	LAA_C1	LAA_C2	LAA_C3	U19	U21	GSM
Alarms:	On Air	On Air	On Air			On Air				On Air		A Unlocked
RISr:	A Cold	C ok	A ok	B Hig		A Missing				ok		
RTWP:	ok	ok	A Imbalanc									
SINR:	ok	ok	ok			ok						
EDT:												
Traffic:												
Setup Suc:												

**Post-Check data (Right Screenshot):**

Cell Status	L6	L7	L19	L21	AWS-3	NBofT	LAA_C1	LAA_C2	LAA_C3	U19	U21	GSM
Alarms:	On Air	On Air	On Air			On Air				On Air		A Unlocked
RISr:	ok	ok	ok			A Missing				ok		
RTWP:	ok	ok	ok									
SINR:	ok	ok	ok			ok						
EDT:												
Traffic:												
Setup Suc:												

Both screenshots include a search bar at the bottom with the text 'A3A0027C' and buttons for 'Save Pre-check', 'Get Pre Check text', 'Get SMS to GC' (left) and 'Save Post-check', 'Get Post Check text', 'Get SMS to GC' (right).

Εικόνα 5.10 Αυτόματη επικοινωνία του TechInsights με τον OSS για συλλογή στοιχείων και εύκολη αποτύπωση τους



## Συμπεράσματα

Τα πρώτα συστήματα κινητών επικοινωνιών αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 80 και εξελίχθηκαν από το να είναι μια δαπανηρή υπηρεσία σε καθημερινή ανάγκη. Πλέον, με την διάδοση των έξυπνων συσκευών τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών καλούνται να υποστηρίξουν όχι μόνο την επικοινωνία μεταξύ χρηστών αλλά και την επικοινωνία ανάμεσα σε εκατομμύρια συσκευές.

Η πρώτη σημαντική εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 2000 όταν εισήχθησαν τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G). Τα δίκτυα 4G αποτελούν ένα αποκλειστικά IP-based σύστημα που διασφαλίζει την επικοινωνία του ελεγμένου RAN (enodeB), με το ανανεωμένο δίκτυο κορμού (EPC). Για αυτό και το νέο δίκτυο στο 4G, καλείται και SAE (System Architecture Evolution). Σε όρους απόδοσης τα δίκτυα 4G, προσφέρουν πολύ υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, υψηλότερη φασματική απόδοση και ευελιξία αξιοποίησης φάσματος, χαμηλότερη καθυστέρηση στις προσφερόμενες υπηρεσίες και πολλά άλλα πλεονεκτήματα και εξελίξεις σε σύγκριση με τα προηγούμενα δίκτυα 2G/3G. Φορέας εξέλιξης και προτυποποίησης του 4G είναι η 3GPP, η οποία με κάθε νέα έκδοση εισάγει νέες καινοτομίες και πλεονεκτήματα στο δίκτυο. Ενδεικτικά κάποια αυτά είναι το MIMO, το Carrier Aggregation και άλλα.

Όσον αφορά την υλικοτεχνική υποδομή των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, τα βασικότερα στοιχεία του συστήματος είναι: ο σταθμός βάσης (RBS), η ψηφιακή μονάδα (DU), η μονάδα ραδιοεκπομπής (RU) και το κεραιοσύστημα. Στο σταθμό βάσης εγκαθίστανται όλες οι απαραίτητες μονάδες για την υποστήριξη του δικτύου, παραδείγματος χάριν, μπαταρίες, μονάδες παροχής ισχύος και άλλα. Η ψηφιακή μονάδα αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος. Όλη η επεξεργασία και ο χρονοπρογραμματισμός του ψηφιακού σήματος εκτελείται στην ψηφιακή μονάδα που επίσης αποτελεί την διεπαφή του δικτύου κορμού με την RAN. Η μονάδα ραδιοεκπομπής λαμβάνει το ψηφιακό σήμα από την DU, το μετατρέπει σε RF το οποίο με τη σειρά του μεταδίδεται στην κεραία και εκπέμπεται στο περιβάλλον. Στο uplink πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία. Η κεραία λαμβάνει το RF σήμα, το μεταφέρει στην RU, όπου φιλτράρεται, αποδιαμορφώνεται και τέλος το ψηφιακό σήμα μεταφέρεται με τη δομή IP πακέτων στο δίκτυο κορμού. Χρήσιμα, αλλά όχι υποχρεωτικά στοιχεία για τη λειτουργία του συστήματος αποτελούν επίσης τα RET και τα TMA.

Όπως αναφέρθηκε, το 4G έφερε σημαντικές εξελίξεις σε σχέση με τα προηγούμενα δίκτυα. Όμως οι απαιτήσεις των χρηστών όλο και αυξάνονται, εισάγονται νέες υπηρεσίες που το δίκτυο κινητών

επικοινωνιών καλείται να υποστηρίξει, που έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους σε όρους απόδοσης, ρυθμών δεδομένων και καθυστέρησης και γενικότερα πόρων. Προκειμένου να ανταπεξέλθουν οι πάροχοι υπηρεσιών στις νέες ανάγκες που αναδύονται αλλά και με δεδομένη την ανάπτυξη άλλων τομέων της βιομηχανίας (IoT), των οποίων η λειτουργία εξαρτάται από τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι επιβεβλημένη η περαιτέρω εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Φορέας ανάπτυξης και προτυποποίησης των νέων δικτύων, των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G), είναι και πάλι η 3GPP, που με το IMT-2020, ορίζει τους στόχους για τα νέα δίκτυα 5G.

Συνοπτικά, κύριοι στόχοι για το 5G είναι:

- Επίτευξη μέγιστου ρυθμού δεδομένων της τάξης των 20Gps στο downlink και 1Gps στο uplink.
- Ενίσχυση της χωρητικότητας
- Επίτευξης χαμηλής καθυστέρησης έως 0,5 ms και διασφάλιση υπηρεσιών ακόμα και για χρήστες που κινούνται με 500 km/h. και άλλα, έχοντας εν τέλη ως απώτερο στόχο την βελτίωση της εμπειρίας χρήσης των χρηστών.

Προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του IMT-2020, το δίκτυο του 5G θα ανανεωθεί και θα αποτελείται από το gNB στο RAN και το δίκτυο κορμού 5G (5GC). Τέλος, στο σύστημα θα ενσωματωθούν νέες λειτουργίες και χαρακτηριστικά, όπως είναι η αξιοποίηση mmWave συχνοτήτων, η οργάνωση του δικτύου σε μικρότερες και πυκνότερες κυψέλες, η αξιοποίηση Massive-MIMO, SDN, NFV και άλλα.

Βασική απαίτηση όλης αυτής της εξέλιξης είναι σε κάθε περίπτωση η διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσιών των τελικών χρηστών, η βέλτιστη χρήση των πόρων από πλευράς των παρόχων και η ασφαλής μετάβαση σε έναν υπερσυνδεδεμένο κόσμο, κάτι που αναμένεται να αρχίσει να υλοποιείται ουσιαστικά μετά το 2020. Με αυτούς τους στόχους τα συνεργαζόμενα μέλη στα έργα επέκτασης δικτύων κινητών επικοινωνιών, αξιοποιούν εργαλεία που θα διευκολύνουν την παρακολούθηση, διαχείριση και βελτιστοποίηση των έργων και των διαδικασιών που ακολουθούνται. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το TechInsights, που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε όλα τα στάδια υλοποίησης ενός έργου και ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη που συμμετέχει σε αυτό.



## **Παράρτημα 1 : Πίνακας Συντμήσεων – Μετάφρασης Όρων**

Δίκτυα Μακροπρόθεσμης εξέλιξης – Long Term Evolution Networks (LTE)

Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών – Federal Communications Commission (FCC)

Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς – 5th Generation Networks (5G)

Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς – 4th Generation Networks (4G)

Δίκτυα Τρίτης Γενιάς – 3rd Generation Networks (3G)

Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς – 2nd Generation Networks (2G)

Δίκτυα Πρώτης Γενιάς – 1st Generation Networks (1G)

Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Συχνότητας – Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Κινητή Σκανδιναβική Τηλεφωνία – Nordic Mobile Telephony (NMT)

Προηγμένες Υπηρεσίες Κινητής Τηλεφωνίας - Advanced Mobile Phone Service (AMPS)

Συστήμα Επικοινωνιών Απόλυτης Πρόσβασης- Total Access Communication System (TACS)

Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Κώδικα – Code Division Multiple Access (CDMA)

Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Χρόνου – Time Division Multiple Access (TDMA)

Προσωπική Ψηφιακή Κυψελοειδής - Personal Digital Cellular (PDC)

Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών – Global System for Mobile communications (GSM)

Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων – European Telecommunication Standards Institute (ETSI)

Ενισχυμένοι ρυθμοί μετάδοσης για την εξέλιξη του GSM – Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

Μηχανή προς Μηχανή – Machine to Machine (M2M)

Έργο Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς – 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Κώδικα Ευρείας Ζώνης – Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

Καθοδική Πρόσβαση Πακέτου Υψηλής Ταχύτητας - High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Πρόσβαση Πακέτου Υψηλής Ταχύτητας - High Speed Packet Access (HSDPA)

Εξέλιξη – Βελτιστοποίηση Δεδομένων - Evolution- Data Optimized (EV-DO)

Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών – Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

Δίκτυα Τοπικής Περιοχής – Local Area Networks (LAN)

Δίκτυα Μητροπολιτικής Περιοχής – Metropolitan Area Networks (MAN)

Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Μικροκυματική Πρόσβαση - Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax)

Ορθογώνια Πολλαπλή Πρόσβαση Διαχωρισμού Συχνότητας – Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM)

Πολλαπλή Πρόσβαση Μονάδας Φορέα - Single Carrier FDMA (SC-FDMA)

Εξέλιξη Αρχιτεκτονικής Συστήματος – System Architecture Evolution (SAE)

Εξελιγμένο Δίκτυο Πακέτου – Evolved Packet Core (EPC)

Εξοπλισμός Χρήστη – User Equipment (UE)

Δίκτυο Δεδομένων Πακέτου – Packet Data Network (PDN)

Δίκτυο Πρόσβασης Ραδιοσυχνοτήτων – Radio Access Network (RAN)

Παγκόσμιο Επίγειο Δίκτυο Πρόσβασης Ραδιοσυχνοτήτων- Universal Terrestrial Radio Access Network (UMTS)

Ελεγκτής Δικτύου Ραδιοσυχνοτήτων- Radio Network Controller (RNC)

Σύστημα Υποστήριξης Παρόχου – Operator Support System (OSS)

Διαχείριση ραδιοπόρων - Radio Resource Management (RRM)

Πρωτόκολλο Δεδομενοραμμάτων Χρήστη - User Datagram Protocol (UDP)

Πρωτόκολλο Ελεγχόμενης Μετάδοσης – Transmission Control Protocol (TCP)

Πύλη Υποστήριξης - Serving Gateway (SGN)

Οντότητα Διαχείρισης Κινητικότητας - Mobility Management Entity (MME)

Ποιότητα Υπηρεσίας – Quality of Service (QoS)

Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής και Χρέωσης - Policy and Charging Rules Function (PCRF)

Πρότυπα Ροής Κυκλοφορίας – Traffic Flow Templates (TFT)

Εγγυημένος Ρυθμός Μετάδοσης – Guaranteed Bit Rate (GBR)

Φωνή Στο LTE – Voice Over LTE (VoLTE)

Εξελιγμένο Κέντρο Υποστήριξης Κινητής Θέσης - Evolved Serving Mobile Location Center (E-SMLC)

Υποστηρικτής Οικιακού Συνδρομητής – Home Subscriber Server (HSS)

Υποσύστημα Πολυμέσων Πρωτοκόλλου Διαδικτύου - IP Multimedia Subsystem (IMS)

Έλεγχος Σύνδεσης Ραδιοσυστήματος – Radio Link Control (RLC)

Έλεγχος Πόρων Ραδιοσυστήματος – Radio Resource Control (RRC)

Υπηρεσία Γενικού Πακέτου Ραδιοσυστήματος - General Packet Radio Service (GPRS)

Κόμβος Ελέγχου Υποστήριξης GPRS - Serving GPRS Control Node (SGSN)

Εικονικό Ιδιωτικό Δίκτυο – Virtual Private Network (VPN)

Διαίρεση Τομέων Συχνοτήτων - Frequency Domain Division (FDD)

Διαίρεση Τομέων Χρόνου - Time Domain Division (TDD)

Πολλαπλή Είσοδος Πολλαπλή Έξοδος – Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Διαμόρφωση Τετραγωνισμού Πλάτους - Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Τετραφωνική Μετατόπιση Φάσης - Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Ομάδα Φυσικού Πόρου - Physical Resource Block (PRB)

Μέγιστη προς Μέση Ισχύς - Peak to average power (PARP)

Διακριτός Μετασχηματισμός Φουριέ – Discrete Fourier Transform (DFT)

Δείκτης Ποιότητας Καναλιού - Channel Quality Indicator (CQI)

Διαδίκτυο των Αντικειμένων – Internet of Things (IoT)

Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου- Network Functions Virtualization (NFV)

Δίκτυο Ορισμένο από Λογισμικό - Software Defined Network (SDN)

Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών - International Telecommunication Union (ITU)

Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών - International Mobile Telecommunication system (IMT)

Επικοινωνία Τύπου Μηχανής - Machine Type Communication (MTC)

Αδειοδοτούμενη Υποβοηθούμενη Πρόσβαση - Licensed Assisted Access (LAA)

Συσκευή με Συσκευή – Device to Device (D2D)

Πρωτόκολλο Εκκίνησης Συνεδρίας - Session Initiation Protocol (SIP)

Δίκτυα Ευρείας Περιοχής Μεγάλης Ακτίνας - Long Range Wide Area Network (LoRaWan)

Μη Επανδρωμένο Ιπτάμενο Όχημα - Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Παγκόσμιο Συνέδριο Ραδιοσυχνοτήτων - World Radio Conference (WRC)

Λειτουργίες Δικτύου - Network Functions (NF)

Λειτουργία Εξυπηρετητή Ταυτοποίησης - Authentication Server Function (AUSF)

Λειτουργία Διαχείρισης Κινητικότητας για Πρόσβαση στο Δίκτυο Κορμού - Core Access Mobility Management Function (AMF)

Λειτουργία Έκθεσης Δικτύου - Network Exposure Function (NEF)

Λειτουργία Αποθήκευσης Δεδομένων Δικτύου - Data Storage Network Function (DSF)

Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής – Policy Control Function (PCF)

Λειτουργία Διαχείρισης Συνεδρίας - Session Management Function (SMF)

Διαχείριση Ενοποιημένων Δεδομένων Unified Data Management (UDM)

Λειτουργία Επιπέδου Χρήστη - User Plane Function (UPF)

Εξουσιοδοτούμενη Διαμοιρασμένη Πρόσβαση- Authorized Shared Access (ASA)

Διαμοιρασμός Πρόσβασης με Άδεια – License Share Access (LSA)

Ακύρωση Ενδο-παρεμβολών - Self-Interference Cancellation (SIC)

Σταθμός βάσης ραδιοεκπομπής - Radio Base station (RBS)

Ψηφιακή Μονάδα – Digital Unit (DU)

Μονάδα Ραδιοεκπομπής – Radio Unit (RU)

Μονάδας Ελέγχου Υποστήριξης - Support Controls Unit (SCU)

Μονάδα Διανομής Ισχύος - Power Distribution Unit (PDU)

Μονάδα Σύνδεσης Ισχύος – Power Connection Unit (PCU)

Μονάδα Υποστήριξης Συναγερμών – Support Alarm Unit (SAU)

Μονάδα Υποστήριξης Κόμβου – Support Hub Unit (SHU)

Κοινή Δημόσια Διεπαφή Ραδιοεκπομπής - Common Public Radio Interface (CPRI)

Μονάδα Βαθυπερατής Ζώνης - Baseband Unit (BBU)

Απομακρυσμένη Ηλεκτρική Κλίση - Remote Electrical Tilt (RET)

Ενισχυτής σε Ιστό - Tower Mast Amplifier (TMA)

Ομάδα Προτυποποίησης Διεπαφής Κεραίας - Antenna Interface Standards Group (AISG)

Ενσωματωμένη μονάδα ραδιοεκπομπής στη κεραία - Antenna Integrated Radio (AIR)



## Βιβλιογραφία

- Award Solutions . (2011). *LTE Core Bronze Certification Reference Material*. AT&T.
- Award Solutions. (2009). *LTE Overview*. AT&T.
- Award Solutions. (2011). *LTE SAE Evolved Packet Core (EPC) Overview Reference Guide*. AT&T.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2016). *4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G*. Elsevier .
- Ericsson . (2015). *Radio Unit Description - RUS 01*. Ericsson A.B.
- Ericsson . (2016). *Ericsson Radio System Deep Dive* . Ericsson A.B.
- Ericsson . (2016). *SAU Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson . (2017). *Antenna System Equipment*. Ericsson A.B.
- Ericsson . (2017). *Ericsson E-RAN Deep Dive*. Ericsson A.B.
- Ericsson . (2017). *RBS Description- RBS 6131*. Ericsson A.B.
- Ericsson . (2018). *5G MM-Wave product roadmap update*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2012). *XMU Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2015). *Main Unit Description* . Ericsson A.B.
- Ericsson. (2015). *Performance Management Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2015). *System Description*. Ericsson AB.
- Ericsson. (2016). *Antenna Integrated Radio Unit- A32 Description* . Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *Baseband R503 Description* . Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *Digital Unit Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *Key Performance Indicators Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *PDU Description* . Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *Radio Network Configuration*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *Radio Unit Description* . Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *SCU Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2016). *SHU Description*. Ericsson A.B.
- Ericsson. (2018). *5G -Roadmap and Architecture*. Ericsson A.B.
- GSMA. (2018). *3GPP Low Power Wide Area Technologies*. GSMA White paper.
- Mpirical Limited. (2016). *MIMO Enhancements - Reference Document*. Mpirical Limited.

Mpirical Limited. (2017). *Introduction to 5G - Reference Document*. Mpirical Limited.

Nokia Networks. (2014). *LTE Air Interface Overview - LTE/EPS Fundamentals Course*. Nokia Solutions and Networks 2014.

Nokia Siemens Networks. (2007). *Introduction to LTE/SAE Architecture*. Nokia Siemens Networks.

Nokia Siemens Networks. (2011). *Flexi Multiradio System Module Description*. Nokia Siemens Networks

Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2011). *LTE- The UMTS Long Evolution: From Theory to practice*. WILEY.

Ε.Ε.Τ.Τ. (2016). *Διεξαγωγή της 1ης Μετρητικής Εκστρατείας Δεικτών Ποιότητας Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών*. Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων .

Τσενεκίδης, Α. (2014). *Ποιότητα υπηρεσιών και επιβιωσιμότητα δημόσιων τηλεπικοινωνιακών δικτύων*. Διπλωματική Εργασία Η.Μ.Μ.Υ Ε.Μ.Π.







