

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**

***Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα***

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Υπολογισμός Ραδιοκάλυψης και Σχεδιασμός Ασύρματου  
Δικτύου 4G LTE σε Αγροτικές και Ορεινές Περιοχές**

**Νικόλαος Π. Θεοδωρόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Σταύρος Σταύρου**

**Μάιος 2016**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**

***Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα***

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Υπολογισμός Ραδιοκάλυψης και Σχεδιασμός Ασύρματου  
Δικτύου 4G LTE σε Αγροτικές και Ορεινές Περιοχές**

**Νικόλαος Π. Θεοδωρόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Σταύρος Σταύρου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών  
Στα Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα  
από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών  
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Μάιος 2016**



## Περίληψη

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι ο κυψελοειδής σχεδιασμός ενός ασύρματου δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή με βάση το πρότυπο LTE. Επίσης μελετά τη ραδιοκάλυψη σε δίκτυα LTE σε αστικά και αγροτικά περιβάλλοντα και όχι τη διαστασιολόγηση τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται οι γενιές κινητών τηλεπικοινωνιών, το πρότυπο GSM και οι κατηγορίες δικτύων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το πρότυπο LTE και πιο συγκεκριμένα η αρχιτεκτονική του και οι λειτουργίες που εκτελεί.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται η βασική ιδέα του κυψελοειδούς σχεδιασμού, τα βήματα που ακολουθούνται για την πραγματοποίηση του και οι βασικές έννοιες των κυψελοειδών συστημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ο σχεδιασμός του κυψελοειδούς μας δικτύου με την χρήση του Radio Mobile στη γεωγραφική περιοχή της Κύπρου.

## **Summary**

The main purpose of this thesis is the cellular design of a wireless mobile network in a specific geographic area based on the LTE standard. Also studying the radio coverage in LTE networks in urban and rural environments and not their dimensioning.

In the first, the generations of mobile telecommunication, the GSM standard and the networks categories are described.

In the second chapter, the LTE standard is described and more specifically its architecture and the functions it performs.

In the third chapter, the concept of cellular design, the steps followed for the realization and the basic characteristics of cellular systems are analyzed.

In the fourth chapter, the design of our cellular network using Radio Mobile in the geographical area of Cyprus is described.

## **Ευχαριστίες**

Νιώθω την υποχρέωση, να ευχαριστήσω όλους αυτούς, που με διάφορους τρόπους προσέφεραν τη βοήθειά τους, στην ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής και συγκεκριμένα :

Τον υπεύθυνο καθηγητή μου, για τις ανεκτίμητες συμβουλές του, την αμέριστη επιστημονική της βοήθεια, καθώς και την ψυχολογική στήριξη και υπομονή του. Χωρίς την συμβολή του δεν θα ήταν δυνατή η υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Την Παναγιώτα Δ. Στότη, Δασολόγο – Περιβαλλοντολόγο MSc. για τη βοήθεια αλλά και την υπομονή της, τόσο, σε θέματα σχετικά με την συγγραφή και μορφοποίηση του κειμένου της παρούσας διατριβής, όσο και ηθικής υποστήριξης καθ όλη τη διάρκεια υλοποίησης της μελέτης.

Τους συγγραφείς που αναφέρονται στην βιβλιογραφία και των οποίων τα συγγράμματα συμβουλευτήκα και χρησιμοποιήσα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που έδειξε κατανόηση και υπομονή καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού κύκλου.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εξέλιξη κινητής Επικοινωνίας</b> .....	8
1.1	Βασικοί Ορισμοί .....	8
1.1.1	Κινητό (Mobile) .....	8
1.1.2	Σταθμός Βάσης (Base Station).....	8
1.1.3	Κέντρο Κινητής Μεταγωγής (Mobile Switching Center-MSC).....	9
1.2	Η Πρώτη Γενιά (1G).....	9
1.3	Η Δεύτερη Γενιά (2G).....	11
1.3.1	Ζώνες Συχνοτήτων.....	12
1.3.2	Αρχιτεκτονική GSM Δικτύου.....	13
1.4	Γενιά 2,5G και 2,7G.....	15
1.4.1	Τεχνολογία EDGE(2,7G).....	15
1.5	Τρίτη Γενιά (3G).....	16
1.5.1	Τρόπος Λειτουργίας WLANs.....	20
1.5.2	Εξοπλισμός.....	21
1.5.3	Ακτίνα Κάλυψης και Επίδοσης Ασύρματων Τοπικών Δικτύων.....	23
1.6	Κατηγορίες Δικτύων.....	24
1.6.1	Δίκτυο HSDPA.....	24
1.6.2	Δίκτυο WiMAX.....	24
<b>2</b>	<b>LTE</b> .....	27
2.1	Στόχοι-Πλεονεκτήματα .....	27
2.2	Υπηρεσίες LTE.....	32
2.3	Αρχιτεκτονική LTE.....	34
2.3.1	Εξελιγμένος Πυρήνας Πακέτου.....	34
2.3.2	Το πρωτόκολλο HARQ.....	35
2.3.3	Στρώματα Πρόσβασης.....	36
2.3.3.1	RLC.....	37
2.3.3.2	MAC (Medium Access Control ).....	38
2.3.3.3	PHY (Physical Layer).....	40
2.4	OFDMA.....	40
2.4.1	Uplink/Downlink.....	41
2.5	Συστήματα MIMO.....	42
2.5.1	Χωρική πολυπλεξία.....	43
<b>3</b>	<b>Κυτταρική Κάλυψη</b> .....	46
3.1	Σχεδίαση.....	46
3.2	Χωρητικότητα Κυττάρου.....	48
3.3	Κυτταρική Διάσπαση.....	49
3.4	Μεταπομπή (Handover).....	51
3.5	Παράμετροι και Χαρακτηριστικά των Κεραιών.....	53
3.5.1	Κέρδος κεραίας και Αποτελέσματα Ισχύς Εκπομπής.....	53
3.5.2	Μέτρηση Εκπομπής και Ένταση Πεδίου.....	54
3.5.3	Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων – Εύρος ζώνης και Πολικότητα Κεραίας.....	56
<b>4</b>	<b>Εισαγωγή στο Radio Mobile</b> .....	59
4.1	Ορισμός Προσομοίωσης.....	59
4.2	Radio Mobile.....	59
4.2.1	Επιλογή Γεωγραφικής Περιοχής.....	60
4.2.2	Δημιουργία Μονάδων Συστήματος.....	61
4.2.3	Ορισμός Παραμέτρων των Μονάδων του Δικτύου.....	61
4.2.4	Σχεδίαση Δικτύου.....	67
4.2.4.1	Ζώνες Fresnel.....	72
4.2.4.2	Net 2 (2600MHz).....	82

4.3	Συμπεράσματα.....	84
	Βιβλιογραφία .....	86
	Ευρετήριο Σχημάτων-Εικόνων.....	87
	Λέξεις κλειδιά .....	88



# Κεφάλαιο 1

## Εξέλιξη Κινητής Επικοινωνίας

### 1.1 Βασικοί Ορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε σε κάποιες βασικές έννοιες που πρέπει να γίνουν κατανοητές, προκειμένου να εξηγήσουμε στη συνέχεια τη δομή και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας και κυρίως των κυψελωτών συστημάτων. Κάποιοι από τους όρους που θα χρησιμοποιούμε συχνά στη διατριβή, είναι οι παρακάτω:

#### 1.1.1 Κινητό (Mobile)

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα τερματικό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με την χρήση του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία είναι προσαρτημένη σε μια κινητή πλατφόρμα υψηλής ταχύτητας. Σύνηθες παράδειγμα μιας τέτοιας συσκευής είναι ένα κινητό τηλέφωνο που βρίσκεται σε όχημα που κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Αντίθετα, ο όρος φορητό (portable) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα τερματικό ραδιοεπικοινωνίας, το οποίο μπορεί να είναι μεταφερόμενο, όπως για παράδειγμα ένα walkie-talkie ή ένα ασύρματο τηλέφωνο μέσα σε ένα σπίτι.

#### 1.1.2 Σταθμός Βάσης (Base Station)

Είναι ένας σταθερός σταθμός σε ένα κινητό σύστημα ραδιοεπικοινωνίας, που χρησιμοποιείται για την ραδιοεπικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς. Οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται στο κέντρο ή στα όρια μιας περιοχής κάλυψης. Συνήθως εγκαθίστανται σε κάποιο ψηλό πύργο και αποτελούνται από κανάλια ραδιοεπικοινωνίας, κεραίες εκπομπής και λήψης.

### **1.1.3 Κέντρο Κινητής Μεταγωγής (Mobile Switching Center- MSC)**

Είναι ένα κέντρο μεταγωγής που συντονίζει τη δρομολόγηση των κλήσεων σε μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Σε ένα κυψελωτό σύστημα, το MSC συνδέει τους σταθμούς βάσης (Base Stations) με το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (Public Switched Telephone Network - PSTN). Το MSC αρχικά ονομάστηκε και γραφείο μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας (Mobile Telephone Switching Office - MTSO), οπότε οι δύο όροι είναι ισοδύναμοι.

Τα κινητά επικοινωνούν με τους σταθερούς σταθμούς βάσης και με ένα σταθερό δίκτυο κορμού (backbone network). Για να συνδεθούν οι κινητοί συνδρομητές με τους σταθμούς βάσης, εγκαθίστανται ραδιοζεύξεις (radio links), χρησιμοποιώντας ένα προσεκτικά ορισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας, που καλείται Common Air Interface (CAI). Το CAI καθορίζει ακριβώς, πώς οι κινητοί συνδρομητές και οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν με ραδιοσυχνότητες και επίσης καθορίζει τις μεθόδους με τις οποίες θα γίνει η σηματοδότηση ελέγχου του καναλιού.

## **1.2 Η πρώτη γενιά (1G)**

Τη δεκαετία του 1980 έχουμε την ανάπτυξη της πρώτης γενιάς ασύρματης τηλεφωνίας που είναι γνωστή ως 1G (Εικόνα 1). Η τεχνολογία αυτή στηρίχτηκε στα ραδιοκύματα τα οποία είναι αναλογικά και χρησιμοποιεί την ψηφιακή σηματοδότηση για την σύνδεση των πύργων.



Εικόνα 1: Κινητό τηλέφωνο πρώτης γενιάς

Οι ταχύτητες 1G κυμαίνονται μεταξύ 28kbps και 56kbps. Η έννοια του κυψελοειδούς συστήματος εδώ δεν υπάρχει αλλά συναντάμε μεμονωμένα συστήματα κυψελών τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το διαθέσιμο ραδιοφάσμα αποτελεσματικά. Επίσης οι συσκευές ήταν μεγάλες και ακριβές. Οι τεχνολογίες που υπήρχαν ήταν οι εξής:

- **AMPS (Advanced Mobile Phone System)**

Ήταν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τα εργαστήρια της Bell στα μέσα του 1970 λειτουργώντας σε συχνότητες των 800MHz (824-894MHz) βασισμένο στην τεχνολογία FDMA. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε λίγο αργότερα το NAMPS (Narrowband AMPS), το οποίο ενσωμάτωνε κάποια ψηφιακή τεχνολογία προκειμένου να επιτρέψει στο σύστημα να αυξήσει τη χωρητικότητά του έως και 3 φορές περισσότερες κλήσεις από το αρχικό AMPS. Το NAMPS μπορεί να έκανε κάποια χρήση ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό.

- **TACS (Total Access Communication System)**

Ήταν μια αντίστοιχη τεχνολογία του AMPS που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του '80. Λειτουργούσε σε συχνότητες των 900MHz υποστήριζε και διάφορες υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης.

## 1.3 Δεύτερη γενιά (2G)

Η δεύτερη γενιά κινητών τεχνολογιών χρησιμοποιεί τα κυψελωτά δίκτυα. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα έναντι της τεχνολογίας 1G είναι ότι οι τηλεφωνικές συνομιλίες κρυπτογραφούνται ψηφιακά , κάνουν αποτελεσματικότερη χρήση του ραδιοφάσματος , εισαγωγή υπηρεσιών SMS(Short Message Service), Called ID, Εκτροπή κλήσεων, Απόκρυψη κλήσεων, Φραγή κλήσεων, Cell Broadcast Ειδοποίηση κλήσεων, Advice of Change Roaming, Τεχνολογία CSD και οι συσκευές έγιναν μικρότερες και πιο εύχρηστες

Το GSM είναι ένα κυψελωειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.

Η εμβέλεια ενός δικτύου GSM σε μία γεωγραφική περιοχή για να γίνει, η περιοχή αυτή διαμερίζεται σε μικρότερες περιοχές που λέγονται κυψέλες, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους με κάθε κυψέλη να έχει και ένα σταθμό βάσης(Base Station), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη της μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής ενώ για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές είναι έως και 35Km ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα.

### 1.3.1 Ζώνες Συχνοτήτων

- **GSM 900**

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Οι περιοχές (ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM [5]

- **GSM 1800**

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DCS 1800, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374 (+ 1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας. Σήμερα, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα(GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

- **GSM 1900**

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Uplink και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Downlink. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε

κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

- **E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένη ζώνη GSM**

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Up link και 925 έως 960 MHz Down link. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

### 1.3.2 Αρχιτεκτονική GSM δικτύου

Αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- **Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station):** Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.
- **Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BTS)** φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραίες. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του A για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο B και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του B κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο A. Το πεδίο μιας GSM κεραίας ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 msec το

καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες, διάρκειας 0.577 msec η καθεμία (8X0,577 ή 16X0,577 ) . Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές 8 ή 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.

### **Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- Network Switching Subsystem)**

που αποτελείται από: Το Κέντρο Διανομής (Mobile Switching Center), είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων. Όταν ένα MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής, όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια καταχωρητών VLR (Visitor Locator Register), Home Locator Register (HLR). Ο πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή τοπικά κέντρα εγγραφής-HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, κάθε τέτοιο κέντρο η εμβέλεια του είναι σε τοπικό επίπεδο. Ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκεπτών ή εικονικό κέντρο εγγραφής χρήστη (VLR): Όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του τότε αναλαμβάνει τον χρήστη ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή εικονικό κέντρο εγγραφής - VLR ο οποίος έχει μια βάση δεδομένων, ο οποίος συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης. Το κέντρο πιστοποίησης (Authentication Centre – AuC) ο ρόλος του οποίου έγκειται στη διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη [5].

## 1.4 Γενιά 2.5G και 2.7G

Η 2.5G είναι η μεταβατική διαδικασία αναβάθμισης των υπαρχόντων δικτύων GSM 2G με σκοπό την αύξηση χωρητικότητας του δικτύου προσφέροντας και την προσφορά περισσότερων και ποιοτικότερων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας. Για την ανάπτυξη των δικτύων GSM αναπτύχθηκαν οι τεχνολογίες **GPRS - (General Packet Radio Service)** και Τεχνολογία **EDGE - (Enhanced Data rates for GSM Evolution)**.

Το **GPRS** γενικά είναι το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει την ταχύτερη αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Το GPRS επιτρέπεται η ταυτόχρονη χρήση περισσότερων του ενός χρονοθυρίδων έτσι η μεταφορά δεδομένων μπορεί να φτάσει θεωρητικά ως και τα  $153,6 = 16 \times 9.6$  kbps για 16 χρονοθυρίδες ή  $21,4 \times 8 = 171,2$  kbps για 8 χρονοθυρίδες. Οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά γιατί οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται μόνο κατά την ώρα μετάδοσης και αποδεσμεύονται όταν τελειώνει η μετάδοση σε αντίθεση με την τεχνολογία CSD. Στην πράξη όμως το GPRS χρησιμοποιεί 3 με 4 χρονοθυρίδες για κατέβασμα και μια χρονοθυρίδα για ανέβασμα(μη συμμετρική σύνδεση).

### 1.4.1 Τεχνολογία EDGE (2.7G)

Το EDGE είναι μια ενδιάμεση μεταβατική τεχνολογία πριν το 3G και αυτό είναι τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει στα δίκτυα 2G να έχουν τριπλάσια χωρητικότητα δικτύου με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης για την παροχή υπηρεσιών 3G, όπως video streaming, πραγματικό Internet browsing κτλ.. Το EDGE είναι μια αναβάθμιση του GPRS αλλά δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ενώ η αναβάθμιση και η εγκατάσταση του EDGE δεν απαιτεί την χρήση νέου εξοπλισμού από τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας αλλά την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας EDGE σε σχέση με το ήδη υπάρχον GSM δίκτυο, είναι η χρήση μίας διαφορετικής μεθόδου διαμόρφωσης των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται 8PSK (8 Phase Shift



Keying modulation) επιτρέποντας τη μεταφορά 3 bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Η τεχνολογία που παρέχουν τα απλά δίκτυα GSM με υποστήριξη υπηρεσιών GPRS, χρησιμοποιεί τη μέθοδο GMSK (Gaussian pre-filtered Minimum Shift Keying) η οποία βασίζεται στη μέθοδο Gauss για την εκθετική μείωση των πιθανοτήτων λάθους κατά τη μεταφορά των δεδομένων, αλλά επιτρέπει τη μεταφορά μόνο ενός bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι 384Kbps ή και 768kbps με στόχο όμως να φτάσει τα 2Mbps. Επίσης το EDGE έχει την ικανότητα αναμετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών, που δεν κωδικοποιήθηκε σωστά, με ένα περισσότερο ισχυρό σχήμα κωδικοποίησης, ενώ στο GPRS τα πακέτα θα έπρεπε να αποστέλλονται με το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης ακόμη και αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αποτέλεσμα τις αποσυνδέσεις και τα προβλήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση.

## 1.5 Τρίτη γενιά (3G)

Αντιπροσωπευτικό σύστημα αυτής της τρίτης γενιάς συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας (Εικόνα 2), είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Πρόκειται για το ευρωπαϊκό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο αναπτύχθηκε από την RACE (R&D σε προχωρημένες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών στην Ευρώπη) με σκοπό να παρέχει μια ποικιλία από κινητές υπηρεσίες σε μια ευρεία κλίμακα από παγκόσμια πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών.



Εικόνα 2: Κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς

Για το χειρισμό αυτού του μείγματος δεδομένων, το UMTS χρησιμοποιεί ένα σύνθετο σχέδιο με κυψέλες, το οποίο αποτελείται από:

- Δορυφορικές (satellite) κυψέλες, οι οποίες παρέχουν κάλυψη σε ολόκληρες χώρες.
- Μακρο-κυψέλες (Macrocells), οι οποίες καλύπτουν περιοχές σε ακτίνα μέχρι και 30 Km.
- Μινι-κυψέλες (Minicells), οι οποίες καλύπτουν μια περιοχή σε ακτίνα περίπου 3 Km.
- Μίκρο-κυψέλες (Microcells), οι οποίες καλύπτουν μερικούς δρόμους.
- Πικο-κυψέλες (Picocells), τα οποία καλύπτουν για παράδειγμα τους χώρους ενός γραφείου, ενός τρένου ή ενός αεροπλάνου.

Η δομή αυτή επιτρέπει στο UMTS να διοχετεύει την τοπική κίνηση στο δίκτυο μέσω των μικρο-κυψελών και των πικο-κυψελών. Αντίθετα, οι χρήστες που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες καλύπτονται από μακρο-κυψέλες, οπότε μειώνεται ο αριθμός των αλλαγών σταθμού βάσης (handoffs) που απαιτούνται.

Το CDMA ή σύστημα **κωδικής πολυπλεξίας** [7] όπως συχνά αποδίδεται στα ελληνικά, είναι το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, το οποίο εκμεταλλεύεται την τεχνική «εξάπλωσης» του φάσματος συχνοτήτων (spread spectrum) και επιτρέπεται με αυτόν τον τρόπο π.χ. τη μετάδοση του σήματος από το κινητό στο δίκτυο (σταθμό βάσης) και αντίστροφα. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας CDMA, εκμεταλλεύονται ένα συγκεκριμένο εύρος για την διαχείριση όλης της κίνησης, διαφοροποιώντας την εκάστοτε «μετάδοση» σήματος με την ανάθεση διαφορετικής «κωδικής» ακολουθίας, η οποία ονομάζεται «υπογραφή ακολουθίας» σε αυτές.

Με αυτήν την διαμόρφωση, το σήμα εξαπλώνεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από εκείνο που απαιτείται για την μετάδοση του πακέτου δεδομένων. Στην πλευρά του δέκτη χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπύεση του εύρους ζώνης και την λήψη των αρχικών δεδομένων. Εφόσον υπάρχουν αρκετοί δέκτες στο σταθμό βάσης, είναι δυνατό να υπάρχουν πολλαπλές επιτυχείς λήψεις. Πλέον υπάρχουν αρκετές παραλλαγές

του CDMA, οι οποίες όμως βασίζονται στις ίδιες βασικές αρχές λειτουργίας, όπως το W-CDMA, B-CDMA και TD-SCDMA.

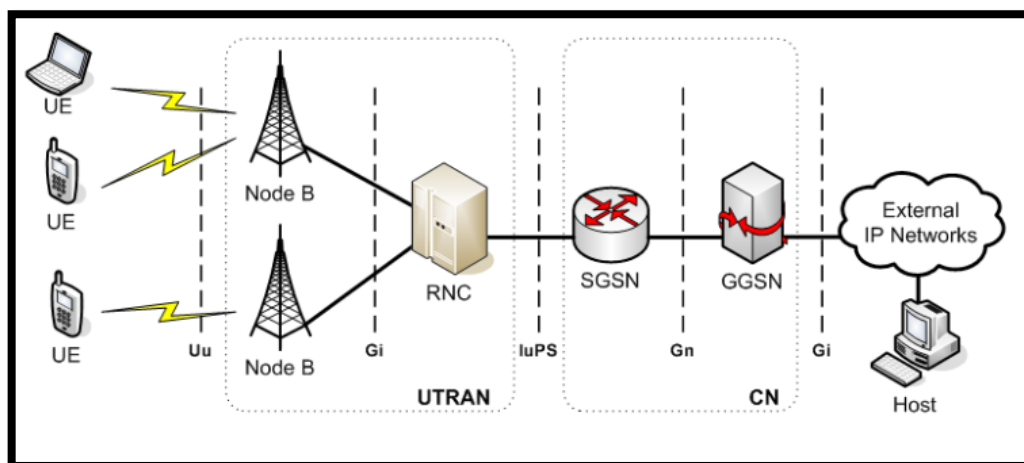
Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη σε σχέση με την χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών [6], των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την WCDMA τεχνολογία λειτουργούν σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του όλου εγχειρήματος έχει θεσπιστεί ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (3GPP) του οποίου μέλημα είναι η παρακολούθηση και η καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογική περιοχή.

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των UMTS δικτύων ξεχωρίζουμε τους αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων και την ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής. Πιο συγκεκριμένα, το UMTS δίκτυο στην αρχική του φάση, θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 kbps σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα του χρήστη. Αντίθετα, όταν ο χρήστης παραμένει ακίνητος οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνουν κατά πολύ φθάνοντας την τιμή των 2 Mbps.

Εκτιμάται ότι στο μέλλον θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Ήδη, ο 3GPP έχει θέσει σαν standard δύο νέες τεχνολογίες. Πρόκειται για το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες ουσιαστικά αποτελούν εξέλιξη του UMTS, αφού υπόσχονται ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων έως και 14,4 Mbps στο downlink και 5.8 Mbps στο uplink.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός UMTS δικτύου (Εικόνα 3). Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από δύο βασικές οντότητες: το δίκτυο κορμού (CN - core network) και το δίκτυο επίγειας ασύρματης πρόσβασης (UTRAN - UMTS terrestrial radio-access network). Το

δίκτυο κορμού είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση των τηλεφωνημάτων καθώς και για τις συνδέσεις για μεταφορά δεδομένων με εξωτερικά δίκτυα. Αντίθετα, το UTRAN είναι υπεύθυνο για οτιδήποτε σχετίζεται με το ασύρματο μέρος του δικτύου. Το CN αποτελείται από δύο domain: α) circuit-switched (CS - μεταγωγή κυκλώματος), β) packet-switched (PS - μεταγωγή πακέτου). Το CS domain παρέχει πρόσβαση στο PSTN/ISDN, ενώ το PS domain παρέχει πρόσβαση στα IP δίκτυα. Στο εξής μας ενδιαφέρει το PS domain. Έτσι λοιπόν, το PS μέρος του UMTS δικτύου αποτελείται από δύο GPRS κόμβους υποστήριξης: τον gateway GPRS support node (GGSN) και τον serving GPRS support node (SGSN). Ο SGSN συνδέεται με τον GGSN μέσω της διεπαφής Gn και με το UTRAN μέσω της διεπαφής Iu. Το UTRAN αποτελείται από τον ελεγκτή ασύρματης πρόσβασης (RNC - radio network controller) και το Node B το οποίο αποτελεί την βάση που προσφέρει κάλυψη στο αντίστοιχο κελί. Το Node B συνδέεται με τον εξοπλισμό του χρήστη (user equipment - UE) μέσω της διεπαφής Uu (βασισμένο στην τεχνολογία W-CDMA) και με το RNC μέσω της διεπαφής Gi. Επιπλέον, υπάρχει και ένας άλλος κόμβος σχετιζόμενος με τις υπηρεσίες broadcast/multicast (BM-SC - broadcast/multicast service center), ο οποίος λειτουργεί σαν το σημείο εισόδου για την παραλαβή των δεδομένων για εσωτερικές πηγές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται καλύτερα στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 3: Δομή UMTS δικτύου

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network - WLAN ή Wireless Fidelity WiFi) χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες (RF) προκειμένου να μεταδώσει και να λάβει δεδομένα μέσω του αέρα. Τα τελευταία χρόνια, τα WLANs βρίσκουν εφαρμογή διεθνώς σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων αυτών της υγείας, της παιδείας, των απλών κατοικιών καθώς και των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων.

Τα πλεονεκτήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- **Κινητικότητα.** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν στους χρήστες, εντός των χώρων κάλυψής τους, τη δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και από οποιοδήποτε μέρος του χώρου εργασίας τους. Αυτή η ευχέρεια στη κίνηση αυξάνει την παραγωγικότητα και τις ευκαιρίες για άμεση εξυπηρέτηση, ιδιότητες που δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμες στα ενσύρματα δίκτυα.
- **Ταχύτητα εγκατάστασης και απλότητα.** Η εγκατάσταση ενός WLAN είναι γρήγορη και εύκολη και εξαλείφει την ανάγκη εγκατάστασης καλωδίων.
- **Ευελιξία εγκατάστασης.** Η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει στο δίκτυο να επεκτείνεται εκεί που είναι δύσκολη η εγκατάσταση ενσύρματων υποδομών (π.χ. σε απομονωμένες περιοχές).
- **Μειωμένο κόστος συντήρησης.** Ενώ η αρχική επένδυση που απαιτείται για την αγορά εξοπλισμού ενός ασύρματου τοπικού δικτύου είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη μιας ενσύρματης σύνδεσης, το συνολικό κόστος λειτουργίας μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο. Τα μακροπρόθεσμα κέρδη είναι μεγαλύτερα, ειδικά σε δυναμικά περιβάλλοντα, όπου απαιτούνται πολύ συχνές μετακινήσεις και αλλαγές.

### **1.5.1 Τρόπος Λειτουργίας WLANs**

Τα WLANs χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για να διαβιβάσουν τις πληροφορίες από ένα σημείο σε ένα άλλο, χωρίς απαίτηση για ενσύρματη σύνδεση. Αρχικά, οι πληροφορίες προς μετάδοση διαμορφώνουν κατάλληλα τη φέρουσα συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του πομπού, κατόπιν τα κύματα μεταδίδονται μέσω του αέρα και τέλος, φτάνοντας στο δέκτη, αποδιαμορφώνονται και οι μεταδιδόμενες πληροφορίες ανακτώνται [8]. Υπάρχει δυνατότητα ο πομπός να εκπέμπει ταυτόχρονα, στον ίδιο χώρο, περισσότερες της μίας φέρουσας συχνότητας, οι οποίες δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους, εφόσον βέβαια αυτές είναι όλες διαφορετικές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για να ανακτήσει τις πληροφορίες ο δέκτης, συντονίζεται (ή επιλέγει) μια ραδιοσυχνότητα, απορρίπτοντας έτσι τα ραδιοσήματα στις υπόλοιπες συχνότητες. Σε μια τυπική διάταξη WLAN, μια συσκευή πομπού/δέκτη, αποκαλούμενη σημείο πρόσβασης, είναι συνδεδεμένη στο ενσύρματο δίκτυο σε συγκεκριμένη θέση, χρησιμοποιώντας συνήθως τυπικό καλώδιο Ethernet. Αυτό το σημείο πρόσβασης λαμβάνει, αποθηκεύει, και διαβιβάζει πληροφορίες μεταξύ του WLAN και του ενσύρματου δικτύου, ενώ μπορεί να υποστηρίξει μια μικρή ομάδα χρηστών και να λειτουργήσει εντός μιας ακτίνας από 30 έως μερικές 100άδες μέτρα. Οι τελικοί χρήστες έχουν πρόσβαση στο WLAN μέσω των ειδικών προσαρμογέων ασύρματου τοπικού δικτύου, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν ως κάρτες στους φορητούς υπολογιστές, κάρτες ISA ή PCI στους υπολογιστές γραφείου, ή ακόμα και να είναι πλήρως ενσωματωμένες συσκευές μέσα στους φορητούς υπολογιστές. Οι προσαρμογείς WLAN αποτελούν τη διεπαφή μεταξύ του λειτουργικού συστήματος των χρηστών του δικτύου και των ραδιοκυμάτων, μέσω μιας κεραίας. Η φύση της ασύρματης σύνδεσης είναι διαφανής (transparent) στο λειτουργικό σύστημα των τερματικών χρηστών.

### **1.5.2 Εξοπλισμός**

Η πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο είναι δυνατή από ένα σύνολο συσκευών συμβατών με τα κατάλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως φορητοί

υπολογιστές (laptops), έξυπνες συσκευές χειρός (handheld pdas, τηλέφωνα κλπ), ασύρματες κάμερες και οθόνες τηλε-προβολής κ.α. Η ευκολία με την οποία μπορεί κανείς να "στήσει" ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, ήταν ένας από τους βασικούς παράγοντες που συνέβαλαν στη ραγδαία εξάπλωση τους. Τα στοιχεία τα οποία χρειάζεται ένα WLAN για να λειτουργήσει, καθώς και για να συνδεθεί στο ευρύτερο δίκτυο, είναι:

- **Προσαρμογείς:** που λειτουργούν ως συνδετικά στοιχεία μεταξύ του τελικού εξοπλισμού του χρήστη και του σημείου ασύρματης πρόσβασης του δικτύου.
- **Σημεία πρόσβασης:** που είναι πομποδέκτες με μία ή δύο κεραίες. Συνδέονται με το ενσύρματο τοπικό δίκτυο (ή με την ευρυζωνική σύνδεση). Μέσω αυτών, επικοινωνεί ο προσαρμογέας του τελικού χρήστη με το υπόλοιπο δίκτυο.
- **Γέφυρες:** Παρέχουν την από σημείο σε σημείο ασύρματη σύνδεση μεταξύ δύο WLANs, όπως μεταξύ δύο ορόφων.
- **Κόμβοι Διανομής:** Συγκεντρώνουν και συνδέουν πολλαπλά σημεία ασύρματης πρόσβασης με το ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο κορμού.
- **Κόμβοι κορμού:** Διασυνδέουν τους κόμβους διανομής. Καλύπτουν πολλούς χρήστες, λόγω του μεγάλου αριθμού των σημείων πρόσβασης που είναι συνδεδεμένα μέσω των κόμβων διανομής με αυτά. Σχεδόν πάντα επικοινωνούν μεταξύ τους, με περισσότερες από μία συνδέσεις, για να μειωθούν περιπτώσεις απώλειας επαφής.

Με τον τρόπο αυτό, και χωρίς τη χρήση καλωδίων, επιτυγχάνεται η διασύνδεση όλων των υπολογιστικών συστημάτων του χώρου. Για την επέκταση του δικτύου απαιτείται απλά η εγκατάσταση ενός επιπλέον σημείου ασύρματης πρόσβασης. Ένα δίκτυο WLAN υλοποιείται ως εξής: Πολυκατευθυντικές κεραίες τοποθετούνται σε σημεία πρόσβασης ή σε κόμβους διανομής / κορμού, ενώ κατευθυντικές στους τελικούς χρήστες. Οι κεραίες αυτές είναι εξωτερικές και συνήθως βρίσκονται στις κορυφές κτιρίων στο κέντρο της περιοχής χρήσης. Ένας απλός χρήστης που θέλει μόνο να συνδεθεί, αλλά να μη διευκολύνει την ευρύτερη δικτύωση, χρειάζεται μία κατευθυντική κεραία. Με αυτή, μπορεί να

εξασφαλίσει πρόσβαση από ένα σημείο πρόσβασης, ώστε να έχει σύνδεση στο τοπικό δίκτυο και ενδεχομένως και στο διαδίκτυο (αν το σημείο πρόσβασης παρέχει τέτοια δυνατότητα). Ένας πιο ενεργός χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί δύο κατευθυντικές κεραίες, ώστε να φροντίζει για τη συνέχιση του δικτύου ή και μια πολυκατευθυντική για να λειτουργεί ο ίδιος σαν σημείο πρόσβασης άλλων χρηστών. Αν κάποιος κόμβος έχει πάνω από δύο κατευθυντικές κεραίες, μπορεί να διευκολύνει και την πολλαπλή δρομολόγηση. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί ένα δίκτυο που να καλύπτει μία πύλη. Τέλος, συνδέοντας ο χρήστης μία δική του γραμμή DSL με το WLAN, θα μπορούσε να γίνει "πύλη" για το Διαδίκτυο και να επιτρέπει την πρόσβαση γειτονικών χρηστών σε αυτό.

### **1.5.3 Ακτίνα κάλυψης και επιδόσεις ασύρματων τοπικών δικτύων**

Η ταχύτητα ενός WLAN εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, από την αποδοτικότητα του ενσύρματου δικτύου που συνδέει τα σημεία πρόσβασης, μέχρι τη δομή του κτιρίου που έχει εγκατασταθεί και τον τύπο του WLAN που χρησιμοποιείται. Κατά γενικό κανόνα για όλα τα WLANs, η ταχύτητα μειώνεται με την αύξηση της απόστασης μεταξύ του σημείου πρόσβασης του ασύρματου δικτύου και των χρηστών. Τα πρότυπα 802.11 υποστηρίζουν διάφορους ρυθμούς μετάδοσης, προκειμένου να προσαρμόζονται στην απώλεια ισχύος των σημάτων και να διατηρούν υψηλή την ποιότητα συναρμολόγησης των πακέτων δεδομένων. Ο χρήστης του WLAN εκτελεί συνεχώς διαδικασίες που ανιχνεύουν και θέτουν αυτόματα την καλύτερη δυνατή ταχύτητα. Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν τα πρότυπα 802.11b και 802.11g, τους επιτρέπουν να διεισδύουν σε στερεά υλικά και να έχουν έτσι μια ακτίνα κάλυψης της τάξης των 100 μ. Το πρότυπο 802.11a παρουσιάζει μια πιο απότομη πτώση στην ταχύτητα καθώς η απόσταση αυξάνεται από το σημείο πρόσβασης, και επιδεικνύει έτσι μια ακτίνα κάλυψης της τάξης των 50 μ στα περισσότερα εσωτερικά περιβάλλοντα.



## 1.6 Κατηγορίες Δικτύων

### 1.6.1 Δίκτυο HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access (Πρόσβαση υψηλής ταχύτητας λήψης πακέτων)

Πρόκειται για πρωτόκολλο τηλεπικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας, επιπέδου εξελιγμένου 3G (τρίτης γενιάς), που ανήκει στην οικογένεια των πρωτοκόλλων High Speed Packet Access (HSPA – χρησιμοποιούνται επίσης στα δίκτυα 3.5G, 3G+ or turbo 3G) και το οποίο επιτρέπει σε δίκτυα βασισμένα στο Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), να επιτυγχάνουν υψηλότερες ταχύτητες αλλά και χωρητικότητες μετάδοσης δεδομένων. Οι υπάρχουσες διαμορφώσεις HSDPA, υποστηρίζουν ταχύτητες λήψης 1.8, 3.6, 7.2 και 14.4 Megabits/sec. Περαιτέρω αύξηση ταχύτητας είναι διαθέσιμη με τη χρήση HSPA+, που υποστηρίζει ταχύτητες λήψης έως και 42 Mbit/s και έως 84 Mbit/s με την έκδοση 9 των 3GPP standards [9].

### 1.6.2 Δίκτυο WiMAX

WiMAX, αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης η οποία λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια (Σχήμα 1). Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω [10].

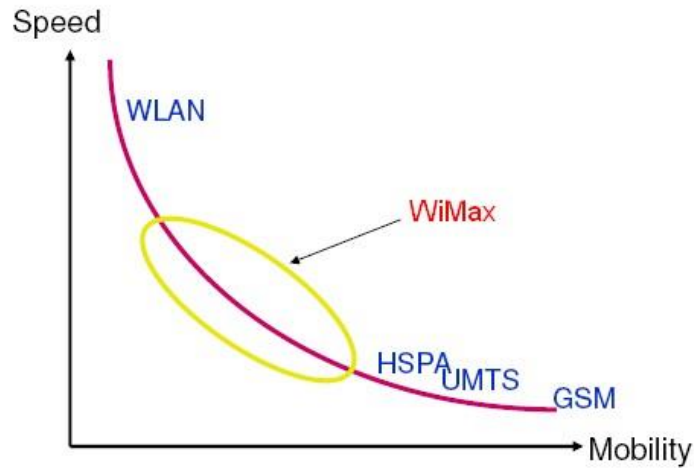
Μέχρι σήμερα το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο Ιντερνέτ σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots), όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρείες παροχής Ιντερνέτ (ISP).

Το WiMAX θα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο Ιντερνέτ σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο

στην εγκατάσταση. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX η οποία θα του επιτρέψει να χρησιμοποιήσει από τον οικιακό του χώρο (και όχι μόνο) τις ασύρματες υπηρεσίες που παρέχουν οι ISP.

Το WiMAX έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων:

- Ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας, αυξάνοντας τον ανταγωνισμό.
- Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.
- Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλούπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια.
- Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.



Σχήμα 1: Καμπύλη ταχύτητας ως προς κινητικότητα για τα πιο διαδεδομένα ασύρματα δίκτυα

Όμως έχει και κάποιους περιορισμούς:

Μία από τις κοινές παρανοήσεις που πιθανώς συμβαίνουν στο WiMAX είναι το ότι πρόκειται να αποδίδει ταχύτητα της τάξεως των 70 Mbit/s σε απόσταση 48 χιλιομέτρων. Το παραπάνω είναι αληθές αλλά σε ιδανικές συνθήκες, συνεπώς στις περισσότερες περιπτώσεις δεν θα υφίστανται τέτοιου μεγέθους ταχύτητες σε τέτοιες αποστάσεις. Πρακτικά, σε περιβάλλοντα όπως είναι οι επαρχιακές περιοχές όπου οι κεραιές μετάδοσης θα έχουν οπτική επαφή και θα απέχουν μεταξύ τους 10 χιλιόμετρα θα αγγίζουν ταχύτητες της τάξης των 10 Mbit/s. Σε αστικά όμως περιβάλλοντα πιθανώς το 30% των κεραιών μετάδοσης να μην έχουν οπτική επαφή και συνεπώς οι χρήστες θα αγγίζουν ταχύτητες της τάξεως των 10 Mbit/s σε απόσταση 2 χιλιομέτρων. Άλλο ένα εξέχον θέμα για τις αδυναμίες του WiMAX είναι το ότι οι χρήστες στους διάφορους οριοθετημένους τομείς που θα βρίσκονται πρόκειται να μοιράζονται το bandwidth. Συνεπώς αναλόγως με την απασχόληση του δικτύου στους διάφορους τομείς θα εξαρτάται και η ανάλογη απόδοση. Τυπικά η κάθε κυψέλη θα μπορεί να παρέχει 100 Mbit/s backhaul. Οπότε αρκετοί χρήστες θα έχουν ένα εύρος υπηρεσιών 2, 4, 6, 8 ή 10 Mbit/s ούτως ώστε να μπορεί να διαμοιράζεται το φάσμα συχνοτήτων. Το παραπάνω μοντέλο μοιάζει αρκετά με αυτό του δικτύου GSM και του UMTS.

# Κεφάλαιο 2

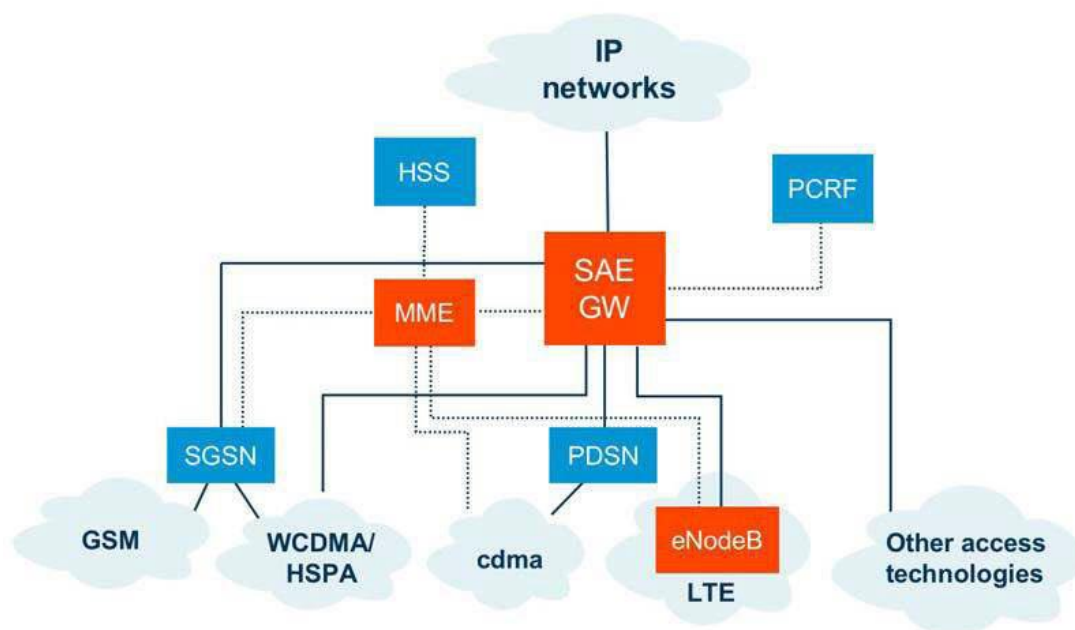
## **LTE**

### **2.1 Στόχοι-Πλεονεκτήματα**

Στο πλαίσιο μόνο μιας δεκαετίας η βιομηχανία κινητών τηλεπικοινωνιών επανεξέτασε αναγκαστικά την αρχιτεκτονική του δικτύου πρόσβασης και των γενικών υποδομών των δικτύων 3G λόγω των αλλαγών των χαρακτηριστικών της αγοράς, όπου οι προσδοκίες των χρηστών αυξάνονται συνεχώς κυρίως λόγω διαφόρων προκλήσεων όπως οι σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες (dsl, fibre κλπ.) και η εισαγωγή υπηρεσιών χαμηλής ή μηδενικής χρέωσης όπως skype video, web tv, voip κλπ.

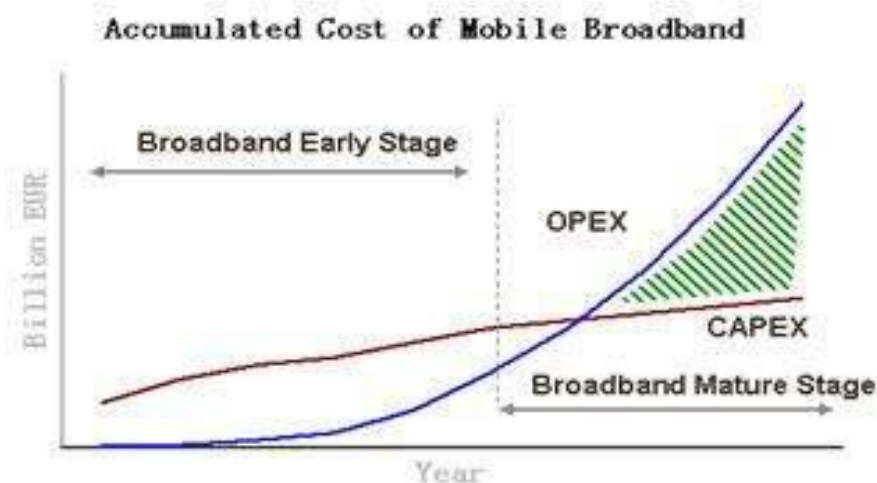
Το LTE στοχεύει στην εκπλήρωση των απαιτήσεων των δικτύων επόμενης γενεάς και συμπεριλαμβάνει μέγιστες downlink ταχύτητες (peak rates) των 100Mbps, 50 Mbps στο uplink και roundtrip χρόνου - στο δίκτυο πρόσβασης- λιγότερο των 10ms (RAN). Υποστηρίζονται επίσης φέρουσες με εύκαμπτο εύρος ζώνης (flexible carrier bandwidths) μεταξύ 1.4MHz έως και 20MHz καθώς επίσης και η αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας FDD όπως και η αμφίδρομη διαίρεση χρόνου TDD [1].

Οι στόχοι της αρχιτεκτονικής LTE περιλαμβάνουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας του φάσματος, καθώς χαμηλώνει τις δαπάνες και βελτιώνει τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το νέο ή refarmed φάσμα, και διευκολύνει την ενσωμάτωση με άλλα ανοικτά πρότυπα.



Σχήμα 2: LTE σε επίπεδο λογικών κόμβων

Τα κύρια πλεονεκτήματα του LTE είναι υψηλή διέλευση, χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση, plug and play (αυτορυθμιζόμενοι πυρήνες και αυτορυθμιζόμενες άκρες δικτύου), FDD/TDD στην ίδια πλατφόρμα, εξαιρετική εμπειρία για τον χρήστη και απλή αρχιτεκτονική με αποτέλεσμα τις χαμηλές λειτουργικές δαπάνες (OPEX) (Σχήμα 3), [1].



Σχήμα 3: Συνολικό κόστος κινητής ευρυζωνικότητας

Οι προδιαγραφές τονίζουν την «διασύνδετηκότητα» (backward compatibility) με δίκτυα προηγούμενων γενεών όπως το GSM, CDMA και WCDMA. Εντούτοις η δομή του LTE αποτελείται από καινούργιες αρχιτεκτονικές/τεχνολογίες RAN και core δικτύου μη συμβατές με τις προηγούμενες τεχνολογίες και εκδόσεις των συστημάτων UMTS [1].

Τα πρότυπα περιλαμβάνουν:

- Peak download rates των 326,4 Mbps για 4x4 MIMO, 172,8 Mbps για 2x2 MIMO για κάθε 20 MHz φάσματος.
- Peak upload rates των 86,4 Mbps για κάθε 20 MHz φάσματος.
- 5 διαφορετικές κατηγορίες τερματικών οι οποίες έχουν καθοριστεί αφ ενός ως voice centric με επίκεντρο τη φωνή, και αφ ετέρου ως data centric με την δυνατότητα να χειρίζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες.

- Όλα τα τερματικά θα είναι σε θέση να επεξεργαστούν το εύρος ζώνης των 20 MHz.
- Τουλάχιστον 200 ενεργοί χρήστες σε κάθε κυψέλη των 5 MHz (δηλ., 200 ενεργοί data χρήστες)
- Latency λιγότερο των 5ms για πακέτα μικρού μεγέθους.
- Αυξανόμενη ευελιξία φάσματος, με φέτες φάσματος πχ. των 1,5 MHz (έως και 20 MHz). Οι αναγνώστες θα σημειώσουν ότι η περίπτωση του WCDMA απαιτεί φέτες των 5 MHz, που οδηγούν σε προβλήματα με roll outs σε χώρες 19 όπου τα 5 MHz χρησιμοποιούνται από τα υπάρχοντα 2G δίκτυα δηλαδή του GSM και το cdmaOne.
- Ο περιορισμός των μεγεθών σε 5 MHz περιορίζει επίσης το εύρος ζώνης ανά κινητό.
- Βέλτιστο μέγεθος κυψελών των 5 χλμ έως και 30 χλμ με καλή απόδοση, και μέχρι 100 χλμ με ικανοποιητική απόδοση .
- Συνλειτουργία με παραδοσιακά (legacy) δίκτυα GSM /GPRS ή WCDMA.
- Υποστήριξη MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network) δηλαδή υποστήριξη κινητής τηλεόρασης και υπηρεσίες παρόμοιες του DVB-h.

Η αρχιτεκτονική θέτει ως κύριο στόχο την απλοποίηση του δικτύου καθώς μεταμορφώνει το σημερινό υβριδικό circuit switched/packet switched 3G δίκτυο, σε ένα ομογενές IP επίπεδο σύστημα αρχιτεκτονικής.

Όσον αφορά τους operators, η αρχιτεκτονική επιτρέπει την προσφορά συνδυασμένων εφαρμογών (πχ. φωνή, βίντεο και data μέσω IMS) με γρήγορο χρόνο παράδοσης ,καλύτερα ελεγχόμενες και μειωμένες δαπάνες, συν απλουστευμένη αλληλεπίδραση με σταθερά (συν περιβαλλοντικά) και ασύρματα δίκτυα.

Με τη δημιουργία των νέων υπηρεσιών προστιθεμένης αξίας, το LTE υπόσχεται μακροπρόθεσμο εισόδημα, σταθερότητα και ανάπτυξη για τους operators κινητής τηλεφωνίας οι οποίοι είναι ήδη μέλη της οικογένειας UMTS/HSPA. Εξίσου σημαντικό, παρέχει ισχυρό εργαλείο για την προσέλκυση πελατών προσφέροντας μια ακόμα επιλογή για ασύρματη κινητή επικοινωνία ευρείας ζώνης.

Με βάση των προτύπων της οικογένειας UMTS/HSPA, το LTE θα ενισχύσει τα χαρακτηριστικά των κυψελωτών δικτύων ικανοποιώντας τις ανάγκες των ιδιαίτερος απαιτητικών πελατών που είναι ήδη εξοικειωμένοι με τις σταθερές υπηρεσίες ευρείας ζώνης. Υπό αυτήν τη μορφή, ενοποιεί το voice centric περιβάλλον των σημερινών κινητών δικτύων με τον data centric environment του σταθερού διαδικτύου.

Ένας άλλος βασικός στόχος του προγράμματος είναι η αρμονική συνύπαρξη των συστημάτων LTE παράλληλα με τα legacy circuit switched κλασικά δίκτυα φωνής. Αυτό θα επιτρέψει στους operators να διατηρήσουν την παρούσα κερδοφορία που τους προσφέρουν οι υπηρεσίες φωνής, και να επωφεληθούν από την αυξημένη απόδοση της αρχιτεκτονικής LTE. Η 3GPP είχε προτείνει την μετάβαση του δικτύου σε IP από την έκδοση 4 γνωρίζοντας από τότε ότι αυτό θα γινόταν το προεξέχον χαρακτηριστικό των επερχόμενων 3G δικτύων και τελικά του Long Term Evolution.

Η έννοια του LTE σε σχέση με τα σημερινά 3G πρότυπα συζητήθηκε λεπτομερώς το 2004 στο Τορόντο<sup>10</sup> όταν εξετάστηκε η μελλοντική εξέλιξη του 3G/RAN δικτύου και όπου κατατεθήκανε προτάσεις και συνεισφορές από περισσότερους από 40 operators, κατασκευαστές και ερευνητικά ιδρύματα (και της 3GPP ως μη μέλος). Οι συνεισφέροντες εκφράσανε μια σειρά απόψεων με θέμα την εξέλιξη του UTRAN [1].

Το Δεκέμβριο του 2004 η 3GPP προώθησε μελέτη σκοπιμότητας με σκοπό “την ανάπτυξη πλαισίου για την εξέλιξη της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης 3GPP προς βελτιστοποιημένο δίκτυο υψηλών ταχυτήτων”.

Με άλλα λόγια, η μελέτη θα χάραζε τις προδιαγραφές για ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (RAN) ικανό να υποστηρίξει την διαδικτυακή εμπειρία χρηστών (που απολαμβάνουν ήδη στα σημερινά σταθερά δίκτυα) ασύρματης ευρείας ζώνης, με την προσθήκη της πλήρους κινητικότητας επιτρέποντας έτσι νέες δυνατότητες συναρπαστικών υπηρεσιών. Οι προδιαγραφές των δικτύων αναρτήθηκαν στη 3GPP έκδοση 8, οι οποίες προδιαγραφές καθορίζουν την τεχνική εξέλιξη των κινητών δικτύων ευρείας ζώνης.

Η έκδοση 8 υιοθετεί αρκετές προδιαγραφές από την έκδοση 7, όπως τις προδιαγραφές για HSPA+, και την ελλείπουσα σύνδεση μεταξύ HSPA και LTE. Το δε HSPA+ (με βάση τις εκδόσεις 7 – 8) επιτρέπει την εισαγωγή ενός



απλούστερου, επίπεδου IP δικτύου παρακάμπτοντας πολλές legacy απαιτήσεις του εξοπλισμού UMTS/HSPA.

Τα σημεία πρόσβασης HSPA + υποστηρίζουν peak data rates των 28 Mbps downlink και 11,5 Mbps uplink με 2x2 MIMO και 16QAM. Επίσης, το peak data rate μπορεί να αυξηθεί έως και 42 Mbps downlink και 23 Mbps uplink χρησιμοποιώντας 2x2MIMO και 64QAM, ένας συνδυασμός που είναι μέρος της έκδοσης 8.

Υπό αυτήν τη μορφή, η πρόσβαση μέσω HSPA + αποτελεί σημαντικό κρίκο της αλυσίδας μεταξύ της ήδη εντυπωσιακής απόδοσης του HSPA (περίπου 14,4 Mbps downlink) και των σημείων πρόσβασης LTE που υπόσχονται ανταπόκριση των 300 Mbps downlink και 75 Mbps uplink (peak rates) για κάθε 20 MHz του ταξινομημένου ζεύγους φάσματος.

## 2.2 Υπηρεσίες LTE

Τα ευρυζωνικά δίκτυα θα αποτελέσουν τα κύρια δίκτυα διαχείρισης κινητών επικοινωνιών του μέλλοντος διότι θα μπορούν να διαχειριστούν τον μεγάλο όγκο των διαθέσιμων εφαρμογών, εφαρμογές όπως το βίντεο που αντιστοιχεί στο 40% της κίνησης των δικτύων και αναμένεται να αυξηθεί. Συνδυάζοντας υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (downlink και uplink), πιο εύκαμπτη, αποδοτική χρήση του φάσματος το LTE ,μπορεί να επιταχύνει την πρόσβαση στις κινητές υπηρεσίες ευρείας ζώνης . Επίσης το LTE εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά του σημερινού ιστού 2,0» στο κινητό περιβάλλον όπου μαζί με το ασφαλές ηλεκτρονικό εμπόριο, θα εκταθούν σε πραγματικό χρόνο peer to peer εφαρμογές όπως παιχνίδια πολλαπλών χρηστών και διαχείριση φακέλων. Επιπλέον, πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν machine to machine (M2M) communication [1].

<b>Κατηγορία Υπηρεσίας</b>	<b>Περιβάλλον GSM</b>	<b>Περιβάλλον LTE</b>
Φωνή	Μετάδοση ήχου σε πραγματικό χρόνο	VoIP και τηλεδιάσκεψη
Συναλλαγές Peer to Peer	SMS,MMS και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χαμηλής προτεραιότητας	Συναλλαγές πολυμέσων υψηλής ευκρίνειας και αξιοπιστίας
Browsing	Πρόσβαση σε online πληροφορίες μέσω GPRS και 3G WAP	Ταχύτατο browsing με υπερταχείες μεταφορτώσεις σε και από ιστούς κοινωνικών δικτύων.
Πληρωτέες υπηρεσίες Περιεχομένου	Κανονικό περιεχόμενο με πάνω από κανονικές χρεώσεις	E-περιοδικά, audio streaming υψηλής ποιότητας
Προσωπικοποίηση	Ringtones, Screensavers, Ringbacks	Προσωπικοποιημένες ιστοσελίδες και βίντεο
Παιχνίδια	Μεταφορτωμένα και online	Συνεχόμενη online εμπειρία μεταξύ σταθερών και κινητών δικτύων
TV/Video on Demand	Μετάδοση μέσω εικονοροών ή μεταφορτωμένο περιεχόμενο	Εικονοροές υψηλής ευκρίνειας και ποιότητας, κινητή on demand τηλεόραση
Μουσική	Μεταφορτωμένα tracks και αναλογική ραδιοφωνική εκπομπή	Υψηλής ποιότητας downloading και αποθήκευση
M commerce	Ποσοστό σε εμπορικές συναλλαγές και τζόγο, μέσω μηχανισμών που λειτουργού πάνω από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας	Τα τερματικά λειτουργούν ως μηχανισμοί πληρωμής, και οι συναλλαγές εκτελούνται με αξιοπιστία

		και εντυπωσιακή ταχύτητα
Συναλλαγές περιεχομένου και cross media	Πρόσβαση σε intranets και βάσεις δεδομένων, χρήση εφαρμογών τύπου CRM	P2P file transfer, χρήση επιχειρησιακών εφαρμογών με sharing, M2M επικοινωνίες, δυνατότητα κινητού intra/extranet

Πίνακας 1: Σύγκριση υπηρεσιών GSM και LTE

## 2.3 Αρχιτεκτονική LTE

### 2.3.1 Εξελιγμένος πυρήνας πακέτου

Ο εξελιγμένος πυρήνας πακέτου αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **MME**

Ο MME (Mobility Management Entity) ή αλλιώς βασικός κόμβος ελέγχου είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των τεματικών του κάθε χρήστη . *MME (Mobility Management Entity)* : Ο βασικός κόμβος ελέγχου για πρόσβαση στο δίκτυο LTE. Είναι αρμόδιος για την παρακολούθηση της κατάστασης του UE (τεματικά χρηστών), tracking χρηστών και διαδικασία paging (τηλεειδοποίησης) συμπεριλαμβάνοντας και τις αναμεταδώσεις. Εμπλέκεται επίσης στη διαδικασία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης φερουσών όπως και στην επιλογή του SGW ανά UE , και στην διαδικασία του Inter-LTE handover (μεταπομπών μεταξύ περιοχών LTE) που περιλαμβάνει τον επανεντοπισμό κόμβων κεντρικών δικτύων (CN). Είναι αρμόδιο για την επικύρωση του χρήστη (αλληλεπίδραση με το HSS). Η σηματοδότηση στρωμάτων μη-πρόσβασης (Non Access Stratum ή NAS) τεματίζει στο MME και είναι επίσης αρμόδιο για την παραγωγή και κατανομή προσωρινών ταυτοτήτων στα UEs. Ελέγχει την έγκριση της δικτυακής σύνδεσης του UE στο PLMN και επιβάλλει τους περιορισμούς περιαγωγής[1] .

- **S-GW (Serving Gateway)**

Δρομολογεί τα πακέτα των χρηστών για τα τεματικά επίσης ενεργώντας ως mobility anchor για τα τεματικά κατά τα inter-eNB handovers όπως και για

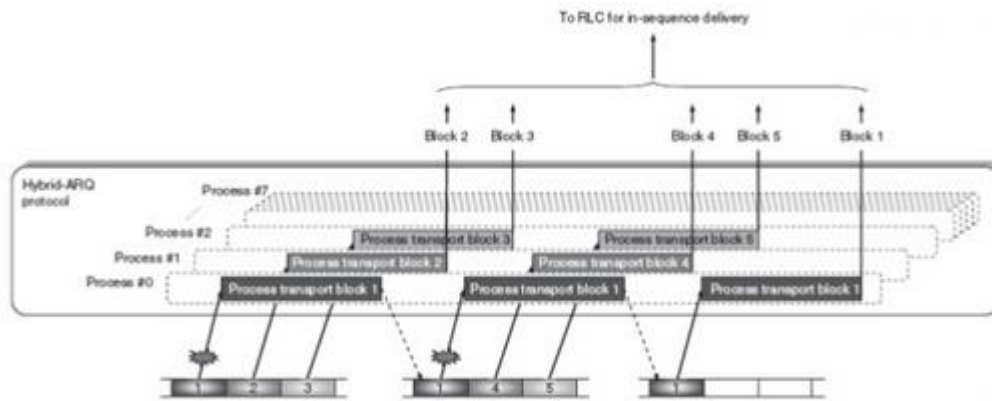
την κινητικότητα μεταξύ LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών/δικτύων. Για τερματικά σε status IDLE, το SGW ολοκληρώνει την διαδικασία συσσώρευσης στοιχείων UE (π.χ. πληροφορίες DL, UE contexts, IP bearer service, network internal routing information ,νόμιμη συνακρόαση) και ενεργοποιεί τη διαδικασία τηλεειδοποίησης.

- **P-GW (PDN gateway):**

Συνδέει τα UE με τα εξωτερικά δίκτυα και είναι υπεύθυνο για τη διακίνηση των δεδομένων και λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την διακίνηση δεδομένων προς/από το UE. Το κάθε UE μπορεί να αξιοποιήσει την ταυτόχρονη συνδετικότητα με περισσότερα από ένα PDN GW για την πρόσβαση πολλαπλών PDNs. Το PDN GW εκτελεί policy enforcement, το φιλτράρισμα πακέτων για κάθε χρήστη, την υποστήριξη χρέωσης, νόμιμη συνακρόαση, και επιλογή πακέτων. Λειτουργεί ως anchor για την κινητικότητα μεταξύ 3GPP και μη- 3GPP τεχνολογίες όπως WiMAX και 3GPP2 (CDMA 1X και EvDO).

### **2.3.2 Το πρωτόκολλο HARQ**

Η λειτουργία του hybrid ARQ (Εικόνα 4), βασίζεται στην αρχή της κατερχόμενης ζεύξης σε asynchronous protocol αρά οι αναμεταδόσεις πραγματοποιούνται σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μετά την αρχική μετάδοση με ρητή αρίθμηση των διαδικασιών. Η μεταδόσεις της ανερχόμενης ζεύξης βασίζονται σε synchronous protocol και η αναμεταδόσεις πραγματοποιούνται συντονισμένα σε προκαθορισμένη χρονική στιγμή ακολουθώντας την αρχική μετάδοση και τον αριθμό διαδικασίας. Η επίκληση πολλαπλών διαδικασιών hybrid-ARQ ανά χρήστη οδηγεί συχνά στην λήψη δεδομένων εκτός συνόδου υπονοώντας κάποιες διαδικασίες αναρίθμησης των δεδομένων μετά από την επιτυχημένη αποκωδικοποίηση. Ο μηχανισμός του υβριδικού ARQ έχει σχεδιαστεί με βάση την αυτόματη διόρθωση λαθών θορύβου, ή απρόβλεπτες παραλλαγές καναλιών.



Εικόνα 4: Λειτουργία του Πρωτοκόλλου HARQ

Το σύστημα ελέγχου ασύρματης σύνδεσης ή RLC παρέχει επίσης τις υπηρεσίες αναμετάδοσης δεδομένων, αναγκάει σε περιπτώσεις αποτυχίας της μεταφοράς δεδομένων του μηχανισμού MAC hybrid ARQ στις περιπτώσεις πχ σηματοδότησης λανθασμένης ανάδρασης όπου το υβριδικό – ARQ αποτυχαίνει περιστασιακά να παραδώσει δεδομένα χωρίς σφάλματα στο RLC προκαλώντας χάσμα στην σειρά των μπλοκ δεδομένων.

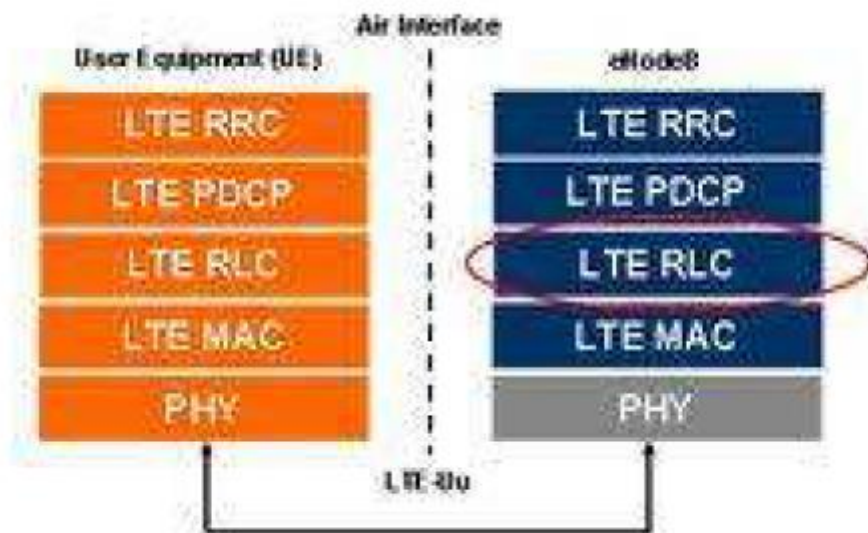
Τέλος, οι μηχανισμοί RLC και hybrid ARQ τοποθετούνται εντός του eNodeB εξασφαλίζοντας ταχύτατη αλληλεπίδραση όπως στις περιπτώσεις ανίχνευσης αδιόρθωτου λάθους, με την άμεση παρέμβαση του RLC (RLC status report) και την αναμετάδοση των σχετικών PDUs. Από την άλλη οπτική γωνία, ο συνδυασμός hybrid ARQ και RLC μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ενιαίος μηχανισμός αναμετάδοσης με διπλό μηχανισμό ανάδρασης καταστάσεων.

### 2.3.3 Στρώματα πρόσβασης

Βασικό συστατικό του δικτύου πρόσβασης της τεχνολογίας LTE είναι ο τύπος κόμβου eNodeB. Τα πακέτα τα οποία μεταδίδονται από το κανάλι downlink, δέχονται μετατροπές από συγκεκριμένη ομάδα πρωτοκόλλων που είναι η εξής[1]:

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol) που συμπιέζει το πακέτο μειώνοντας έτσι το μέγεθος του, κωδικοποίηση του πομπού και αποκωδικοποίηση του δέκτη για προστασία της ακεραιότητας των δεδομένων.

- RLC (Radio Link Control) που γίνεται στον nodeB και παρέχει τμηματοποίηση, συνένωση και αναμεταδώσεις στα ανώτερα στρώματα.
- MAC (Medium Access Control) που είναι υπεύθυνο για τις αναμεταδώσεις ARQ αλλά και το χρονοπρογραμματισμό των ζεύξεων ανόδου και καθόδου.
- PHY (Physical Layer) το οποίο είναι υπεύθυνο για εφαρμογές του φυσικού στρώματος όπως κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση, διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση αλλά και την τοπογράφηση πολλαπλών κεραιών.



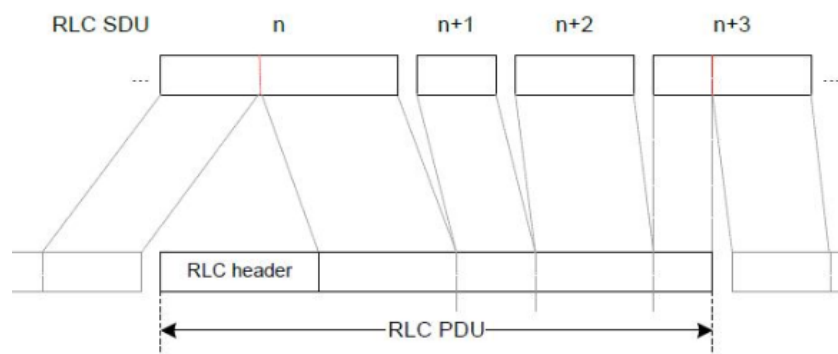
Εικόνα 5: Τα διάφορα στρώματα πρόσβασης και η αρχιτεκτονική τους

### 2.3.3.1 RLC

Ο RLC είναι υπεύθυνος για τον διαχωρισμό των πακέτων IP σε μικρότερα και χειρίζεται την αναμετάδοση των πακέτων στα οποία υπάρχει σφάλμα αλλά και φροντίζει να παραδοθούν με την σωστή σειρά .για να επιτευχθούν αυτά θα πρέπει να συνεργαστούν οι οντότητες και από τις δύο πλευρές δηλαδή από την πλευρά του δέκτη και την πλευρά του πομπού. Ο RLC του δέκτη ελέγχει τις ακολουθίες που εισέρχονται με βάση τον αριθμό της κάθε ακολουθίας και ενημερώνει το πομπό. Σε περίπτωση σφάλματος ο μεταδότης κάνει

αναμετάδοση των χαμένων πακέτων . Η διαδικασία κατά την οποία γίνεται αναμετάδοση των πακέτων ύστερα από ενημέρωση λέγεται Acknowledged Mode (AM). Η λειτουργία του Unacknowledged Mode (UM) είναι ένας τρόπος λειτουργίας RLC κατά τον οποίον υποστηρίζεται η παράδοση των πακέτων στα ανώτερα στρώματα αλλά χωρίς την αναμετάδοση των χαμένων πακέτων και υποστηρίζει υπηρεσίες όπως VoIP κ.α. Υπάρχει επίσης η λειτουργία του Transparent Mode (TM) που υποστηρίζει εφαρμογές όπως οι αιτήσεις πρόσβασης.

Σε περίπτωση μεταδόσεων οι οποίες είναι λανθασμένες λόγω θορύβου, διαχειρίζονται από τον RLC. Επίσης μπορεί να διαχειριστεί την τμηματοποίηση και την συνένωση των συμπυκνωμένων πακέτων (SDUs ), (Σχήμα 4). Τα μεγάλα μεγέθη των πακέτων (PDUs) απαιτούν υψηλές ταχύτητες δεδομένων . Η αποστολή τέτοιων πακέτων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μηχανισμών RLS στον κόμβο eNodeB έτσι ώστε να είναι διαχειρίσιμο ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων διάδοσης.

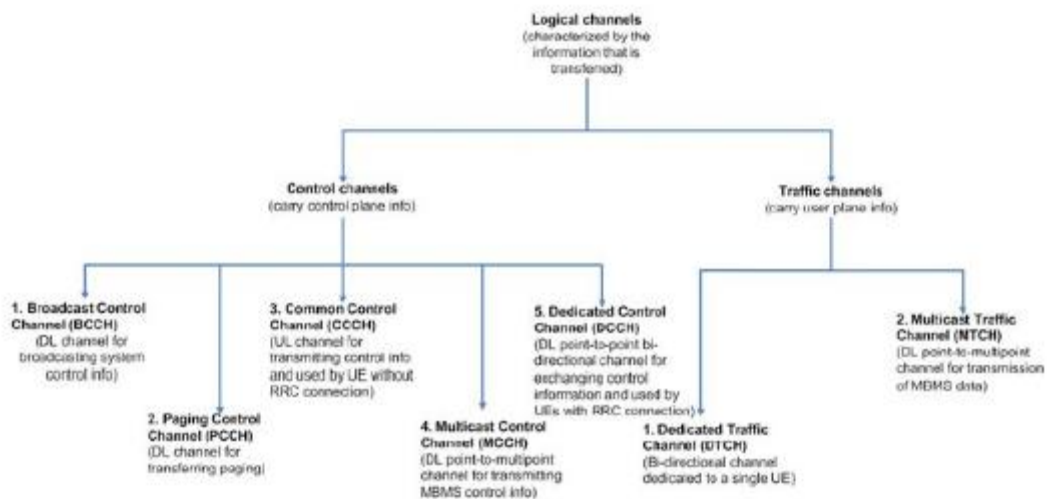


Σχήμα 4: Τμηματοποίηση των συμπυκνωμένων πακέτων SDU

### 2.3.3.2 MAC (Medium Access Control)

Όπως προαναφέρθηκε το MAC είναι υπεύθυνο για τον χρονοπρογραμματισμό των ζεύξεων ανόδου και καθόδου. Οι υπηρεσίες παρέχονται με την χρήση των λογικών καναλιών (*logical channels*). Με βάση το είδος της πληροφορίας προκύπτουν τα εξής είδη καναλιών:

- BCCH (Broadcast Control Channel) το οποίο μεταδίδει την πληροφορία σε όλους τους δέκτες της ίδιας κυψέλης.
- PCCH (Paging Control Channel) χρησιμοποιείται για την τηλεειδοποίηση των δεκτών της ίδιας κυψέλης.
- CCCH (Common Control Channel) θα χρησιμοποιηθεί στη περίπτωση που δεν υπάρχει καμία RRC σύνδεση με το δίκτυο.
- DCCH (Dedicated Control Channel) για μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου από αλλά και προς το κινητό.
- MTCH (Multicast Traffic Channel) για τη μετάδοση υπηρεσιών MBMS
- MCCH (Multicast Control Channel) για τον έλεγχο της μετάδοσης MTCH
- DTCH (Dedicated Traffic Channel) για την μετάδοση των δεδομένων των χρηστών από και προς το τερματικό.



Σχήμα 5: Λογικά Κανάλια



### 2.3.3.3 PHY (Physical Layer)

Το φυσικό στρώμα είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των πολλαπλών κεραιών αλλά και των HARQ. Αυτό επιτυγχάνεται με τα κανάλια μεταφοράς που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που διαδίδονται.

## 2.4 OFDMA

Το UTRA είναι η διεπαφή αέρα (air interface) που χρησιμοποιούν τα LTE. Πρόκειται για την εξέλιξη των UMTS τεχνολογιών, χρησιμοποιεί την ορθογονική πολλαπλή διαίρεση συχνότητας (OFDMA) για την downlink σύνδεση δηλαδή, την σύνδεση από τον σταθμό βάσης προς το κινητό και FDMA (SC-FDMA) Για το uplink την σύνδεση από το κινητό προς τον σταθμό βάσης. Επίσης χρησιμοποιεί το σύστημα πολλαπλών κεραιών MIMO μέχρι και τέσσερις κεραιές ανά σταθμό.

Τα πλεονεκτήματα από την χρήση OFDMA είναι τα εξής:

- Δυνατότητα επέκτασης σε διάφορες ζώνες συχνότητας χωρίς την απαιτείται μεγάλη τροποποίηση στο πρωτόκολλο πρόσβασης.
- Υπολογισμός του μέσου όρου των παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες.
- Σε περιοχές που η κάλυψη είναι προβληματική έχει την δυνατότητα για ενιαία κάλυψη.
- Υποστηρίζει την προσαρμοστική κατανομή των φερόντων (carriers).
- Παρέχει ποικιλία συχνοτήτων σε όλο το φάσμα κατά την διανομή των φερόντων.

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Υψηλή ευαισθησία στο phase noise.
- Οι χρήστες σε μια κυψέλη εκτελούν ταυτόχρονη διακίνηση δεδομένων.
- Η πολυπλοκότητα των στοιχείων οδηγεί σε μη αποδοτική κατανάλωση ενέργειας .
- Η επεξεργασία από γειτονικές κυψέλες σε περίπτωση παρεμβολών είναι πιο σύνθετος από ότι είναι στο CDMA.

## 2.4.1 Uplink/Downlink

### Downlink

Το OFDM στην περίπτωση της downlink σύνδεσης, καλύπτει την απαίτηση του LTE για την ευελιξία φάσματος και επιτρέπει τις οικονομικά αποδοτικές λύσεις για τις ευρυζωνικές φέρουσες με high peak rates.

Στο Uplink, το LTE χρησιμοποιεί μια προ κωδικοποιημένη OFDM έκδοση δηλαδή Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SCFDMA). Το SC-FDMA προσφέρει αντισταθμίσεις σε βασικό μειονέκτημα του OFDM, δηλαδή το αυξημένο Peak to Average Power Ratio (PAPR). Στην περίπτωση υψηλού PAPR αυξάνεται το κόστος λόγω ακριβών ενισχυτών που απαιτούνται αλλά και λόγω ακριβότερων τερματικών, επίσης μειώνει το χρόνο ζωής της μπαταρίας.

Στο φυσικό επίπεδο για το LTE παρέχονται τα εξής κανάλια μεταφοράς:

- BCH (Broadcast Channel) για να μεταδίδει τις πληροφορίες μέσω των BCCH.
- PCH (Paging Channel) για την μετάδοση πληροφοριών τηλεειδοποίησης μέσω του λογικού καναλιού PCCH
- DL-SCH (Downlink Shared Channel) για την μετάδοση των downlink data υποστηρίζοντας το πρωτόκολλο HARQ το οποίο επιτρέπει την συνεχή μετάδοση
- MCH (Multicast Channel) για την πολυεκπομπή σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης της κυψέλης.

### Uplink

Η διαμόρφωση στο uplink συμπεριλαμβάνει QPSK, 16QAM και 64QAM. Εάν χρησιμοποιηθεί εικονικό MIMO/Spatial Division Multiplex Access (SDMA) το data rate στο uplink μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με τον αριθμό κεραιών στο σταθμό βάσεως. Με αυτό το τρόπο περισσότερα κινητά έχουν την δυνατότητα να επαναχρησιμοποιήσουν τους ίδιους πόρους.

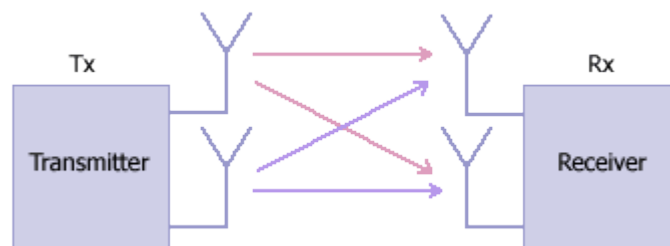
Τα αντίστοιχα κανάλια μεταφοράς στο φυσικό επίπεδο είναι τα εξής:

- UL-SCH (Uplink Shared Channel) το αντίστοιχο του DL-SCH αλλά στην ζεύξη ανόδου.

- RACH (Random Access Channel) για την απόκτηση χρονικού συγχρονισμού και για τη μεταφορά της πληροφορίας για τις σχεδιασμένες μεταβιβάσεις.

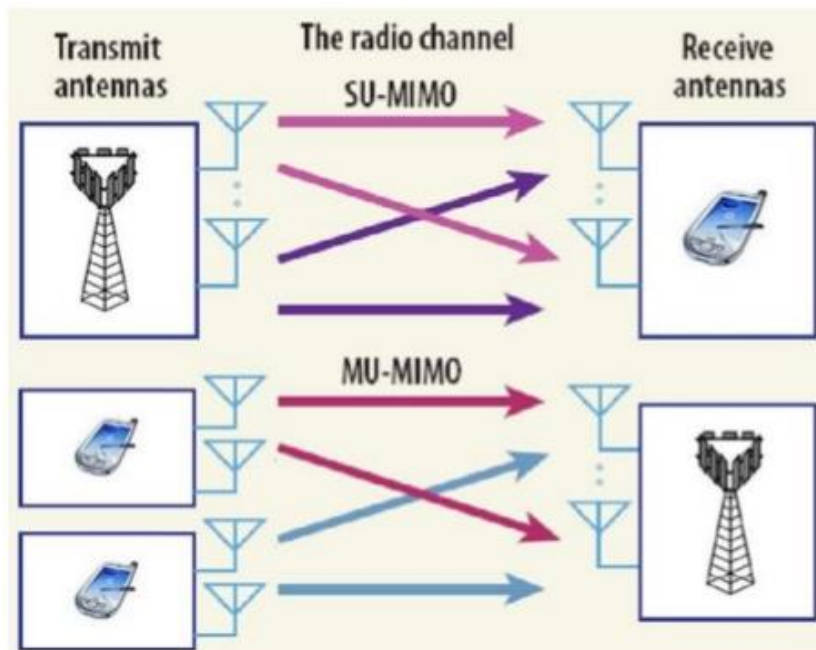
## 2.5 Συστήματα MIMO

Τα δίκτυα LTE και τα συστήματα MIMO είναι άρρηκτα συνδεδεμένα. Τα συστήματα MIMO στη ζεύξη καθόδου (downlink) παρέχουν υψηλές ταχύτητες αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων χρησιμοποιώντας δύο κεραίες στην πλευρά του πομπού και δύο κεραίες στη πλευρά του δέκτη [3].



Εικόνα 6: Τοπογραφία 2x2 κεραιών

Η περίπτωση (SU-MIMO) ισχύει όταν τα ρεύματα δεδομένων ανήκουν σε ένα μοναδικό χρήστη ενώ η περίπτωση (MU-MIMO) όταν τα ρεύματα δεδομένων ανήκουν σε πολλούς χρήστες. Στην περίπτωση SU-MIMO έχουμε την ανάπτυξη υψηλών αριθμών δεδομένων στον χρήστη ενώ στην περίπτωση MU-MIMO βελτιώνεται χωρητικότητα του συγκεκριμένου δικτύου.

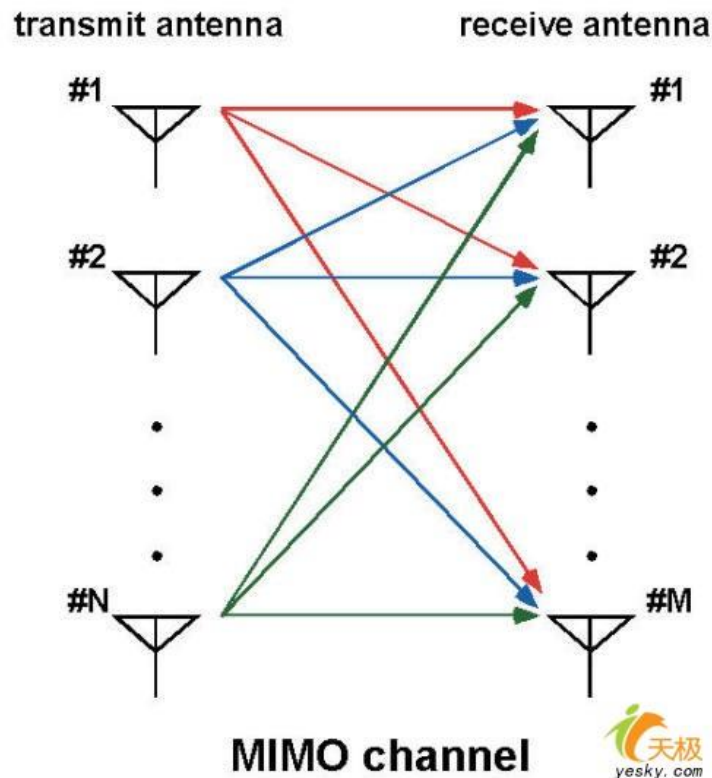


Εικόνα 7: οι περιπτώσεις SU-MIMO, MU-MIMO

### 2.5.1 Χωρική Πολυπλεξία

Στη χωρική πολυπλεξία έχουμε την ταυτόχρονη μετάδοση των διαφορετικών ρευμάτων μέσα από το κοινό μπλοκ πόρων, με εκμετάλλευση του χώρου της ασύρματης σύνδεσης. Επίσης έχουμε την χρήση του πίνακα διαλείψεων για να σταλούν τα δεδομένα από ανεξάρτητα κανάλια [3].

Η κάθε κεραία στη πλευρά του δέκτη δέχεται ρεύματα από όλες τις κεραίες του πομπού.



Εικόνα 8: χωρική πολυπλεξία

Ένα σύστημα επικοινωνίας MIMO με  $N$  κεραίες εκπομπής και  $M$  λήψης απεικονίζεται στο σχήμα. Το διακριτό μοντέλο που περιγράφει ένα τέτοιο σύστημα δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$$

Το  $\mathbf{x}$  είναι το διάνυσμα των συμβόλων που μεταδίδεται από τις  $N$  κεραίες του πομπού, το  $\mathbf{H}$  είναι η μήτρα διαστάσεων  $N \times M$  των συντελεστών του καναλιού, με στοιχεία  $h_{ij}$  τα οποία στην περίπτωση του συστήματος στενού εύρους ζώνης αντιστοιχούν στον μοναδικό συντελεστή της κρουστικής απόκρισης του καναλιού μεταξύ της κεραίας του πομπού  $j$  και της κεραίας του δέκτη  $i$ .

Μπορούμε να διακρίνουμε σε «γνώση του καναλιού στον πομπό» (channel side information at the transmitter – CSIT) και «γνώση του καναλιού στο δέκτη» (channel side information at the receiver – CSIR), αντιστοίχως.

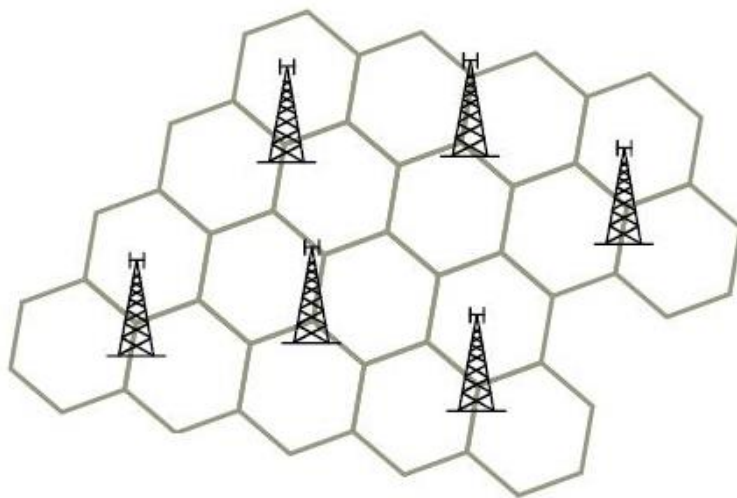
Σχετικά με τη ζεύξη ανόδου (uplink) η λειτουργία MIMO λαμβάνει υπόψη της την πολυπλοκότητα του τερματικού. Το κύριο πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι απαιτείται μόνο μια κεραία για την μετάδοσης και τα τερματικά μοιράζονται το ίδιο μπλοκ πόρων.

# Κεφάλαιο 3

## Κυτταρική Κάλυψη

### 3.1 Σχεδίαση

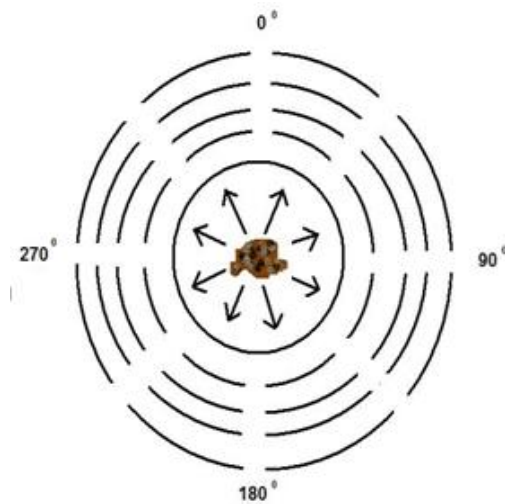
Ένα ράδιο - δίκτυο βασίζεται στην κυτταρική κάλυψη ή στην κάλυψη των κυψελών. Η κυψέλη (Εικόνα 9), είναι μια περιοχή η οποία μπορεί να καλυφθεί από την ακτινοβολία που εκπέμπει μια κεραία του σταθμού βάσης. Η κεραία εκπέμπει ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας η οποία όμως μπορεί να περιοριστεί από φυσικά εμπόδια όπως λόφοι, δένδρα και κτήρια. Επομένως, η μορφή της κυψέλης δεν είναι ποτέ κάποιο γνωστό συγκεκριμένο σχήμα αφού εξαρτάται από την τοπολογία του εδάφους. Παρόλα αυτά ο σχεδιασμός τους γίνεται χρησιμοποιώντας σχήματα όπως κύκλους τετράγωνα εξάγωνα λόγω του ότι είναι εύχρηστες στον σχεδιασμό και τη μελέτη τους. Το ιδανικότερο σχήμα που χρησιμοποιείτε στον σχεδιασμό είναι το κανονικό εξάγων διότι μπορεί να καλύπτει τέλεια μια επιφάνεια δηλαδή δεν υπάρχουν κενές περιοχές επικάλυψης [2].



Εικόνα 9: Θεωρητική μοντελοποίηση ενός δικτύου

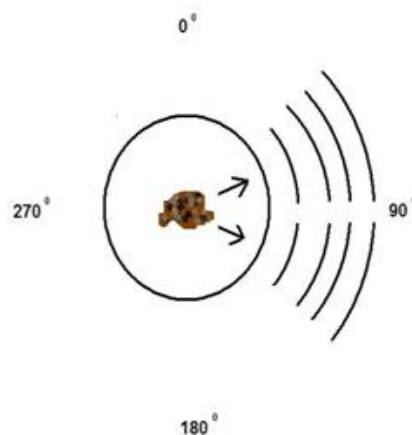
Η εκπεμπόμενη από τις κεραιές ακτινοβολία θα πρέπει να καλύπτει όλο το εμβαδόν του κυττάρου. Υπάρχουν δύο είδη κεραιών που χρησιμοποιούνται είναι οι κατευθυντικές (directional antennae) και οι πανκατευθυντικές (omni-directional antennae).

- Omni-directional cell (Εικόνα 10): η κεραιά του σταθμού βάσης εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις (κάλυψη  $360^{\circ}$  μοιρών) με την ίδια ισχύ.



Εικόνα 10: Omni-directional

- Directional sector cell (Εικόνα 11): κατευθυντική κεραιά με ένα κύτταρο η οποία εκπέμπει προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση και καλύπτει ένα εύρος λοβού  $120^{\circ}$  ή  $60^{\circ}$ .



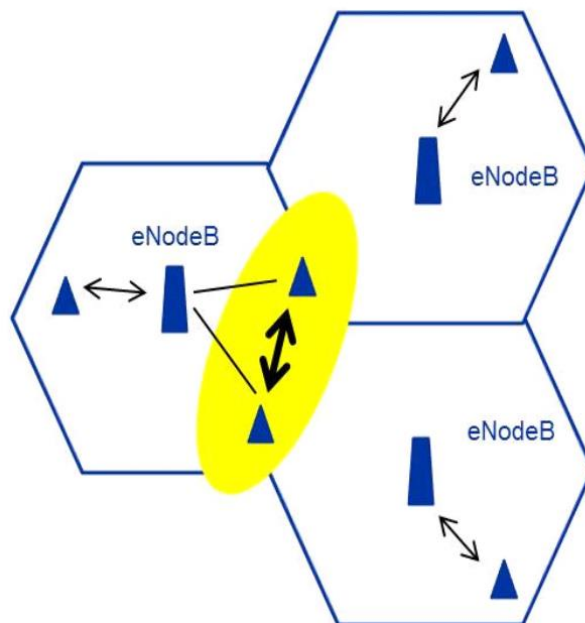
Εικόνα 11: Directional



## 3.2 Χωρητικότητα Κυττάρου

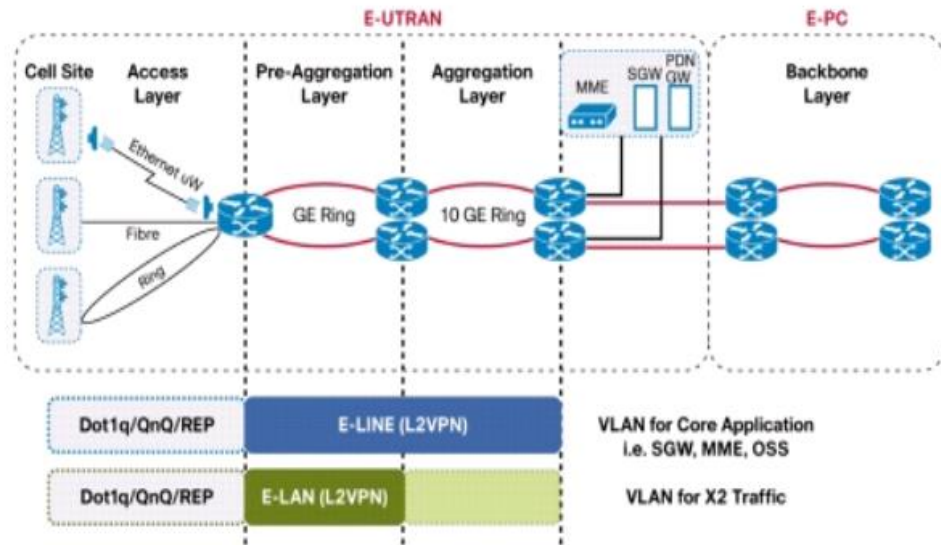
Ο περιορισμός του αριθμού των εξυπηρετούμενων χρηστών ανά κύτταρο προβλημάτισε τους σχεδιαστές των δικτύων. Αρχικά ας δούμε τους περιορισμούς αναλυτικά και στη συνέχεια τις λύσεις που προτείνονται.

- Η αρχιτεκτονική του μηχανήματος: Κάθε πάροχος έχει δικαίωμα να ενεργοποιήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό αδειών στο λογισμικό .
- Ο σχεδιασμός του δικτύου: Ο σχεδιασμός του δικτύου βασίζεται χωρητικότητα δικτύου, γεωγραφική κάλυψη, παρεμβολές λόγω επικάλυψης και τον αριθμό των χρηστών.



Εικόνα 12: Αλληλοκάλυψη κυττάρων

- Η χωρητικότητα του δικτύου μετάδοσης /διασύνδεσης του σταθμού βάσης με το δίκτυο κορμού: Αναφέρεται στην χωρητικότητα του TCP/IP δικτύου μετάδοσης και διασύνδεσης από το σταθμό βάσης προς όλες τις μονάδες δικτύου. Σε περίπτωση που η χωρητικότητα του δικτύου μετάδοσης δεν έχει υπολογιστεί σωστά τότε εμφανίζονται φαινόμενα τηλεπικοινωνιακής συμφόρησης [2] .



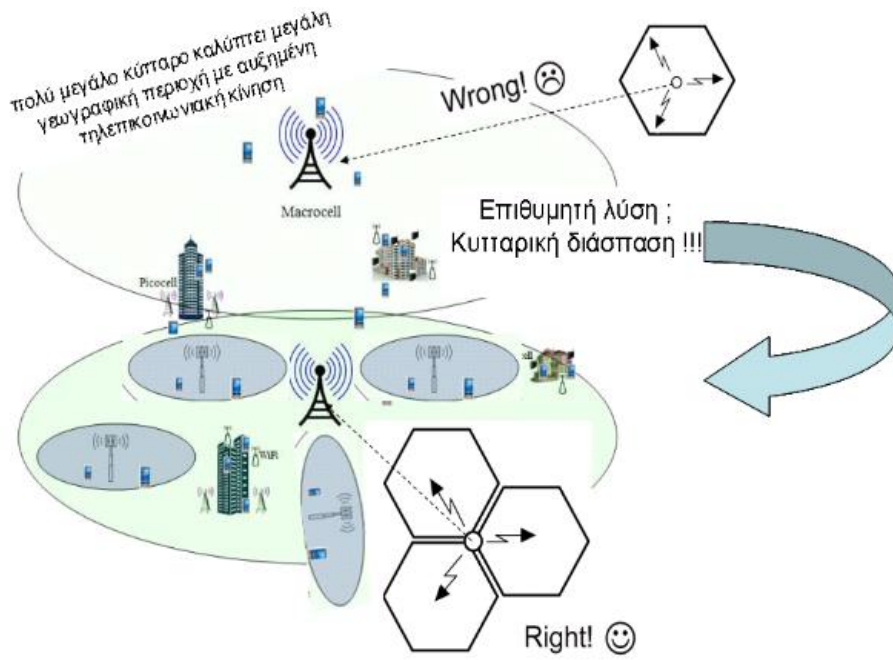
Εικόνα 13: Τηλεπικοινωνιακή συμφόρηση που οδηγεί σε διασυνδεσιμότητα eNodeB to core backhaul

### 3.3 Κυτταρική Διάσπαση

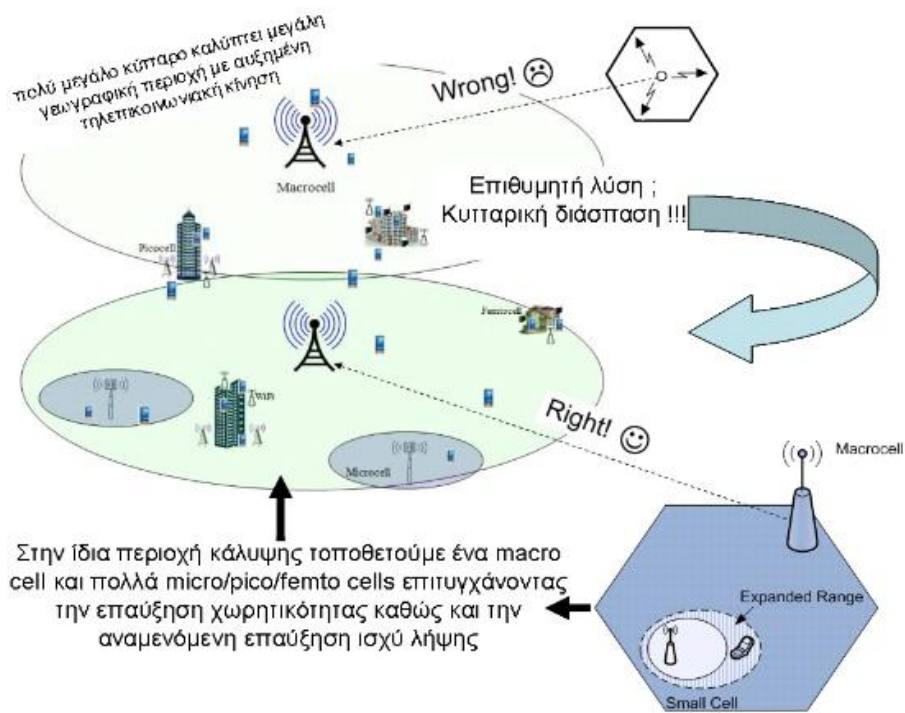
Η συνεχώς αυξανόμενη τηλεπικοινωνιακή κίνηση απαιτεί την αύξηση της χωρητικότητας του σταθμού βάσης [2]. Επομένως μιλάμε για το φαινόμενο της κυτταρικής διάσπασης σύμφωνα με την οποία το αρχικό κύτταρο διασπάται σε μικρότερα και έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη της ίδιας περιοχής με μικρότερα και περισσότερα κύτταρα, σχήμα 6.

Μια άλλη λύση η οποία προτιμάται είναι να χρησιμοποιήσουμε ετερογενή κύτταρα για την κάλυψη της περιοχής δηλαδή να γίνει η κυτταρική διάσπαση και να χρησιμοποιηθούν κύτταρα όπως macro cells, micro cells, pico cells και fempto cell για την κάλυψη της ίδιας περιοχής αλλά με περισσότερα ετερογενή κύτταρα, σχήμα 7.

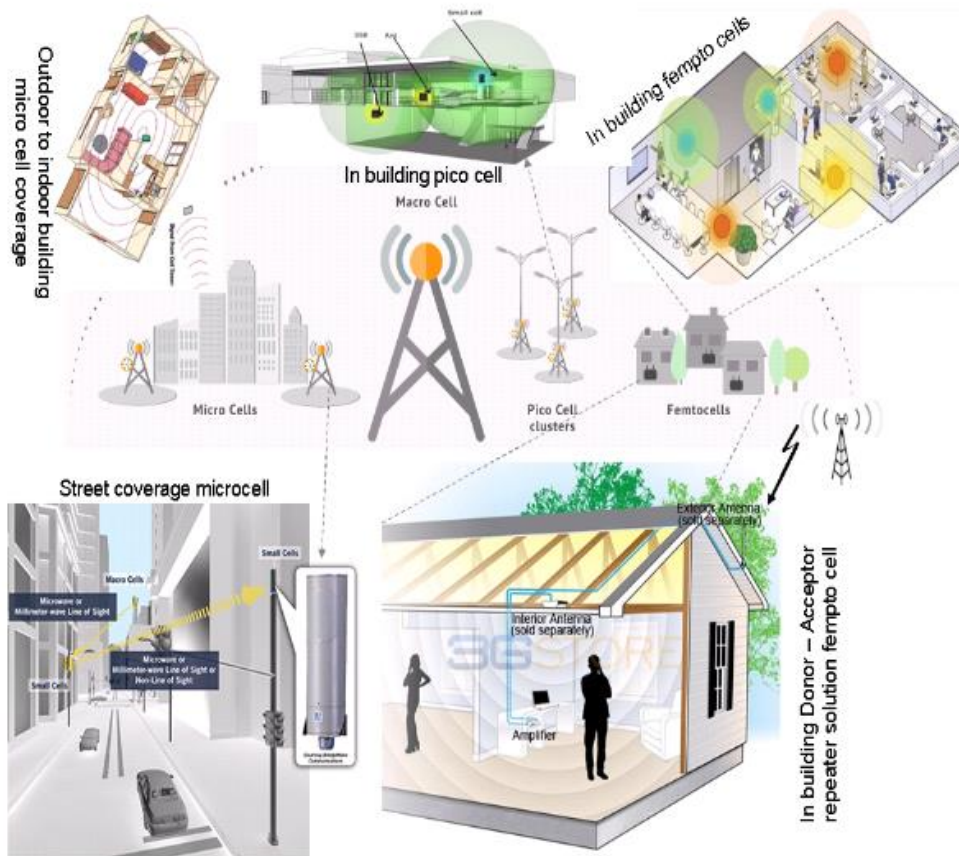
Άλλη λύση ετερογενούς κάλυψης είναι ο συνδυασμός τεχνολογίας κυττάρων LTE και WCDMA/GSM στον ίδιο γεωγραφικό χώρο. Αύτη η λύση έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούνται τα υφιστάμενα δίκτυα HSPA και GSM τα οποία προσφέρουν κάλυψη και χωρητικότητα, σχήμα 8.



Σχήμα 6: κυτταρική διάσπαση με αύξηση των κυττάρων



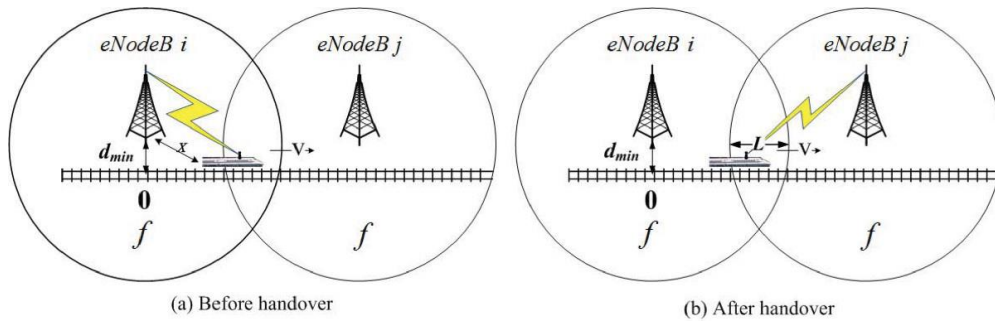
Σχήμα 7: με κυτταρική διάσπαση ετερογενούς κάλυψης



Σχήμα 8: κυτταρική διάσπαση σε ετερογενές περιβάλλον LTE/WCDA/GSM

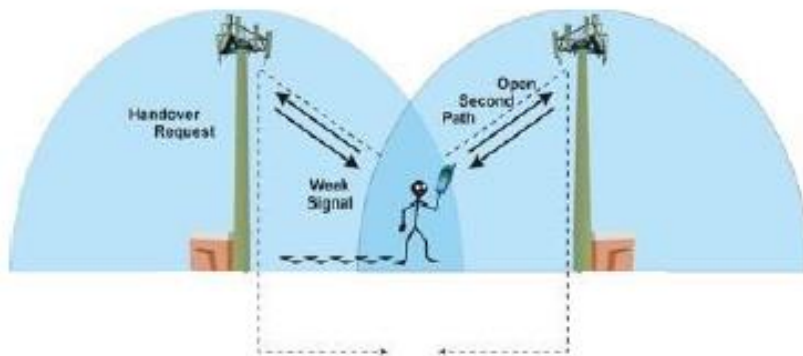
### 3.4 Μεταπομπή (handover)

Κατά την μετακίνηση ενός τερματικού από ένα μέρος του δικτύου σε κάποιο άλλο, το τερματικό σταματά να επικοινωνεί με την κυψέλη που καλύπτει το πρώτο σημείο και επικοινωνεί με την κυψέλη που καλύπτει το τελευταίο σημείο. Η υλοποίηση της διαδικασίας της μεταπομπής πρέπει να γίνεται χωρίς να γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη. Καθώς η συσκευή τερματικού πλησιάζει στα όρια της κυψέλης τότε η στάθμη του σήματος πέφτει κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο , το σύστημα θα του δώσει σήμα από την κεραία της κυψέλης που εισέρχεται.



Εικόνα 14: Μεταπομπή

Στην περίπτωση που μια κινητή συσκευή κινείται στα σύνορα δύο κυττάρων, τότε επειδή η στάθμη δεν είναι σταθερή, θα παίρνει σήμα πότε από το σταθμό της μίας και πότε από της άλλης. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε καταπόνηση του συστήματος και αυτή η καταπόνηση ονομάζεται ring-pong.



Εικόνα 15: Η περίπτωση ring pong

## 3.5 Παράμετροι και Χαρακτηριστικά των Κεραιών

### 3.5.1 Κέρδος κεραίας και Αποτελεσματική Ισχύς Εκπομπής

Συγκεκριμένοι τύποι κεραιών εστιάζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση συγκριτικά με τις πανκατευθυντικές κεραίες. Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής της ικανότητας / χαρακτηριστικού της κεραίας να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελεί το μέγεθος του **κέρδους της κεραίας** (*antenna gain*) (μετρούμενο σε *decibels*)

**Κατευθυντικό κέρδος** (*directive gain*) Ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος (*power density*) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία πανκατευθυντική κεραία (*omnidirectional-isotropic antenna*). Η πυκνότητα ισχύος αμφότερων των δύο τύπων κεραιών μετράται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και ως εκ τούτου ένας συγκριτικός λόγος υπολογίζεται.

Σε πραγματική βάση το κέρδος του δίπολου Hertz, αναφορικά πάντοτε με μία πανκατευθυντική κεραία υπολογίζεται 1.76dB, ενώ καθ' όμοιο τρόπο η αντίστοιχη τιμή του κέρδους της διπολικής κεραίας μισού κύματος υπολογίζεται 2.15dB. Αναφορικά με τις wire κεραίες οι οποίες αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους, το κέρδος τους ποικίλει από 2.15dB (δίπολο μισού κύματος) έως 8.51dB (στην περίπτωση της διπολικής κεραίας μήκους  $l=8\lambda$ ). Στην περίπτωση δε των παρόμοιων (ως προς το μήκος) μη συντονισμένων κεραιών, οι τιμές κέρδους των είναι 5.05dB έως 12.4dB αντίστοιχα.

Από την σύγκριση των παραπάνω τιμών προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Κατά πρώτον, αυξανόμενου του μήκους της κεραίας αυξάνεται η τιμή του κέρδους της κεραίας. Κατά δεύτερον, συγκρίνοντας τα κέρδη των συντονισμένων κεραιών με τα αντίστοιχα των μη συντονισμένων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μη συντονισμένες κεραίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο κέρδος γεγονός αναμενόμενο.

**Κατευθυντικότητα και κέρδος ισχύος** (*directivity and power gain*) Ένα επιπλέον μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κέρδους μίας κεραίας είναι το **κέρδος ισχύος** (*power gain*). Το εν λόγω μέγεθος στην πραγματικότητα αποτελεί μέτρο σύγκρισης της ισχύος εξόδου μίας

συγκεκριμένης κεραίας σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, σε σχέση με μία ιστροπική κεραία. Το κέρδος μίας κεραίας είναι ο λόγος ισχύος μεταξύ μίας πανκατευθυντικής και μία μονοκατευθυντικής κεραίας. Η μαθηματική έκφραση μέσω της οποίας εκφράζεται και υπολογίζεται είναι η ακόλουθη:

$$A(\text{dB})=10 \log_{10}(P_2/P_1)$$

Όπου  $A(\text{dB})$ : το κέρδος της κεραίας σε *decibels*

$P_1$ : η εκπεμπόμενη ισχύς της μονοκατευθυντικής κεραίας

$P_2$ : η εκπεμπόμενη ισχύς της ιστροπικής κεραίας

Ένας επιπρόσθετος όρος ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψει την απόδοση του συστήματος εκπομπής είναι ο *effective radiated power (ERP)*.

### 3.5.2 Μέτρηση εκπομπής και ένταση πεδίου

Οι επαγόμενες τάσεις σε μία κεραία λήψεως είναι πολύ μικρές, της τάξεως των μικροβόλτ. Ως εκ τούτου οι λαμβανόμενες μετρήσεις της εντάσεως του πεδίου (*field strength*) θα είναι της τάξεως των mV/m .

**Ένταση πεδίου:** Η ένταση του πεδίου, που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον περιβάλλοντα χώρο, σε συγκεκριμένο σημείο ισοδυναμεί με την επαγόμενη τάση επί καλωδίου μήκους 1m το οποίο βρίσκεται στο συγκεκριμένο σημείο. Η τιμή της εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων αναφέροντας χαρακτηριστικά τη χρονική στιγμή της ημέρας που πραγματοποιείται η εκπομπή της κεραίας, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες την απόσταση του καλωδίου από την κεραία κτλ.

#### **Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας**

Πρόκειται για ένα υποθετικό μέγεθος με θεωρητική μόνο σημασία. Ως **αντίσταση ακτινοβολίας** της κεραίας (*antenna radiation resistance*) ορίζεται η ωμική αντίσταση ενός κυκλώματος στην οποία θα απελευθερώνονταν το ίδιο ποσό ενέργειας με το αντίστοιχο ακτινοβολούμενο από την κεραία. Προσδιορίζεται δε από το λόγο της μέσης ακτινοβολούμενης ισχύος της κεραίας προς το τετράγωνο της έντασης του επαγόμενου ρεύματος που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένο απομακρυσμένο σημείο (*feed point*).

#### **Απώλειες και βαθμός απόδοσης**

Πέραν της ενέργειας που εκπέμπεται από την κεραία, ένα σημαντικό μέγεθος, ο προσδιορισμός και περιορισμός του οποίου αποτελεί εξέχουσας σημασίας έργο, είναι οι απώλειες ισχύος. Παράγοντες που συμβάλλουν στην απώλεια ισχύος κατά την εκπομπή της κεραίας είναι μεταξύ των άλλων, η *ground resistance*, *corona effects*, *imperfect dielectric* στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας, επαγωγή eddy ρευμάτων σε μεταλλικά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κοντά στην κεραία, και τέλος σε θερμικές απώλειες κατά μήκος της κεραίας. Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, προκύπτει η σχέση:

$$P_{in} = P_d + P_{rad}$$

Όπου:

$P_{in}$ : η συνολική ισχύς τροφοδοσίας της κεραίας

$P_d$ : η απολεσθείσα ενέργεια

$P_{rad}$ : η συνολικά ακτινοβολούμενη ενέργεια

Από την παραπάνω σχέση και αντικαθιστώντας καθ' έναν εκ των τριών όρων με τον αντίστοιχο  $I^2 R$  όρο, προκύπτει η ισοδύναμη σχέση

$$R_{in} = R_d + R_{rad}$$

βασιζόμενοι στην οποία μπορούμε να ορίσουμε την παράμετρο του βαθμού απόδοσης (*efficiency*) της κεραίας ως εξής

$$\eta = R_{rad} / (R_{rad} + R_d) * 100\%$$

όπου  $R_d$ : η αντίσταση της κεραίας (*antenna resistance*)

$R_{rad}$ : η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι ο βαθμός απόδοσης της κεραίας μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος από την κεραία προς τη συνολική ισχύ τροφοδοσίας της κεραίας

Οι LF (Low Frequency) και MF (Medium Frequency) κεραίες είναι οι λιγότερο αποδοτικές δεδομένων των δυσκολιών που απαντώνται στην επίτευξη του κατάλληλου μήκους τους. Συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης των εν λόγω κεραίων δεν ξεπερνά την τιμή 0.95 ενώ είναι δυνατό στη χειρότερη περίπτωση ο βαθμός απόδοσης τους να μην ξεπερνά την τιμή 0.75. Φυσικά, αυξανόμενης της συχνότητας εκπομπής της κεραίας, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσής τους έτσι



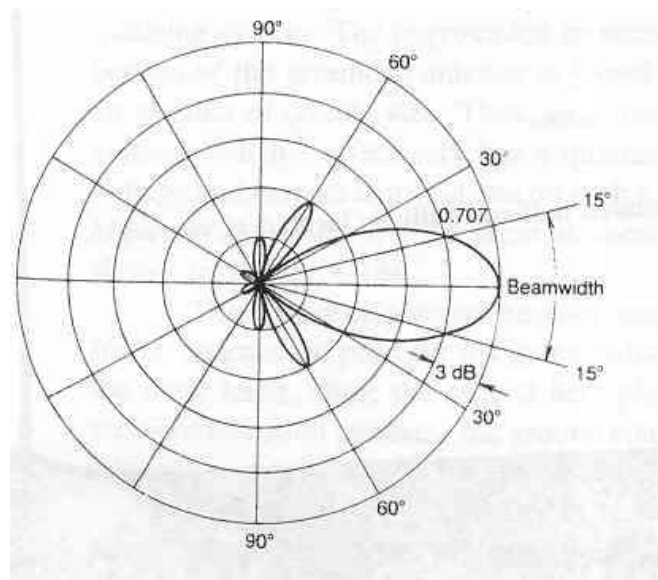
που σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται άριστη απόδοση πλησίον της μέγιστης τιμής 1. Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι δυνατό να λαμβάνει τιμή σε ένα εύρος λίγων Ohm μέχρι αρκετές εκατοντάδες Ohm. Παράγοντες όπως, η επιλογή του σημείου τροφοδοσίας, τα φυσικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κεραίας, είναι ορισμένοι εκ των οποίων καθορίζουν την τιμή της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας.

### **3.5.3 Εύρος ζώνης συχνοτήτων - Εύρος δέσμης και πολικότητα κεραίας**

Από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην περιγραφή των χαρακτηριστικών των κεραιών είναι το **εύρος ζώνης συχνοτήτων** (*bandwidth*) στις οποίες λειτουργεί η κεραία, το **εύρος δέσμης** (*beam width*) της κεραίας που καθορίζει το βαθμό συρρίκνωσης /συγκέντρωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας, γύρω από τον κεντρικό άξονα και τέλος η **πολικότητα** (*polarity*) που περιγράφει τον προσανατολισμό (*space orientation*) των εκπεμπόμενων κυμάτων στο χώρο.

Συγκεκριμένα, ο όρος *bandwidth* προσδιορίζει το εύρος των συχνοτήτων (*frequency range*) στο οποίο η κεραία μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά, εννοώντας για παράδειγμα ότι η κεραία θα επιτυγχάνει ικανοποιητική απόδοση (*throughput*) στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Στο σημείο όπου η ισχύς της κεραίας μειώνεται στο μισό της μέγιστης τιμής της (3dB), το μέγιστο και ελάχιστο του συγκεκριμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί η κεραία έχει επιτευχθεί οπότε και η απόδοση της κεραίας μειώνεται σταδιακά. Στην περίπτωση δε των κεραιών που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, προκειμένου να διατηρείται η απόδοση τους σε υψηλά επίπεδα, ενσωματώνονται κατάλληλα αντισταθμιστικά κυκλώματα (*compensating circuits*) έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζεται η προσαρμογή σύνθετη αντίστασης της κεραίας. Κατ' αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, εξασφαλίζεται τρόπον τινά η "προστασία" του εκπεμπόμενου σήματος από αυτού του είδους τις παραμορφώσεις-υποβιβάσεις.

Από την άλλη μεριά, το εύρος δέσμης της κεραίας προσδιορίζει την ικανότητα συρρίκνωση ή όχι της ακτινοβολούμενης δέσμης γύρω από τον κύριο άξονα ακτινοβολίας. Περιγράφεται δε ως η γωνία που σχηματίζεται από τα **σημεία ημίσεως ισχύος** (*half power points*-σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου της κεραίας μειώνεται στο 0.707 της μέγιστης τιμής της) του κυρίως λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, το εύρος δέσμης του διαγράμματος ακτινοβολίας του σχήματος 9.9 είναι  $30^\circ$ . Αρκεί να παρατηρήσουμε τα δύο σημεία ημίσεως ισχύος τα οποία και έχουν βρεθεί επί του κυρίου λοβού ακτινοβολίας του διαγράμματος, και να ενώσουμε κάθε ένα εξ αυτών με το κέντρο του λοβού ακτινοβολίας. Η γωνία που σχηματίζεται όπως φαίνεται και στο σχήμα 9, είναι  $30^\circ$ .



Σχήμα 9 : Το εύρος δέσμης συγκεκριμένης κεραίας

Τέλος αναφορικά με την πολικότητα της κεραίας, πρόκειται για τη παράμετρο που προσδιορίζει τον προσανατολισμό (στο χώρο) των πεδίων του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Στον ελεύθερο χώρο, τον περιβάλλοντα την κεραία, το μαγνητικό πεδίο του κύματος είναι κάθετο στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και επιπλέον η διεύθυνση διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετη και στα δύο επαγόμενα πεδία. Η πολικότητα της κεραίας καθορίζεται από την πολικότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση που η διεύθυνση

του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη, η κεραία εμφανίζεται κάθετα πολωμένη ενώ αντιθέτως όποτε η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντια η κεραία χαρακτηρίζεται ως οριζόντια πολωμένη.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι LF (*Low Frequency*) κεραίες εμφανίζουν κάθετη πολικότητα κατά το πλείστο τους, εξ' αιτίας τόσο της επιδράσεως της επιφάνειας της γης στα εκπεμπόμενα LF ηλεκτρομαγνητικά κύματα όσο και των μεθόδων κατασκευής τους. Από την άλλη μεριά, οι HF (*High Frequency*) κεραίες εμφανίζουν συνήθως οριζόντια πόλωση.

# Κεφάλαιο 4

## Εισαγωγή στο Radio Mobile

### 4.1 Ορισμός Προσομοίωσης

Μπορούμε να ορίσουμε την προσομοίωση ως μια μέθοδο μελέτης ενός συστήματος (ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου, μιας δραστηριότητας, μιας διαδικασίας) με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος. Η προσομοίωση δηλαδή είναι μία αναπαράσταση ή ένα μοντέλο που έχει κατασκευαστεί για να αναπαραστήσει και να επιτρέψει την κατανόηση της λειτουργίας ενός συστήματος. Το σύστημα προσομοίωσης «μιμείται» τη συμπεριφορά αυτού που αναπαριστά και συνεπώς επιτρέπει εξοικείωση με τα χαρακτηριστικά του και κατανόηση των λειτουργιών του. Το σύστημα προσομοίωσης στις περισσότερες περιπτώσεις σήμερα είναι ένα μοντέλο που «εκτελείται» σε έναν υπολογιστή.

Μια προσομοίωση με υπολογιστές είναι υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για να πειραματιστούμε πάνω σε ένα πραγματικό σύστημα χωρίς να έχουμε άμεση επαφή μαζί του. Στόχος ενός συστήματος προσομοίωσης είναι η μελέτη, η κατανόηση και ο πειραματισμός με πολύπλοκα συστήματα (στα οποία συνήθως δεν έχουμε απευθείας πρόσβαση).

### 4.2 Radio Mobile

Το **Radio Mobile** είναι ένα πρόγραμμα φτιαγμένο από ραδιοερασιτέχνη και αυτός είναι και ο κύριος λόγος του υψηλού βαθμού παραμετροποίησης του [4]. Μπορεί κανείς να το βρει στο internet (<http://www.g3tnv.co.uk>) και να το εγκαταστήσει ελεύθερα.

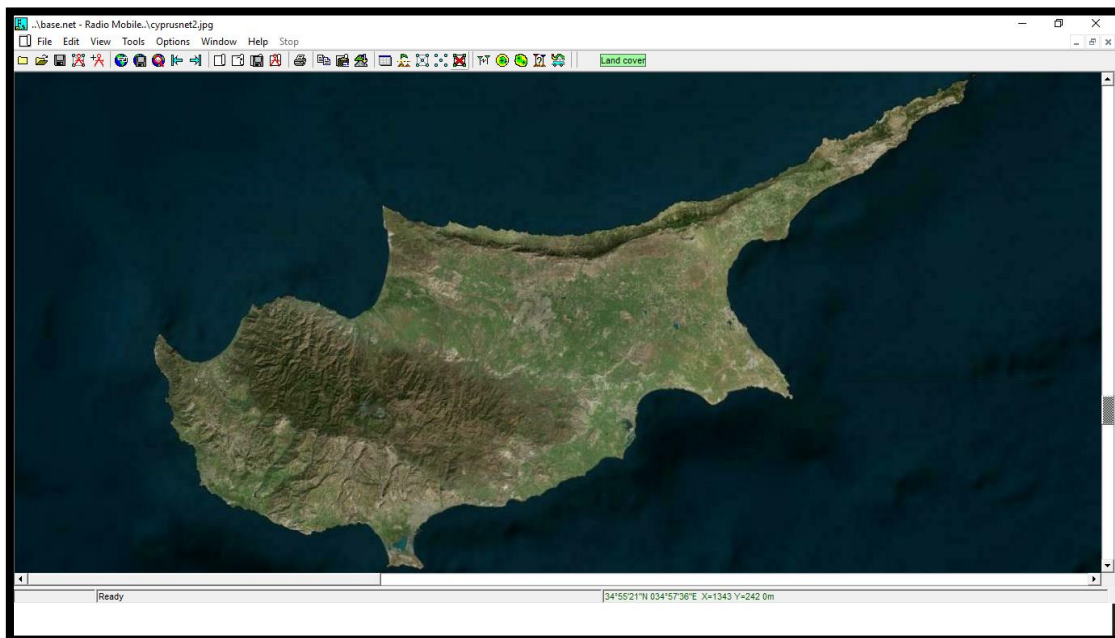
Οι λειτουργίες του διακρίνονται σε 3 κύριες κατηγορίες:

- Εργαλεία που έχουν να κάνουν με την απεικόνιση (χάρτες).
- Εργαλεία που έχουν να κάνουν με ραδιοδίκτυα, ραδιοκάλυψη κλπ.
- ARPS

Αφού γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος θα πρέπει ο χρήστης να ορίσει τις κατάλληλες παραμέτρους και να φορτώσει την περιοχή που θέλει να εξετάσει. Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία ενός LTE δικτύου στα 2600MHz και στα 450 MHz στην γεωγραφική περιοχή της Κύπρου. Επομένως θα πρέπει να ορίσουμε στο Radio Mobile τις παραμέτρους του Link Budget και να φορτώσουμε τον χάρτη της Κύπρου.

#### 4.2.1 Επιλογή Γεωγραφικής Περιοχής

Ακολουθώντας το μενού **file/Map properties/Select a city name/Nicosia** φορτώνω την γεωγραφική περιοχή της Κύπρου (Εικόνα 16). Επιλέγω το υψόμετρο (Height) **160,00km** και το αποτέλεσμα είναι το εξής:

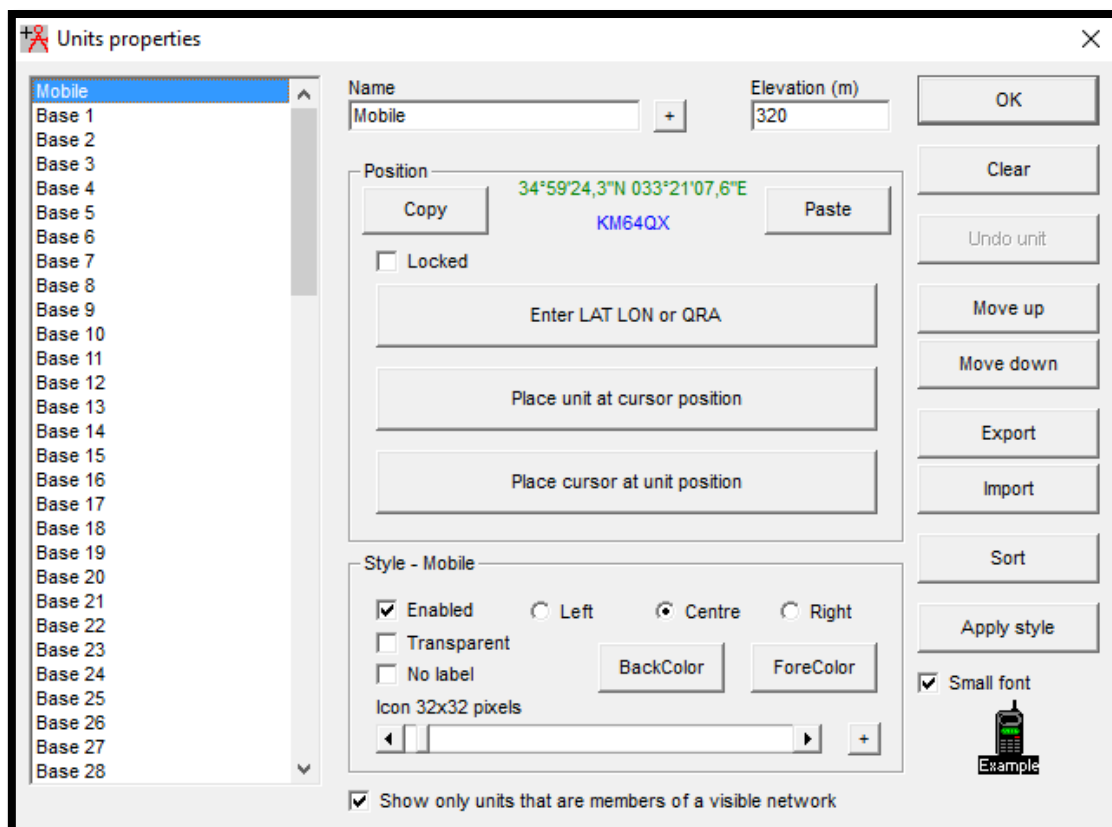


Εικόνα 16: Περιοχή Μελέτης

## 4.2.2 Δημιουργία Μονάδων Συστήματος

Στη συνέχεια θα πρέπει δημιουργήσουμε τους Σταθμούς Βάσεις και το τερματικό έτσι ώστε να κάνουμε τις προσομοιώσεις.

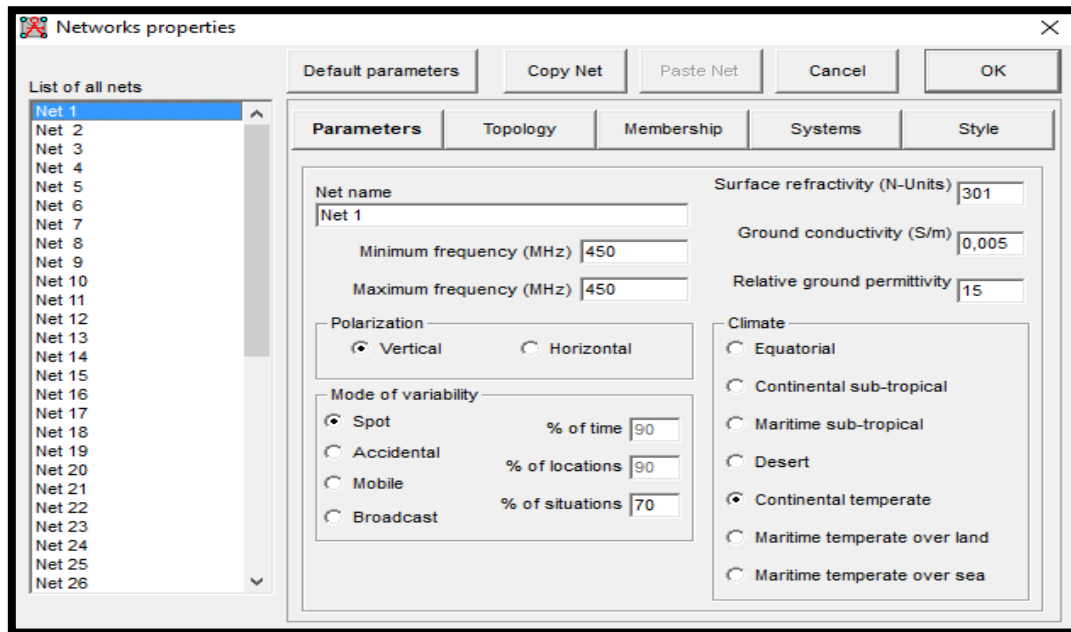
**File/Unit properties** θα πρέπει να δώσουμε όνομα στη κάθε μονάδα που δημιουργούμε και επιλέγω **OK**.



Εικόνα 17: Δημιουργία Μονάδων Συστήματος

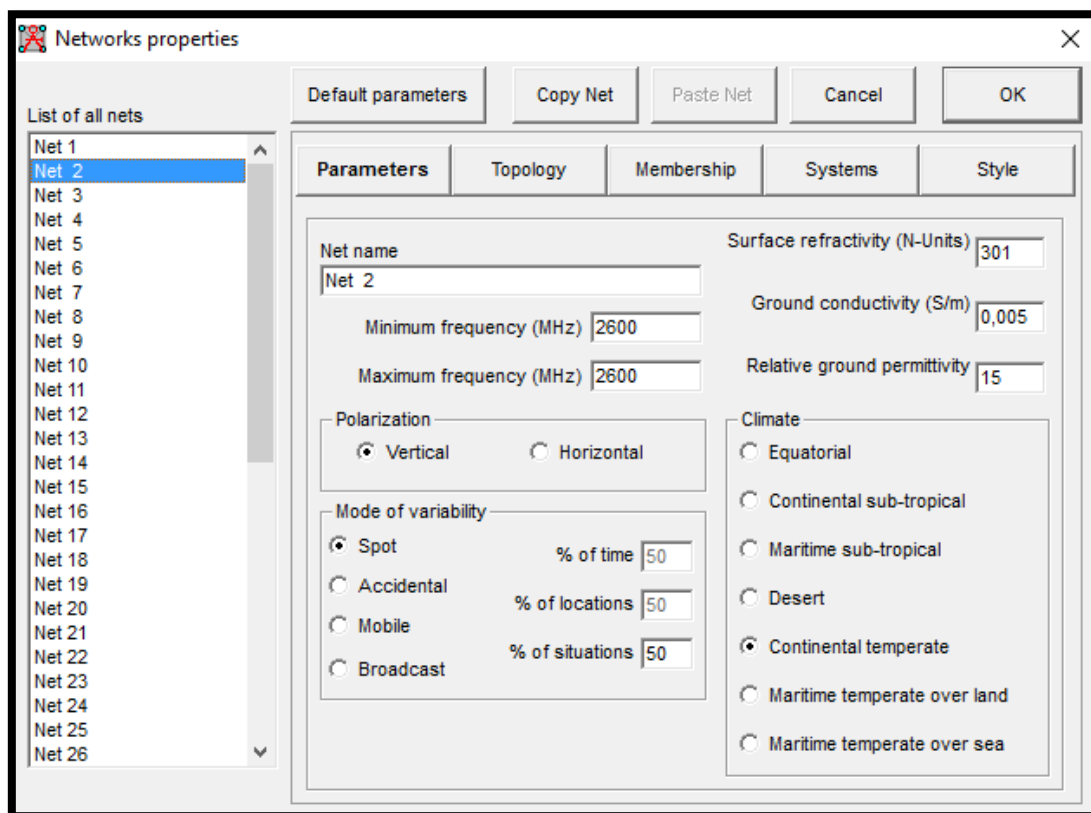
## 4.2.3 Ορισμός Παραμέτρων των Μονάδων του Δικτύου

Στη συνέχεια θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι του LTE δικτύου. Στο μενού **File/Network properties** ανοίγουμε την καρτέλα **parameters** και ορίζουμε το δίκτυο **Net 1** με ελάχιστη και μέγιστη συχνότητα **450 MHz** και επιλέγουμε **OK**.



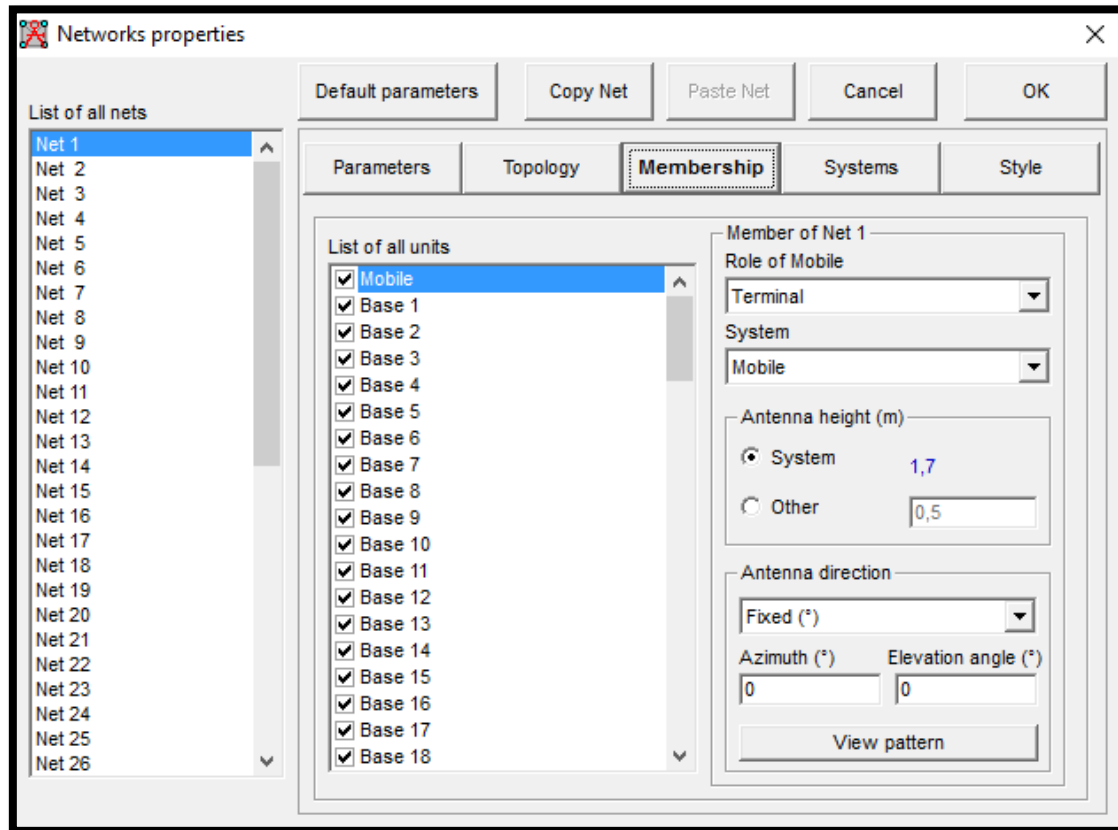
Εικόνα 18: Ορισμός παραμέτρων Net 1

Κάνουμε την ίδια διαδικασία και δημιουργούμε το **Net 2** με ελάχιστη και μέγιστη συχνότητα **2600MHz**.



Εικόνα 19: Ορισμός παραμέτρων Net 2

Κατόπιν, επιλέγουμε **Membership** και ορίζουμε τα μέλη του κάθε δικτύου δηλαδή τους Σταθμούς Βάσης και το Τερματικό αλλά και το ρόλο που έχει το κάθε στοιχείο του δικτύου.



Εικόνα 20: Ορισμός μελών Net 1

Ύστερα επιλέγουμε **Systems** για να ορίσουμε τις παραμέτρους του LTE 4G δικτύου. Στους επόμενους δύο πίνακες βλέπουμε τις παραμέτρους για το Uplink και Downlink Budget [11] (Πίνακες 2 και 3 )



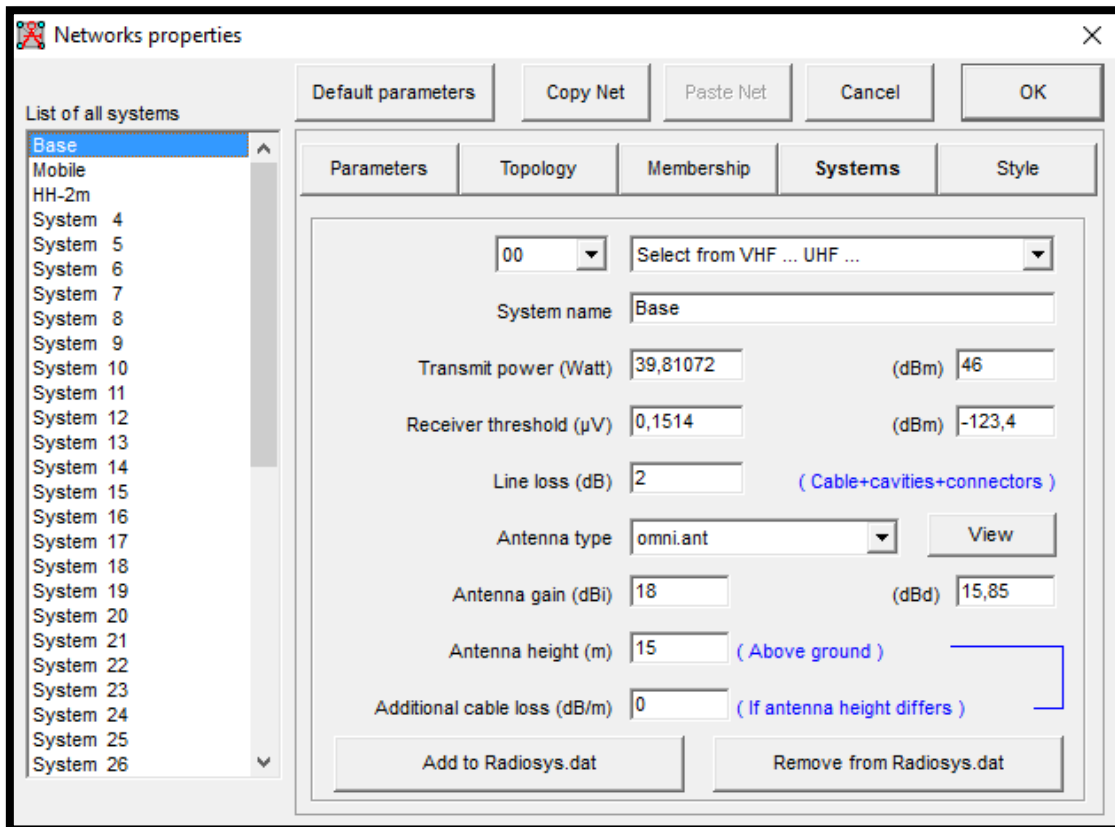
<b>Data rate (Mbps)</b>	<b>1</b>
<b>Transmitter – eNode B</b>	
<b>a</b>	HS-DSCH power (dBm) 46.0
<b>b</b>	TX antenna gain (dBi) 18.0
<b>c</b>	Cable loss (dB) 2.0
<b>d</b>	EIRP (dBm) 62.0 = a + b + c
<b>Receiver – UE</b>	
<b>e</b>	UE noise figure (dB) 7.0
<b>f</b>	Thermal noise (dBm) $-104.5 = k(\text{Boltzmann}) * T(290\text{K}) * B(360\text{kHz})$
<b>g</b>	Receiver noise floor (dBm) $-97.5 = e + f$
<b>h</b>	SINR (dB) $-10.0$ From Simulations performed in [1]
<b>i</b>	Receiver sensitivity (dBm) $-107.5 = g + h$
<b>j</b>	Interference Margin (dB) 3.0
<b>k</b>	Control Channel Overhead (dB) 1.0
<b>l</b>	RX antenna gain (dBi) 0.0
<b>m</b>	Body Loss (dB) 0.0
<b>Maximum path loss</b>	<b>165.5 = d – i – j – k + l – m</b>

Πίνακας 2: Downlink Budget

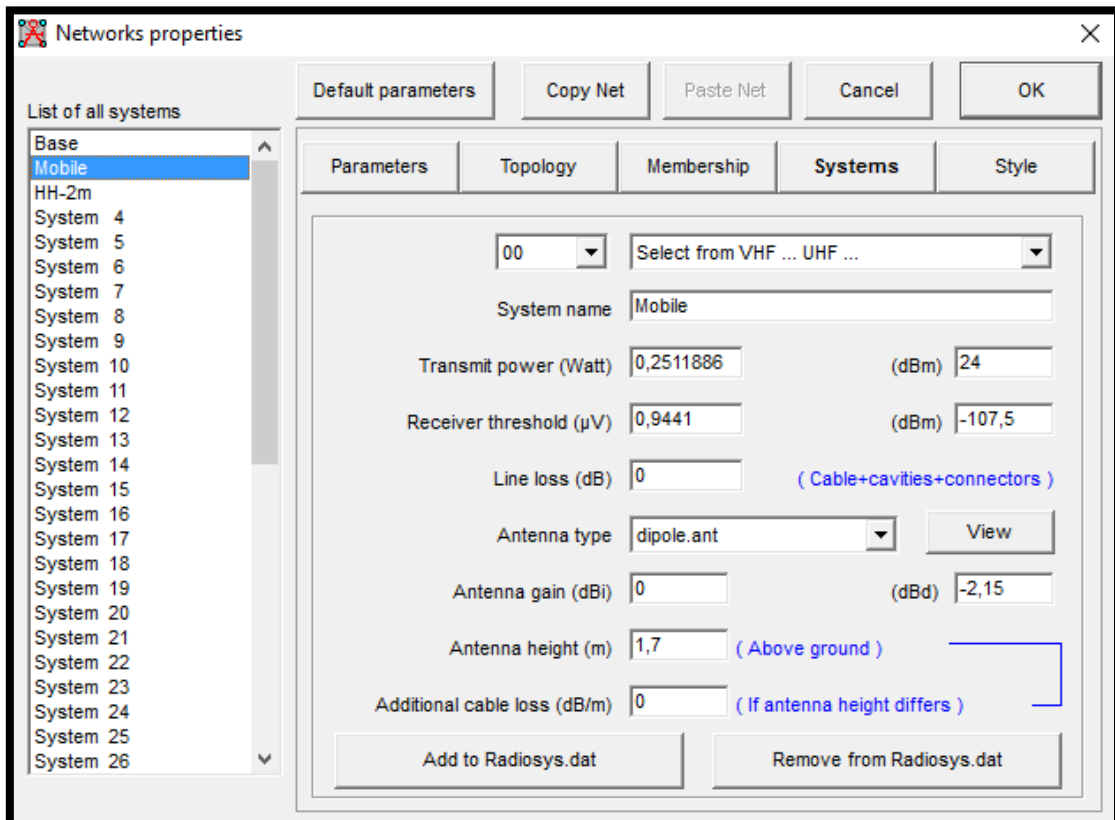
<b>Data rate (kbps)</b>		<b>64</b>
<b>Transmitter – UE</b>		
<b>a</b>	Max. TX power (dBm)	24.0
<b>b</b>	TX antenna gain (dBi)	0.0
<b>c</b>	Body loss (dB)	0.0
<b>d</b>	EIRP (dBm)	24.0 = a + b + c
<b>Receiver – eNode B</b>		
<b>e</b>	Node B noise figure (dB)	2.0
<b>f</b>	Thermal noise (dBm)	-118.4 = $k(\text{Boltzmann}) * T(290\text{K}) * B(360\text{kHz})$
<b>g</b>	Receiver noise floor (dBm)	-116.4 = e + f
<b>h</b>	SINR (dB)	-7.0 From Simulations performed in [1]
<b>i</b>	Receiver sensitivity (dBm)	-123.4 = g + h
<b>j</b>	Interference Margin (dB)	2.0
<b>k</b>	Cable Loss (dB)	2.0
<b>l</b>	RX antenna gain (dBi)	18.0
<b>m</b>	MHA gain (dB)	2.0
<b>Maximum path loss</b>		<b>163.4 = d - i - j - k + l - m</b>

Πίνακας 3: Uplink Budget

Με βάση τους δύο παραπάνω πίνακες κάνουμε τις κατάλληλες προσθήκες στα κατάλληλα πεδία οπότε προκύπτουν η εξής καρτέλες:



Εικόνα 21: Παράμετροι Σταθμών Βάσης



Εικόνα 22: Παράμετροι Τερματικού

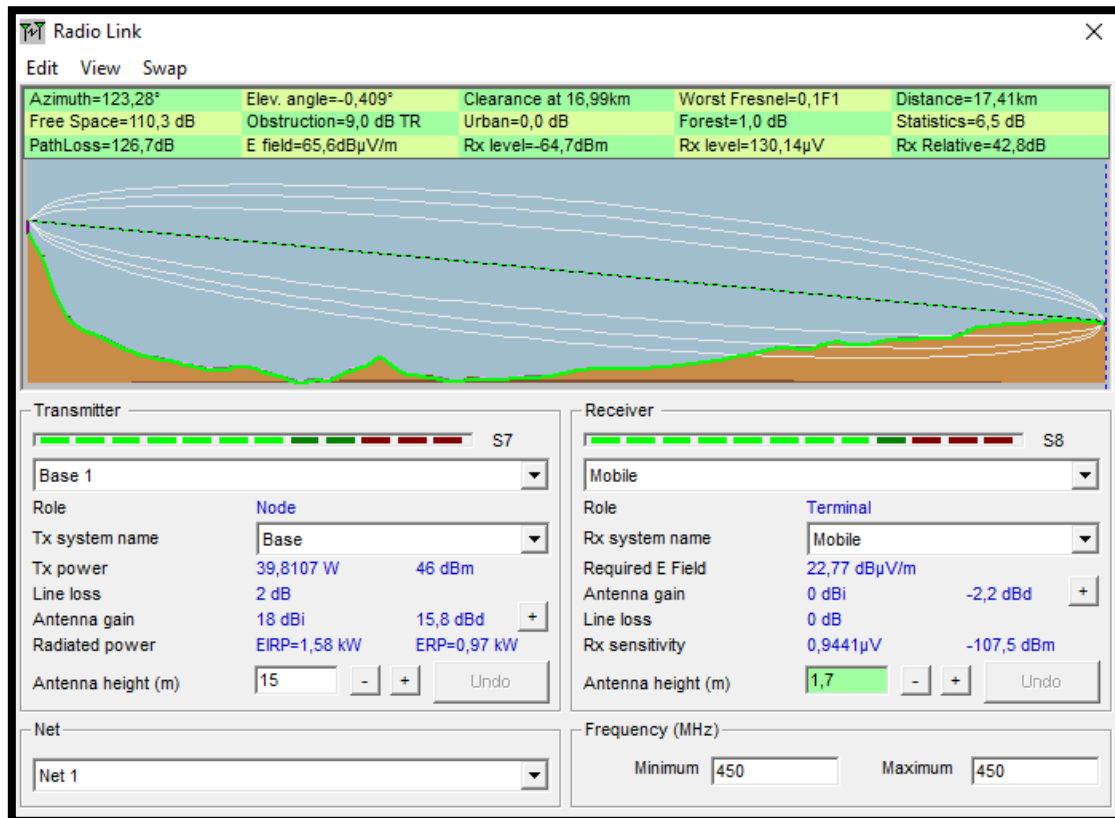
#### 4.2.4 Σχεδίαση Δικτύου

Αφού λοιπόν έγιναν όλες οι απαραίτητες παραμετροποιήσεις μπορούμε τώρα να περάσουμε στο στάδιο της σχεδίασης των δύο δικτύων [12]. Στο εξής με τον όρο **net1** θα εννοούμε το δίκτυο των **450MHz** και με τον όρο **net2** θα εννοούμε το δίκτυο των **2600MHz**. Θα στηριχτούμε στις εξής αρχές :

- Χρησιμοποιούμε πανκατευθυντικές κεραίες (Omni antennas)
- Επιλογή σημείων με όσο το δυνατό μεγαλύτερο υψόμετρο για την τοποθέτηση των Σταθμών Βάσης
- Το Uplink και Downlink Budget είναι περιοριστικός παράγοντας.
- Ελέγχω την ακτίνα (range) του κάθε Σταθμού Βάσης
- Προσέχω να υπάρχει κάποια επικάλυψη μεταξύ των Σταθμών Βάσης
- Μέγιστη ραδιοκάλυψη της γεωγραφικής περιοχής
- Ο αριθμός των κατοίκων δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα διότι η εργασία αναφέρεται σε ορεινές και αγροτικές περιοχές που οι πληθυσμός είναι μικρός

Η διαδικασία της σχεδίασης συνεχίζεται με την δημιουργία του πρώτου σταθμού βάσης και της συσκευής τερματικού. **File/Unit properties** και στη συνέχεια επιλέγουμε “ **place unit at cursor position**”. Έτσι εμφανίζονται στο χάρτη τα πρώτα στοιχεία του δικτύου. Ύστερα θα πρέπει να ελέγξουμε την ζεύξη από το τερματικό προς τον σταθμό βάσης (Uplink) αλλά και από τον σταθμό βάσης προς το τερματικό (Downlink).

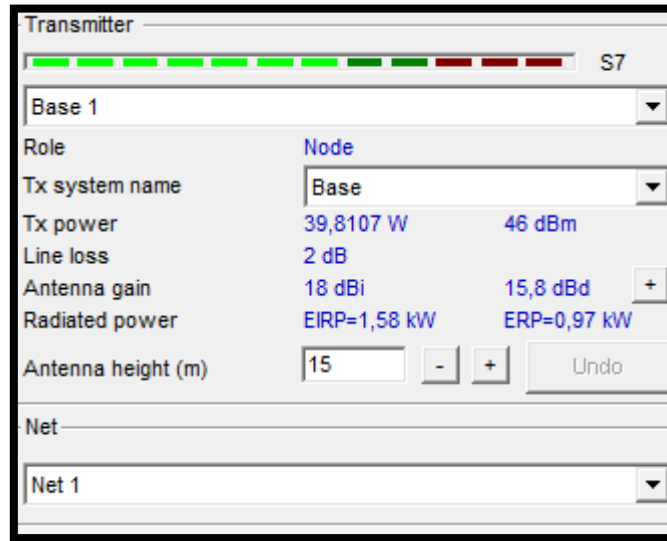
Επιλέγοντας F2 ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο:



Εικόνα 23: Ραδιοζεύξη

Στο κάτω αριστερά τμήμα είναι πάντα ο **Πομπός**(Transmitter) και κάτω δεξιά ο **Δέκτης**(Receiver). Στην συγκεκριμένη περίπτωση απεικονίζεται το Downlink. Επιλέγοντας το κουμπί “**Swap**” γίνεται εναλλαγή των ρόλων και στη θέση του αποστολέα θα βρεθεί το τερματικό και στη θέση του δέκτη θα βρεθεί ο σταθμός βάσης. Το οριζόντιο παράθυρο είναι διαδραστικό δηλαδή οποιαδήποτε θέση επιλέξουμε με το ποντίκι θα μετακινηθεί στην θέση αυτή ο δέκτης οπότε θα έχουμε και μεταβολή των δεδομένων.

## Ο Πομπός (Transmitter):



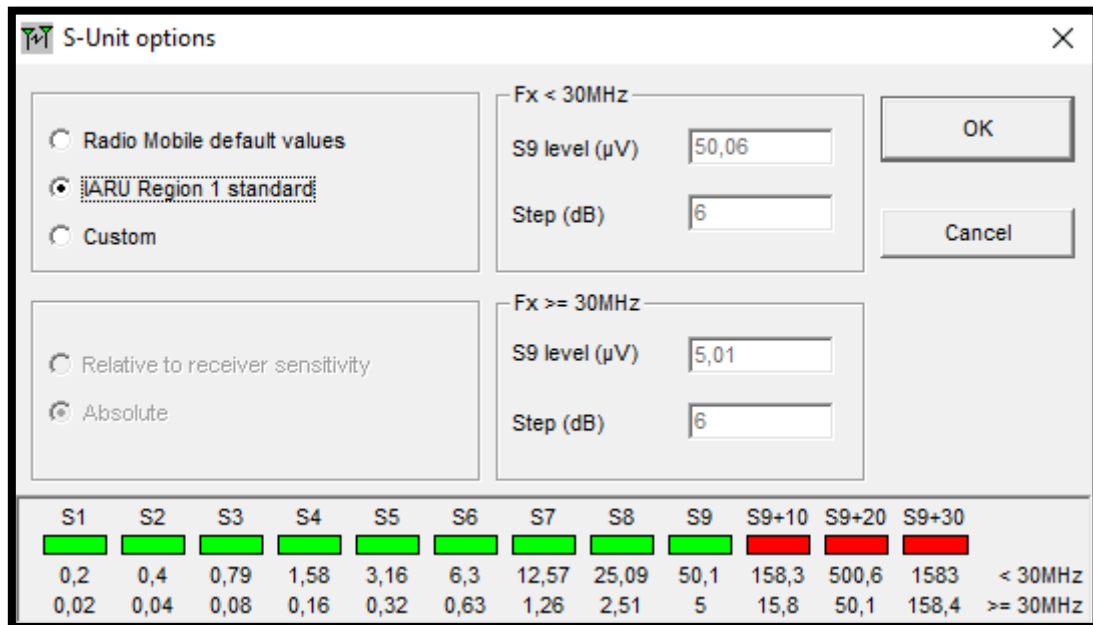
Εικόνα 24: Πομπός

- Κάτω από την ένδειξη S Units επιλέγουμε τον **Σταθμό Βάσης** που θα έχει τον ρόλο του πομπού.
- **Role:** αναφέρεται στον ρόλο του σταθμού που στην περίπτωση μας είναι κόμβος (Node) δεν έχει καμιά σημασία πέρα από την αναφορά στην τοπολογία του Δικτύου.
- **Tx system name:** είναι αυτό που ορίσαμε σαν Σύστημα για το συγκεκριμένο σταθμό στη δημιουργία του δικτύου.
- **Tx power:** Είναι η ισχύς του πομπού η οποία εμφανίζεται σε **W** και σε **dBm**.
- **Line loss:** Είναι οι απώλειες γραμμής.
- **Antenna gain:** Το **Κέρδος κεραίας** και σε **dbi** και σε **dBd**.
- **Radiated power:** Η **Ισχύς Ακτινοβολίας** με βάση το κέρδος της κεραίας έναντι στο ισοτροπικό δίπολο (EIRP) και το κανονικό δίπολο (ERP).
- **Antenna height (m) :** Είναι το ύψος της κεραίας του Σταθμού Βάσης που για την παρούσα εργασία έχει οριστεί στα 15 μέτρα.

Τα: **Tx power**, **Line loss**, **Radiated power** και **Antenna gain** θα πρέπει να συμφωνούν με τις παραμέτρους που ορίσαμε και πράγματι συμφωνούν.

Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε την κλίμακα των **S Units** . Στο μενού **Options/S Units** μπορούμε να επιλέξουμε την κλίμακα των S-Units την οποία επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε. Η default επιλογή

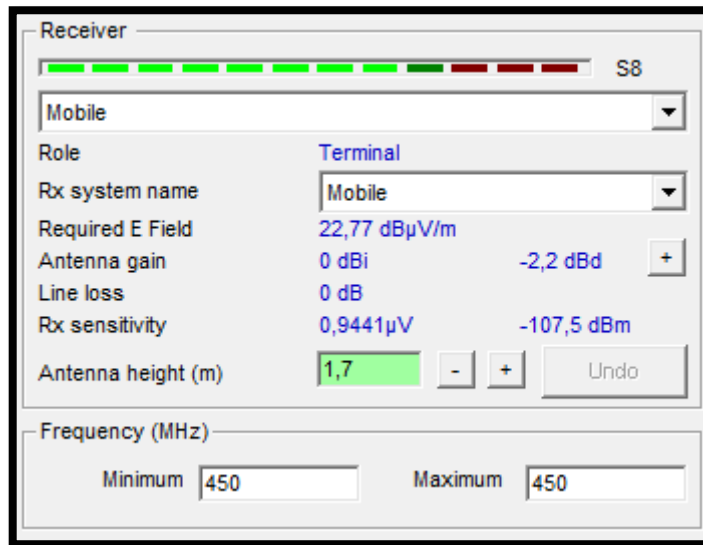
χρησιμοποιεί την κλίμακα North America (IARU Region 2), ενώ μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε το πρότυπο της **IARU Region 1** (Europe) ή κάποιο που θα το προσαρμόσουμε εμείς δίνοντας την τιμή για το S9 και το ρυθμό αλλαγής για κάθε μονάδα (σε dB).



Εικόνα 25: Ρύθμιση S Units

Στην κλίμακα της **IARU Region 1** διακρίνουμε 2 διαφορετικές κλίμακες **S Units**. Μια για τις περιοχές συχνοτήτων  $f < 30\text{MHz}$  (με το S1 στα  $0.2\mu\text{V}$  και το S9 στα  $50.1\mu\text{V}$ ) μια δεύτερη για αυτές με  $f > 30\text{MHz}$  (S1  $0.02\mu\text{V}$ , S9  $5.0\mu\text{V}$ ) με βήμα **6dB**.

## Ο Δέκτης (Receiver):

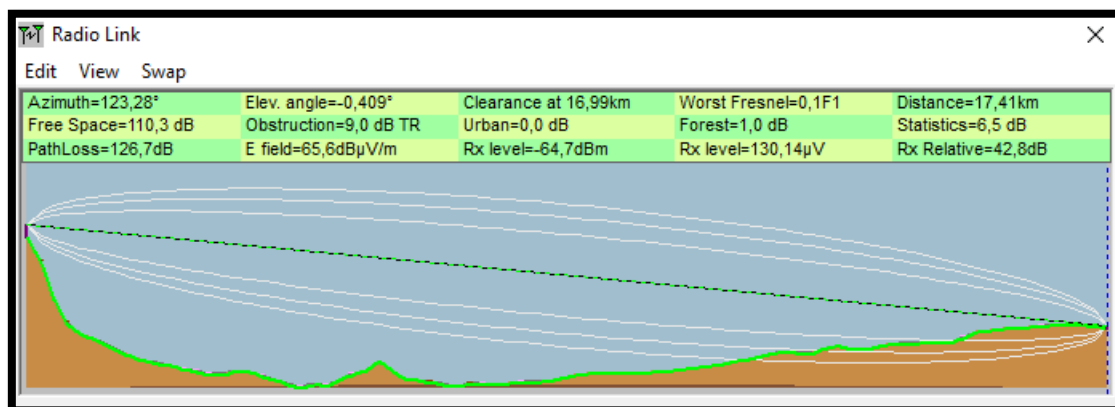


Εικόνα 26: Ο Δέκτης

- **Required E Field** : Απαιτούμενο Ε.Πεδίο δηλαδή η απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου **στη θέση του δέκτη** ώστε να πραγματοποιήσουμε λήψη σε **dbmV/m**.
- **RX sensitivity**: Η **Ευαισθησία Δέκτη** σε **μV** και **dBm** η οποία έχει ορισθεί από πριν.
- Τα πεδία **Antenna gain** και **Line loss** επίσης έχουν ορισθεί από πριν στο στάδιο των παραμετροποιήσεων.
- **Antenna height**: Το ύψος της συσκευής τερματικού για την παρούσα εργασία έχει ορισθεί στα 1,7μέτρα.
- **Frequency** : Το σύστημα μας έχει ορισθεί στα 450MHz (Net1).



Στη συνέχεια πάμε να αναλύσουμε και το πάνω μέρος του παραθύρου.



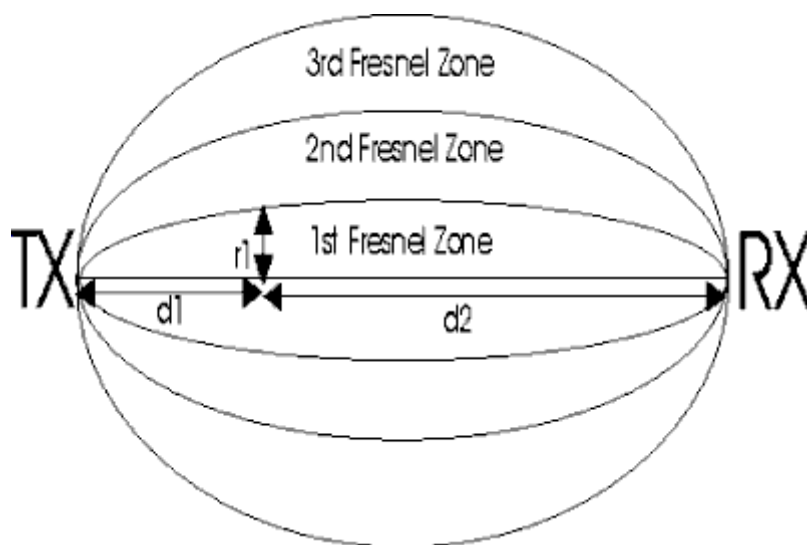
Εικόνα 27: Τομή του εδάφους

Το μεγάλο οριζόντιο παράθυρο δείχνει την τομή της διαδρομής από τον Σταθμό Βάσης σταθμό στο Τερματικό. Η έγχρωμη γραμμή σε επαφή με το έδαφος μας δείχνει **τη σχετική στάθμη της λήψης** σε όλη τη διαδρομή του σήματος σε επαφή με το ανάγλυφο. Στη default ρύθμισή του είναι πράσινη όταν η λήψη είναι τουλάχιστον 3dB πάνω από την ευαισθησία του συστήματος, κίτρινη όταν η λήψη είναι τουλάχιστον καλύτερη από -3dB (έως 3dB) από την ευαισθησία του συστήματος και τέλος κόκκινη όταν η τιμή αυτή είναι κάτω από -3dB. Διακρίνουμε και μια διακεκομμένη (πράσινο-μαύρο) γραμμή. Στην ουσία είναι δύο διακεκομμένες γραμμές. Η μία συνδέει απευθείας τον Πομπό με τον Δέκτη (**Line of Sight - LOS**) και η άλλη δείχνει το νοητό σημείο που συναντιούνται (αν συναντιούνται) οι γραμμές εκπομπής από κάθε θέση εφαιπόμενες στη κορυφή των εμποδίων στο έδαφος. Στην περίπτωση μας δεν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ πομπού και δέκτη οπότε οι δύο γραμμές εφάπτονται και φαίνονται σαν μία.

#### 4.2.4.1 Ζώνες Fresnel

Οι τρεις άσπρες καμπύλες πάνω και κάτω από τη γραμμή LOS είναι τα όρια των τριών πρώτων **περιοχών Fresnel**. Τα ραδιοκύματα ανακλώνται στα διάφορα εμπόδια στη διαδρομή τους, περιθλώνται και κάποια από αυτά φτάνουν στο δέκτη με διαφορετική φάση από το κύριο σήμα και έχοντας διανύσει και διαφορετικές (και εφόσον διαφέρουν από την ευθεία) μεγαλύτερες διαδρομές [12]. Κάποια από αυτά καταλήγουν τελικά στο δέκτη με φάση τέτοια ώστε

ενισχύουν το κύριο σήμα (συμφασικά) και άλλα με φάσεις που είτε το εξασθενούν, είτε το αναιρούν εντελώς.



Σχήμα 10: Ζώνες Fresnel

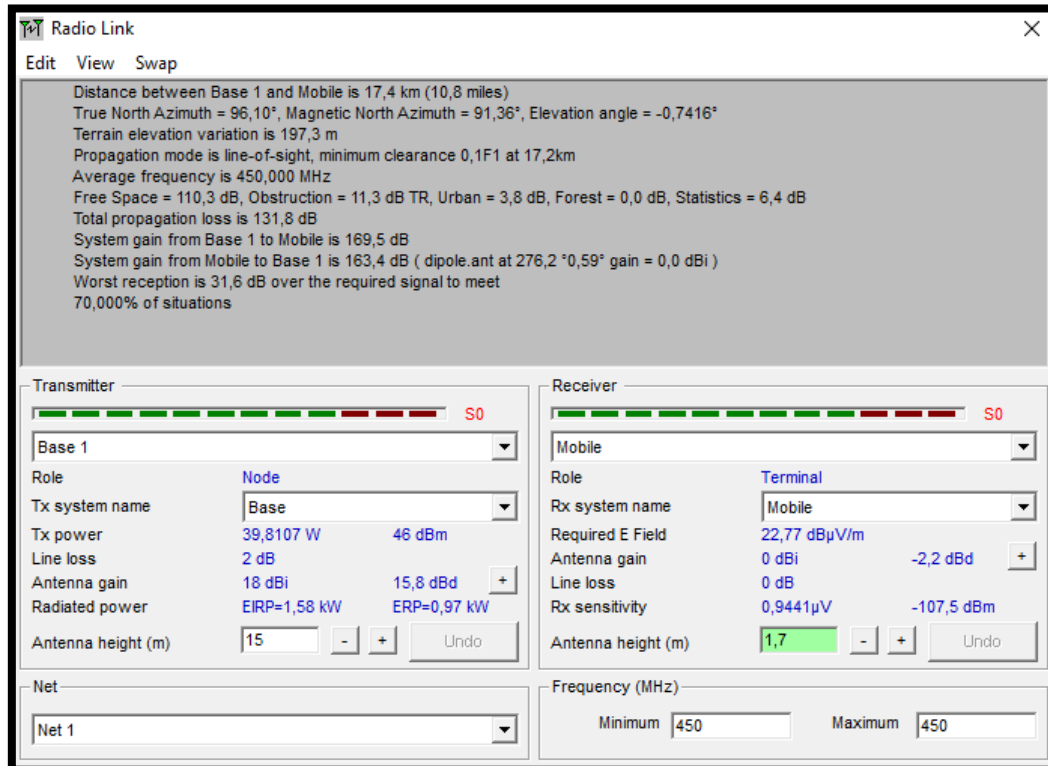
Η κατακόρυφη και οριζόντια τομή τους έχει το ελλειψοειδές σχήμα ενώ η εγκάρσιά τους είναι κύκλος [12]. Από το κέντρο του κύκλου περνάει η γραμμή του LOS. Τις επικοινωνίες τις επηρεάζουν σημαντικά οι 3 πρώτες καμπύλες (F1, F2, F3). Οι ζώνες F1 και F3 δείχνουν τις περιοχές που η περίθλαση επηρεάζει θετικά τη λήψη, ενώ η ζώνη F2 είναι περιοχή που επηρεάζει αρνητικά την λήψη. Δηλαδή στη περιοχή της F1 προσέχουμε να μην υπάρχουν εμπόδια ενώ στην περιοχή ανάμεσα στη πρώτη και τη δεύτερη άσπρη γραμμή F2 να υπάρχουν εμπόδια όπως βουνά και κτίρια που να εμποδίζουν τα ανακλώμενα σήματα να φτάσουν στο δέκτη μας.

Πάνω από την σχηματική τομή του εδάφους υπάρχει ο πίνακας με τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

- **Azimuth:** Αζιμούθιο από τον Πομπό στο Δέκτη (σε μοίρες από τον πραγματικό Βορρά).
- **Elev. Angle:** κατακόρυφη γωνία από την οριζόντιο, από τον Πομπό στο Δέκτη.
- **Clearance at:** Η απόσταση σε (Km) μέχρι το πρώτο εμπόδιο στη διαδρομή LOS.

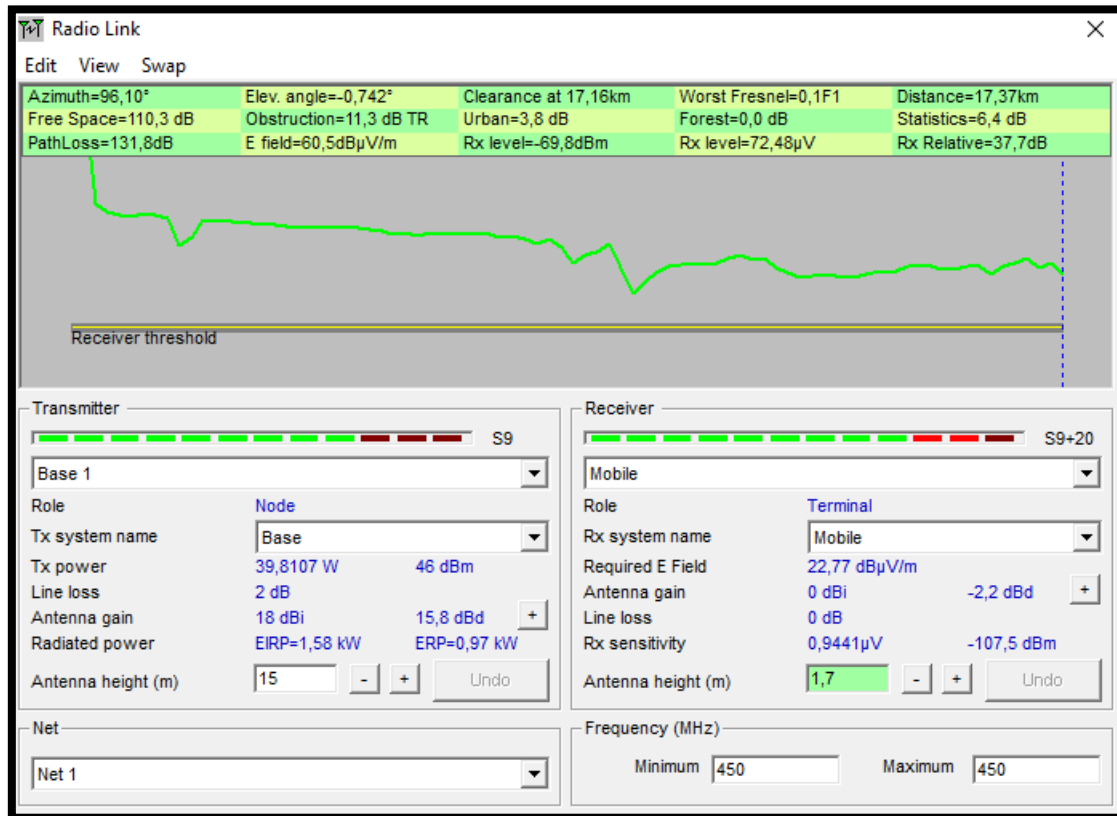
- **Worst Fresnel:** Η χειρότερη **καθαρότητα της ζώνης Fresnel** σε όλη τη διαδρομή του LOS (Η καθαρότητα υπολογίζεται σαν ο λόγος Απόσταση της ζώνης από το έδαφος/Διάμετρος της ζώνης)
- **Distance:** Η απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών.
- Τα περιεχόμενα της δεύτερης γραμμής (Free space, Obstruction κλπ) αναφέρονται αναλυτικά τις απώλειες στη διαδρομή του σήματος.
- **Path Loss:** Υπολογισμένο συνολικά το άθροισμα των προηγούμενων απωλειών.
- **E field:** Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη θέση του Δέκτη.
- **Rx level:** Η τάση του σήματος όταν πλέον φθάνει στο Δέκτη σε dBm και  $\mu\text{V}$ .
- **Rx Relative:** Η διαφορά της τελικής στάθμης του σήματος από την απαιτούμενη.

Με την επιλογή στο μενού **View/Details** μπορούμε να δούμε τις πληροφορίες της ζεύξης έτσι:



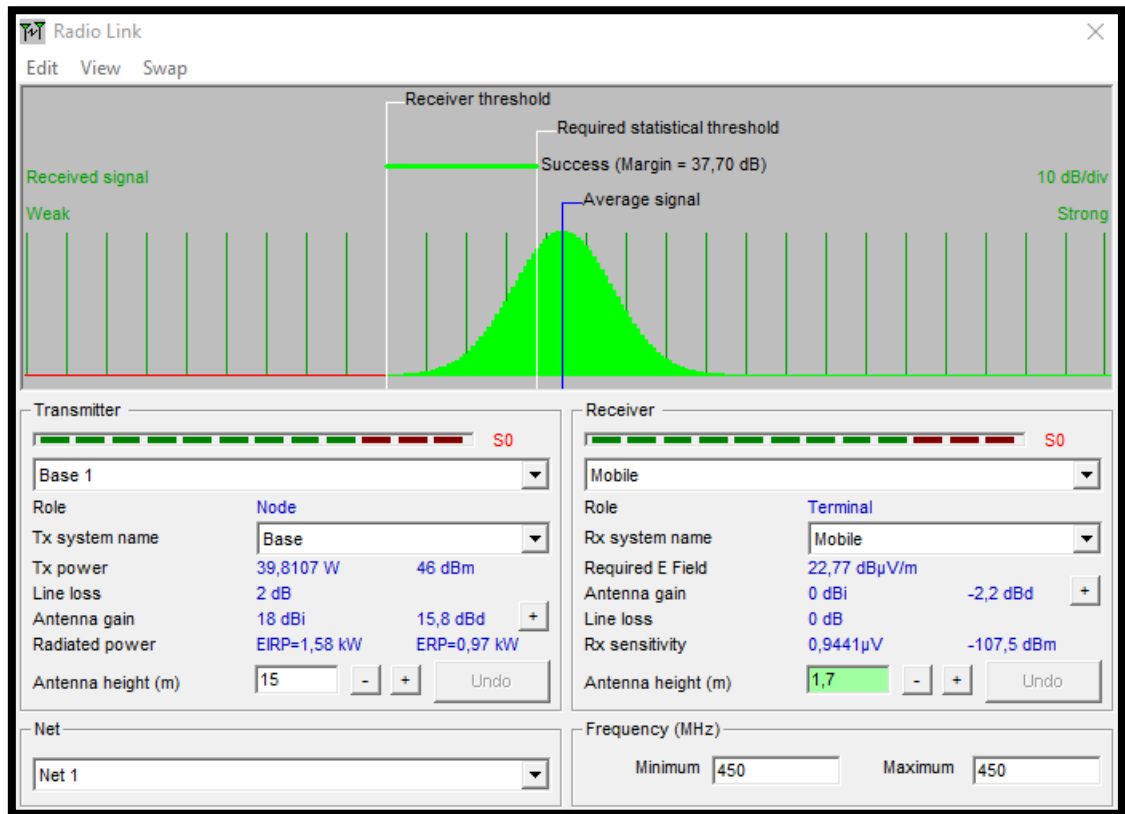
Εικόνα 28: Πληροφορίες ζεύξης

Με την επιλογή στο μενού **View/Range** μπορούμε να δούμε τις διακυμάνσεις του σήματος από τον πομπό στον δέκτη και να ελέγξουμε όποιο σημείο της διαδρομής επιθυμούμε αν είναι εντός των επιτρεπτών ορίων ή όχι:



Εικόνα 29: Απεικόνιση ισχύος σήματος

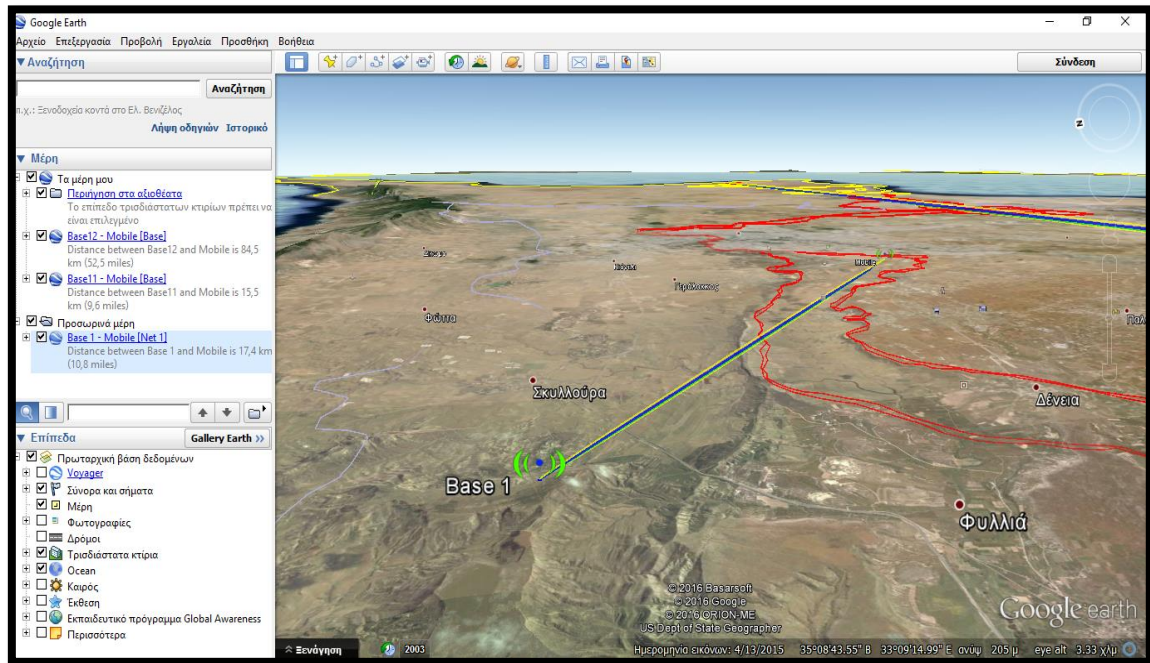
Με την επιλογή στο μενού **View/Distribution** μπορούμε να ελέγξουμε την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος:



Εικόνα 30: Ποιότητα σήματος λήψης

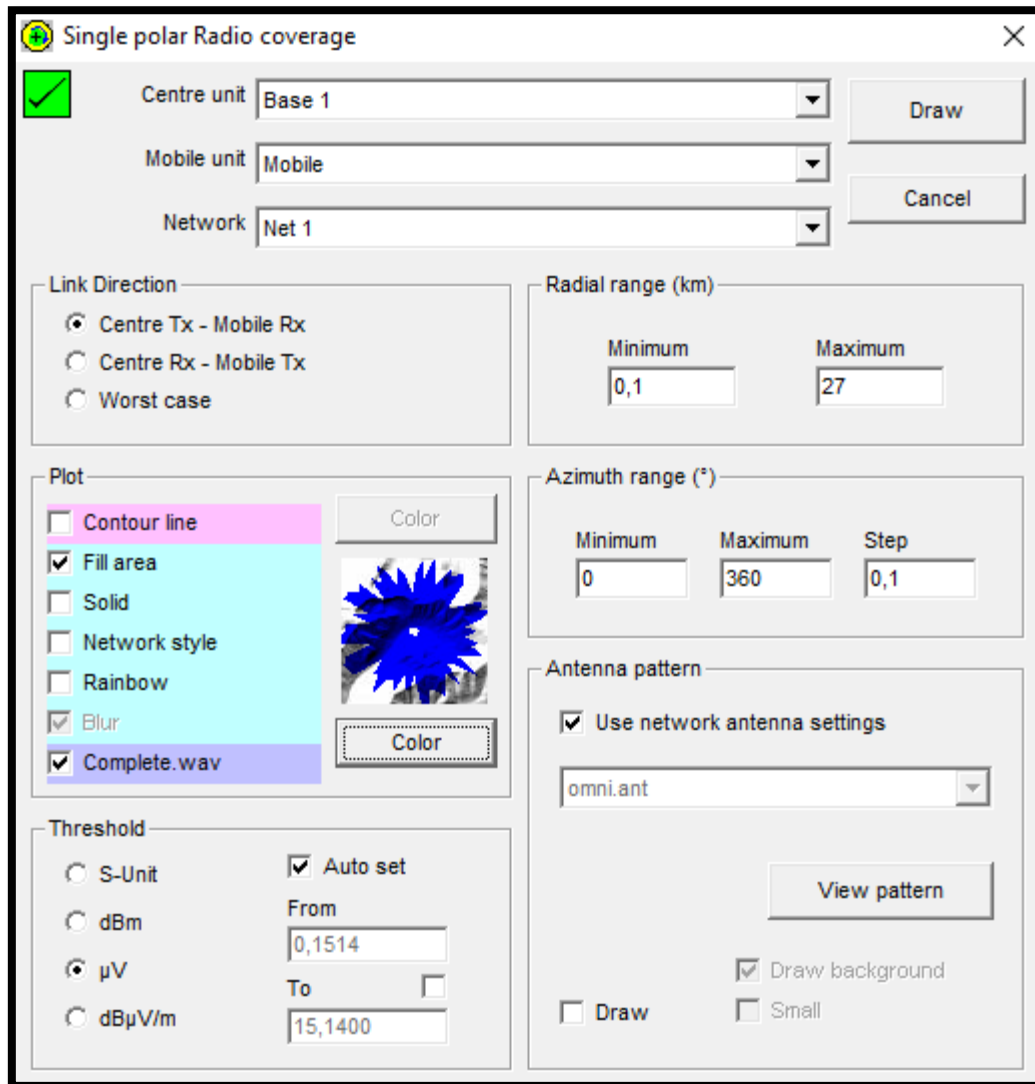
Οι παραπάνω αναλύσεις αφορούν το Downlink. Μπορούμε εύκολα να δούμε και τα αποτελέσματα της ανάλυσης του Uplink επιλέγοντας **Swap**.

Η παραπάνω ζεύξη, μπορεί να απεικονιστεί με τη χρήση του Google Earth από το μενού **Edit/Export to/ Google Earth** και στη συνέχεια **OK**. Το αποτέλεσμα είναι πραγματικά εντυπωσιακό:



Εικόνα 31: Ζεύξη με χρήση Google Earth

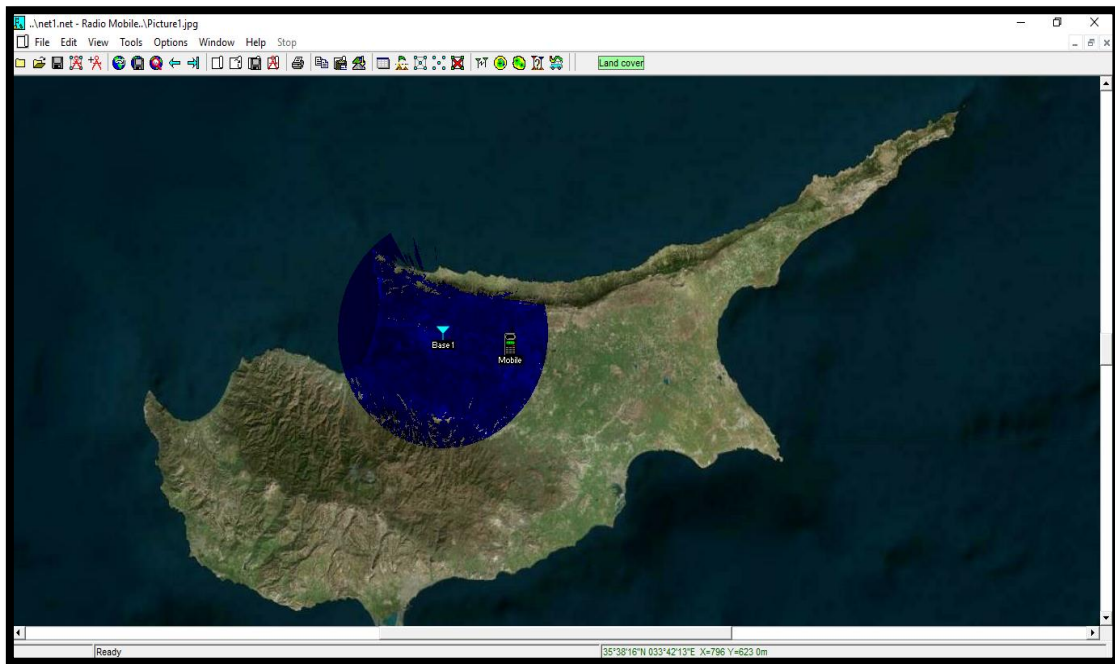
Είδαμε πως ελέγχουμε και αναλύουμε την ζεύξη του Τερματικού με τον Σταθμό Βάσης και το αντίστροφο. Μπορούμε να ελέγξουμε την εμβέλεια του Σταθμού Βάσης περιμετρικά του σταθμού αφού χρησιμοποιούμε πανκατευθυντικές κεραίες. Αφού επιλέξαμε περιμετρικά του σταθμού κάποια σημεία και κάναμε την παραπάνω διαδικασία έτσι ώστε να ελέγξουμε την ποιότητα της ζεύξης αποκτούμε κάποια εικόνα για την ακτίνα του Σταθμού Βάσης κάτι που μπορεί να απεικονιστεί με το **Radio Mobile**. Επιλέγοντας το πλήκτρο F3 ανοίγει το εξής παράθυρο :



Εικόνα 32: Επιλογές ρύθμισης απεικόνισης ακτίνας

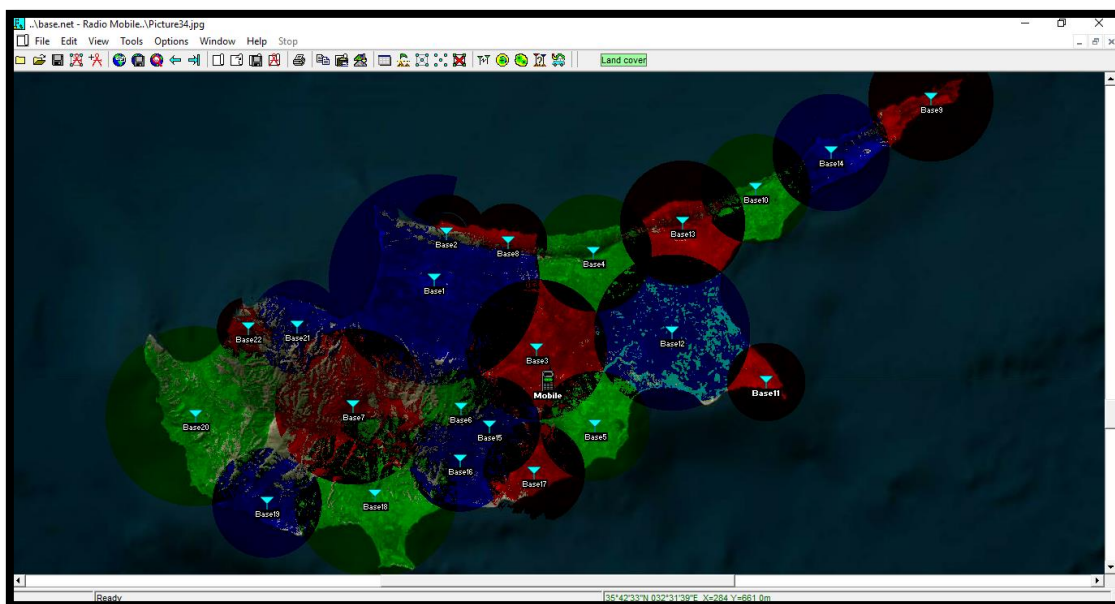
Αφού επιλέξουμε την κεντρική μονάδα ,την κινητή συσκευή, το δίκτυο, την ακτίνα και το χρώμα, επιλέγουμε **Draw** και έχουμε το εξής αποτέλεσμα:





Εικόνα 33: Απεικόνιση ακτίνας

Παρατηρούμε ότι καλύπτεται μια αρκετά μεγάλη περιοχή όμως στο βόρειο τμήμα της Κύπρου το σήμα κόβεται, προφανώς λόγω της μορφολογίας του εδάφους (βουνά, λόφοι κτλ) . Με αυτό τον τρόπο λοιπόν προσπαθούμε να καλύψουμε την γεωγραφική περιοχή της Κύπρου κάνοντας πάντα ελέγχους και ανάλυση της ποιότητας της ζεύξης. Έτσι προκύπτει το εξής αποτέλεσμα:



Εικόνα 34: Κάλυψη της γεωγραφικής περιοχής Κύπρου με Net 1

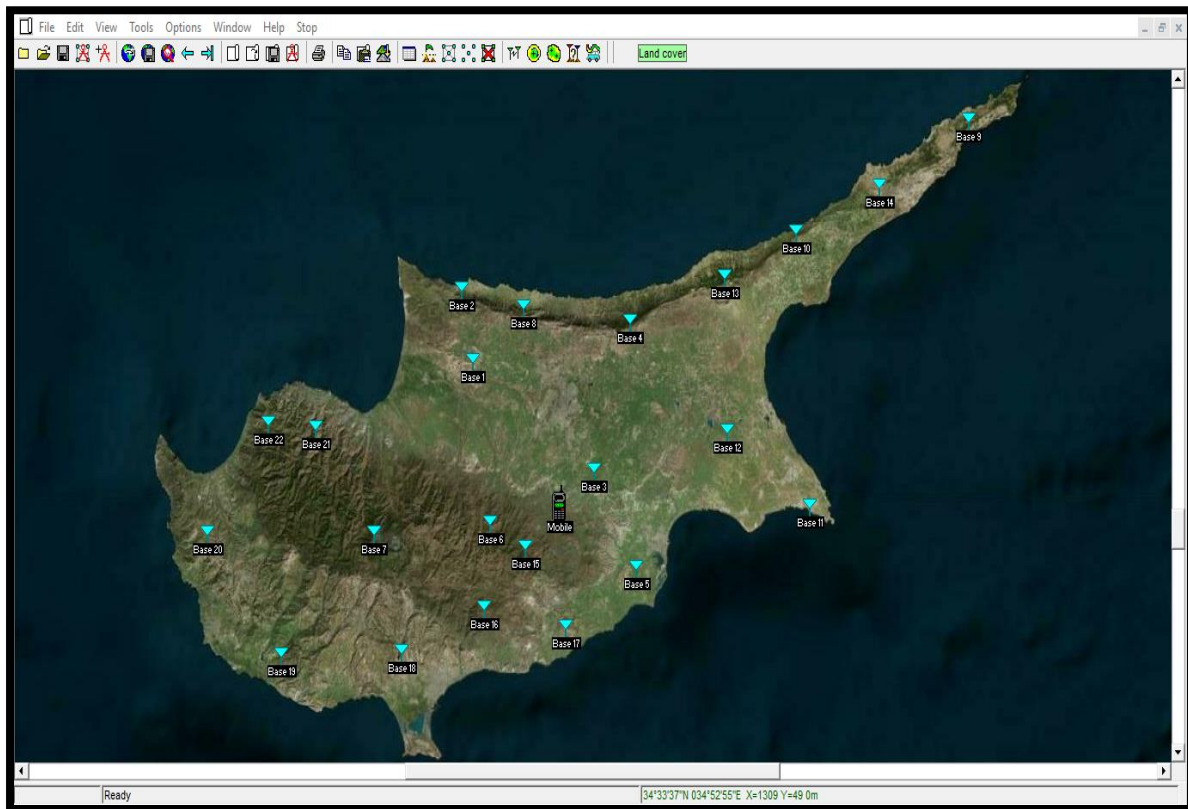


Παρατηρούμε ότι υπάρχει κάλυψη σχεδόν σε όλη την γεωγραφική περιοχή της Κύπρου εκτός αν εξαιρέσουμε κάποια σημεία στις ορεινές περιοχές εξαιτίας της μορφολογία του εδάφους. Είναι αδύνατον να υπάρχει 100% κάλυψη. Επίσης υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των Σταθμών Βάσης. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τους Σταθμούς Βάσης του δικτύου και τις αντίστοιχες ακτίνες.

Net 1	
Base Station Name	Range (km)
Base 1	27
Base 2	10
Base 3	18
Base 4	15
Base 5	14
Base 6	10
Base 7	20
Base 8	11
Base 9	16
Base 10	14
Base 11	10
Base 12	20
Base 13	16
Base 14	15
Base 15	13
Base 16	15
Base 17	13
Base 18	21
Base 19	14
Base 21	13
Base 22	8

Πίνακας 4

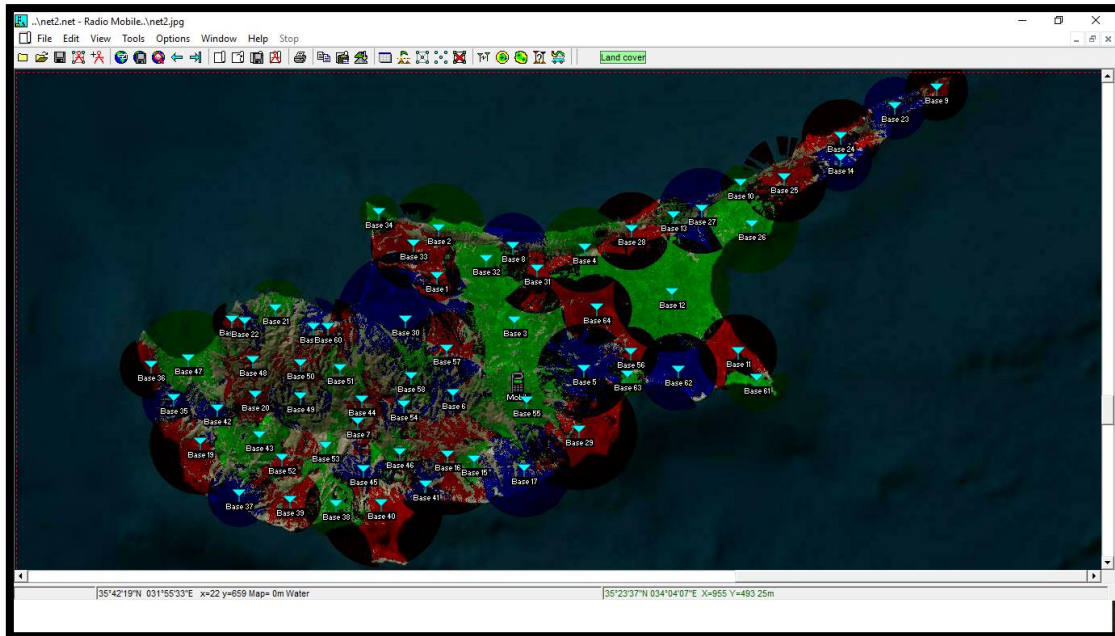
Η παρακάτω εικόνα θα μπορούσε να είναι μια εκδοχή του δικτύου των 450MHz δηλαδή του Net 1.



Εικόνα 35: Net 1

#### 4.2.4.2 Net 2 (2600MHz)

Με την ίδια ακριβώς λογική πάμε να σχεδιάσουμε το Net 2 . Αφού κάνουμε όλες τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο σχεδιασμό του Net 1 προκύπτει το εξής δίκτυο:



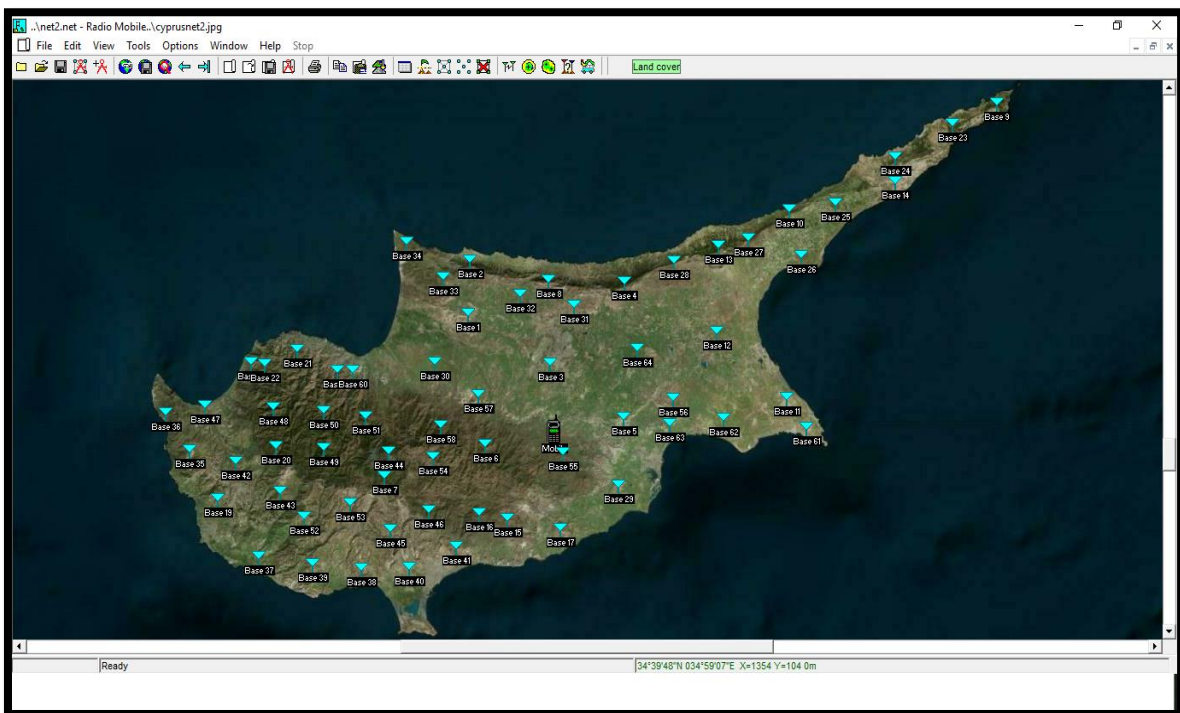
Εικόνα 36: Κάλυψη της γεωγραφικής περιοχής Κύπρου με Net 2

Παρατηρούμε λοιπόν ότι χρειάστηκαν σχεδόν οι τριπλάσιοι Σταθμοί Βάσης για να υπάρχει κάλυψη σε όλη την γεωγραφική περιοχή της Κύπρου. Κάτι που είναι λογικό διότι όσο αυξάνουμε την συχνότητα σήματος τόσο η ισχύς μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον Σταθμό Βάσης. Επίσης στις ορεινές περιοχές παρατηρούμε ότι το σήμα εξασθενεί αρκετά και ότι επηρεάζεται πολύ από την μορφολογία του εδάφους με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά σημεία χωρίς κάλυψη. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τους Σταθμούς Βάσης του δικτύου και τις αντίστοιχες ακτίνες.

Net 2					
Base Station Name	Range (km)	Base Station Name	Range (km)	Base Station Name	Range (km)
Base 1	6	Base 23	8	Base 45	8
Base 2	12	Base 24	10	Base 46	8
Base 3	13	Base 25	11	Base 47	13

Base 4	11	Base 26	12	Base 48	8
Base 5	12	Base 27	11	Base 49	8
Base 6	10	Base 28	10	Base 50	8
Base 7	8	Base 29	15	Base 51	8
Base 8	9	Base 30	18	Base 52	10
Base 9	8	Base 31	11	Base 53	10
Base 10	5	Base 32	11	Base 54	8
Base 11	10	Base 33	11	Base 55	15
Base 12	15	Base 34	5	Base 56	7
Base 13	5	Base 35	8	Base 57	10
Base 14	8	Base 36	8	Base 58	10
Base 15	6	Base 37	8	Base 59	8
Base 16	15	Base 38	8	Base 60	8
Base 17	12	Base 39	8	Base 61	8
Base 18	5	Base 40	16	Base 62	10
Base 19	13	Base 41	7	Base 63	5
Base 20	8	Base 42	10	Base 64	9
Base 21	8	Base 43	12		
Base 22	8	Base 44	8		

Πίνακας 5



Εικόνα 37: Net 2

## 4.3 Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνηθεί η ραδιοκάλυψη στα δίκτυα LTE και όχι η διαστασιολόγηση τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο προτεινόμενος αριθμός σταθμών βάσης δεν λαμβάνει υπόψη τις απώλειες διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα ούτε κάποιο συγκεκριμένο Grade of Service. Σε μια τέτοια περίπτωση αναμένεται ότι ο προτεινόμενος αριθμός σταθμών βάσης θα είναι σημαντικά αυξημένος.

Σχετικά με την σχεδίαση του κυψελοειδούς συστήματος κάναμε την παραδοχή, ότι αφού μιλάμε για ορεινές και αγροτικές περιοχές, ο πληθυσμός θα είναι σχετικά μικρός οπότε δεν αποτελεί περιοριστικά παράγοντα.

Είδαμε λοιπόν στο πρώτο δίκτυο (450 MHz) ότι χρειάστηκαν 22 Σταθμοί βάσης για να έχουμε πλήρη ραδιοκάλυψη της περιοχή.

Σχετικά με το δεύτερο δίκτυο (2600 MHz) χρειάστηκαν πολλοί περισσότεροι Σταθμοί Βάσης για να υπάρχει ραδιοκάλυψη στην γεωγραφική περιοχή της Κύπρου. Επίσης από τις μετρήσεις που έγιναν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι

στο δεύτερο δίκτυο η ισχύς του σήματος επηρεάζεται πολύ πιο εύκολα από την μορφολογία του εδάφους δηλαδή από χαράδρες βουνά, λόφους κτλ.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για την κάλυψη μια ορεινής, αγροτικής περιοχής θα χρησιμοποιούσαμε ένα δίκτυο με σχετικά χαμηλή συχνότητα όπως αυτής του δικτύου 1 (450 MHz) διότι δεν επηρεάζεται τόσο από την μορφολογία του εδάφους. Επίσης, η ακτίνα της κάθε κυψέλης είναι σχετικά μεγάλη κάτι που σημαίνει ότι το σήμα μπορεί να ταξιδεύει με μικρές απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις. Τέλος το κόστος θα είναι μικρότερο αφού χρειάζεται σχετικά μικρός αριθμός Σταθμών Βάσης για την υλοποίηση του δικτύου.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική:

- [1] Αντώνης Χοντζέας, (2011), «*Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής Τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον Κόσμο*»
- [2] Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*»
- [3] Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης & Εμμανουήλ Βαρβαρίγος, (2008) Πανεπιστημιακές Σημειώσεις «*Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών*»

## Ξένη:

- [4] Ian D Brown, (2011) «*Radio Mobile* »

## Ιστοσελίδες:

- [5] [https://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](https://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications)
- [6] <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/umts.php>
- [7] <http://www.myphone.gr/library>
- [8] <http://users.sch.gr//pepoudi/site/pages/page12.html>
- [9] <http://www.iphonellias.gr/forum/topic>
- [10] <https://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [11] <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>

[12] [http://sota.gr/group/tiki-read\\_article.php?articleId=15](http://sota.gr/group/tiki-read_article.php?articleId=15)

# Ευρετήριο Σχημάτων- Εικόνων

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: <https://sites.google.com/site/projecta2pylou/istorike-anadrome>

Εικόνα 2: <https://dsepwiki.wikispaces.com>

Εικόνα 3: <http://cgi.di.uoa.gr/~klimn/mobile/Lec7.pdf>

Εικόνα 4: <http://www.slideshare.net/praveenkmr78/lte-mac-rlc-pdcp>

Εικόνα 5: Αντώνης Χοντζέας, (2011), «*Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής Τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον Κόσμο*», (σελ. 56)

Εικόνα 6: <http://www.conniq.com/WiMAX/mimo-02.htm>

Εικόνα 7: <http://www.slideshare.net/AymanAlsawah/alsawah-mob2lecture03v10-multipleantenna-shared>

Εικόνα 8: <http://www.wikiwand.com/en/MIMO>

Εικόνα 9: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network)

Εικόνα 10: <http://www.mobilemark.com/engineering/antenna-terminology-defined/>

Εικόνα 11: <http://www.mobilemark.com/engineering/antenna-terminology-defined/>

Εικόνα 12: Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*», (σελ. 292)



Εικόνα 13: Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*», (σελ. 293)

Εικόνα14:<http://jwcn.eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-196>

Εικόνα 15: <http://www.wikiwand.com/es/Handover>

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: <https://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

Σχήμα 2: Αντώνης Χοντζέας, (2011), «*Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής Τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον Κόσμο*», (σελ.17)

Σχήμα 3: Αντώνης Χοντζέας, (2011), «*Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής Τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον Κόσμο*», (σελ. 18)

Σχήμα 4: [https://wirelesswire.jp/Close\\_Up\\_Technology/201104251354-5.html](https://wirelesswire.jp/Close_Up_Technology/201104251354-5.html)

Σχήμα 5: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-logical-transport-physical-channels.html>

Σχήμα 6: Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*», (σελ. 294)

Σχήμα 7: Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*», (σελ. 295)

Σχήμα 8: Σπύρος Λούβρος, (2014), «*Το δίκτυο LTE*», (σελ. 297)

Σχήμα 9: <http://designelectrons.blogspot.gr/2011/08/blog-post.html>

Σχήμα 10: [http://sota.gr/group/tiki-read\\_article.php?articleId=15](http://sota.gr/group/tiki-read_article.php?articleId=15)

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** LTE, 4G, UMTS, OFDMA, MIMO, FDD, TDD, eNB, Χωρική Πολυπλεξία, Radio Mobile.