

**Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

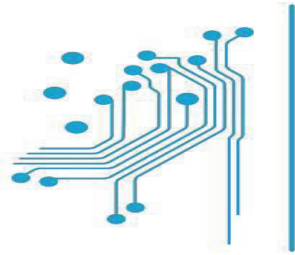
**ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ  
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ  
ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ ΒΑΣΕΙ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ  
ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΦΟΡΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΠΑΤΕΡΑΚΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ**

ΑΝΤΙΡΡΙΟ 2018





**Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

**«ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ  
ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ ΒΑΣΕΙ  
ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΦΟΡΗΤΗΣ  
ΜΟΝΑΔΑΣ.»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΠΑΤΕΡΑΚΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΡΙΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΗΝ**

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Κατά κύριο λόγο, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή Δρ. Ηλία Ασαρίδη, ο οποίος μου προσέφερε αυτό το ενδιαφέρον θέμα και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία. Τον ευχαριστώ επίσης για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς και για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τα όσα έχει κάνει για μένα και τους φίλους για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την παρουσίαση της ραδιοκάλυψης του GSM δικτύου της περιοχής Αντιρρίου. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ισχύος του σήματος σε διάφορα σημεία τις περιοχής, με τις οποίες έγινε πρόβλεψη της ραδιοκάλυψης σε ολόκληρη την περιοχή.

Στο πρώτο κεφάλαιο της πτυχιακής αυτής εργασίας, επιχειρείται μία αναδρομή και μία εισαγωγή στα κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά του GSM και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αρχιτεκτονική του, στις οντότητες που το αποτελούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο στο οποίο μελετάμε την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον χώρο και τις απώλειες που αυτός προκαλεί. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι μηχανισμοί διάδοσης που είναι η ανάκλαση, η περίθλαση και η σκέδαση. Πάνω σε αυτούς τους μηχανισμούς σχολιάζονται τα βασικά εμπειρικά μοντέλα, όπως είναι το μοντέλο ελεύθερου χώρου (FreeSpaceLoss) και το μοντέλο απωλειών λείας επίπεδης επιφάνειας (PlaneEarth). Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται εξειδικευμένα μοντέλα ραδιοκάλυψης. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκεί να εξετάσουν, αν οι αντίστοιχοι παράμετροι καλύπτουν την περίπτωση που πρόκειται να εφαρμοστεί το μοντέλο. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των μετρήσεων και αναλύουμε τη διαδικασία για την εξαγωγή του μοντέλου ραδιοκάλυψης.

## Λέξεις Κλειδιά

μέτρηση ισχύος σήματος, GSM, κυψελωτά συστήματα, ασύρματη διάδοση, ραδιοκάλυψη, μοντέλα ραδιοκάλυψης, απώλειες διάδοσης.

# ABSTRACT

The scope of this thesis is to present the radio coverage of the GSM network at the region of Antirrio . Measurements have been conducted for the power of the signal, the results were used in order to predict the radio coverage in the whole area.

At the first part of this thesis, we are trying to make a rewind to the past of the cellular systems of mobile communications. Certain characteristics of GSM are mentioned, and we emphasize on its architectural structure and its layers. At the second part follows in which we study the distribution of electromagnetic waves in the space and the losses that this causes. The three mechanisms of distribution, which are the reflection, the diffraction and the scattering, are analyzed. On these mechanisms the basic empiric models, as the model of Free Space Loss and the model Plane Earth are analyzed. In the next chapter specialized models of radio coverage of the GSM network are presented. These models can be used, as long as they are examined even though the corresponding parameters cover the case where it is to be applied the model. In the fourth and final chapter is the presentation of measurements and we analyze the process for extracting the radio coverage model.

## **Key Words**

Signal power measurement, GSM, cellular systems, radio coverage, radio propagation, loss propagation, empirical propagation models

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....11**

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	11
1.2 ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	12
1.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 1 <sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (1G).....	13
1.4 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2 <sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (2G).....	14
1.5 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3 <sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (3G) .....	15
1.6 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4 <sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (4G-LTE).....	17
1.7 GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE TELECOMUNICATIONS).....	19
1.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM.....	20
1.9 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM.....	21
1.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM.....	23
1.11 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΟΥ GSM.....	26
1.12 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	28
1.13 ΔΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΤΟΥ GSM.....	28
1.14 ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ NO. 7 (SS7).....	29

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ.....31**

2.1	ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	31
2.2	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.....	31
2.2.1	ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	32
2.2.2	ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ.....	32
2.2.3	ΣΚΕΔΑΣΗ.....	33
2.2.3.1	ΣΚΙΑΣΗ.....	34
2.2.3.2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ.....	34
2.2.3.3	ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ.....	35
2.2.3.3.1	ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ .....	35
2.2.3.3.2	ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	36
2.4	ΠΟΛΥΟΔΕΥΣΗ.....	36
2.5	ΖΩΝΕΣ FRESNEL.....	37
2.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.....	37
2.7	ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ .....	38
2.8	ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΛΕΙΑ, ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	39
2.9	ΜΕΘΟΔΟΣ BULLINGTON.....	41
2.10	ΜΕΘΟΔΟΣ EPSTEIN – PETERSON.....	42
2.11	ΜΕΘΟΔΟΣ DEYGOUT.....	43
2.12	ΜΟΝΤΕΛΟ EGLI.....	44
2.13	ΜΟΝΤΕΛΟ RCS (RADAR CROSS SECTION).....	45

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ.....47**

3.1	ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.....	47
3.2	ΜΟΝΤΕΛΟ LONGLEY – RICE.....	48



3.3	ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΚΥΜΥΡΑ.....	49
3.4	ΜΟΝΤΕΛΟ ΗΑΤΑ.....	52
3.5	ΜΟΝΤΕΛΟ WOLFISCH ΚΑΙ ΒΕΡΤΟΝΙ.....	54
3.6	ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΕ.....	59
3.7	ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΑΚΤΙΝΩΝ (TWORAY).....	60

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ.....63**

4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	63
4.2	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	63
4.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	68
4.4.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΚΘΕΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.....	71

	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
--	-------------------	----

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταφορά και διάδοση πληροφορίας με ασύρματο τρόπο είναι ένα επιστημονικό πεδίο που τις τελευταίες δεκαετίες γνωρίζει ιδιαίτερη άνθιση, καθώς μας απαλλάσσει από τις πολλές περιττές καλωδιώσεις των ενσύρματων δικτύων και δίνει τη δυνατότητα ευρείας κάλυψης χρηστών, που μπορούν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς πληροφορίας να κινούνται. Συγκεκριμένα, ο κλάδος των κινητών τηλεπικοινωνιών, εξετάζει την επικοινωνία χρηστών μεταξύ τους με ασύρματο τρόπο.

Η μελέτη και η συνεχής βελτιστοποίηση των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, αποτελεί το μεγάλο και διαρκές στοίχημα των τηλεπικοινωνιακών μηχανικών. Η ανάπτυξη όλο και αποδοτικότερων συστημάτων είναι αναγκαία, έτσι ώστε να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε κατά το δυνατόν καλύτερα το περιορισμένο διαθέσιμο φάσμα, ελαχιστοποιώντας τις παρεμβολές, βελτιστοποιώντας την ποιότητα παροχής υπηρεσιών, με παράλληλη αύξηση του αριθμού των εξυπηρετούμενων χρηστών, με απώτερο σκοπό να καταλήξουμε σε ένα βέλτιστο μοντέλο σχεδίασης.

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ένταση του κύματος σε μία περιοχή πρέπει να συλλέξουμε και τις απαραίτητες πληροφορίες σε ότι αφορά τη διάδοση του κύματος. Αρχικά πρέπει να ξέρουμε τη συχνότητα του σήματος, την φυσιολογία του εδάφους έπειτα την έκταση των κατοικημένων περιοχών. Στη συνέχεια τα ύψη που έχουν οι κεραιές, τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η τυχαία κίνηση των οχημάτων και φυσικά τα μεγάλα εμπόδια όπως είναι οι λόφοι και τα βουνά. Επειδή όμως υπάρχουν αυτές οι συνθήκες που κάνουν δύσκολη τη μελέτη αλλά και τη διάδοση του σήματος, είναι φυσικό πως δεν υπάρχει ένας μαθηματικός τύπος να καλύπτει όλες αυτές τις διακυμάνσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν μεταβολές στη κάθε περιοχή. Γι' αυτό το λόγο η μελέτη της έντασης του σήματος γίνεται με μεθόδους στατιστικής ανάλυσης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

## 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Επιχειρώντας να δώσουμε έναν ορισμό των επικοινωνιών, θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχουν στόχο την αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και η επιβεβαίωση της πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διάκριση μεταξύ των όρων Επικοινωνία και Τηλεπικοινωνία. Η ετυμολογία του όρου καθορίζει και την ορθή χρήση του. Όταν έχουμε επικοινωνίες σε μακρινές αποστάσεις τότε είναι πιο δόκιμη η χρήση του όρου Τηλεπικοινωνία.

Εξετάζοντας την ιστορική εξέλιξη των επικοινωνιών, παρατηρούμε ότι η εξέλιξη του ηλεκτρισμού και της ηλεκτρονικής έδωσαν ώθηση για νέες εφευρέσεις, όπως ο τηλεγράφος (1854) και το τηλέφωνο (1876). Τα δίκτυα τους εξαπλώθηκαν σταδιακά σε όλον τον κόσμο αλλάζοντας οριστικά τον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων.

Ένας βασικός περιορισμός της αρχικής μορφής αυτών των δύο μέσων ήταν η εξάρτηση από ενσύρματο μέσο, γεγονός που αφενός απαιτεί εγκατάσταση καλωδιακής σύνδεσης προκειμένου να προσφερθούν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε κάποιον συνδρομητή, αφετέρου περιορίζει (έως και απαγορεύει) την κινητικότητα του χρήστη. Έτσι με την πάροδο του χρόνου η έρευνα κινήθηκε στην κατεύθυνση της ανάπτυξης ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Αρχικά για στρατιωτικές και ναυσιπλοϊκές εφαρμογές και ραδιοηλεκτρονικές μεταδόσεις, αργότερα για διασύνδεση ενσύρματων τηλεφωνικών δικτύων μεταξύ περιοχών που παρουσιάζουν δυσκολίες στην ενσύρματη σύνδεση (κυρίως νησιά) και πιο πρόσφατα για την ασύρματη κινητή τηλεφωνία, που συμπληρώνει το ενσύρματο τηλεφωνικό δίκτυο καλύπτοντας εγγενείς αδυναμίες του καιρού αποτελεί το βασικό αντικείμενο που θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία.

## 1.2 ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ο όρος κινητές επικοινωνίες σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς χρήστες. Ο κυριότερος σκοπός των επερχόμενων υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών είναι η πραγματοποίηση κάθε μορφής επικοινωνίας, με οποιοδήποτε πρόσωπο σε οποιοδήποτε μέρος. Οι έννοιες που καθιστούν δυνατή την παροχή επικοινωνιών σε οποιοδήποτε μέρος είναι:

- Η *κινητικότητα του τερματικού* (Terminal Mobility), η οποία παρέχεται από την ασύρματη πρόσβαση και αναφέρεται στην ικανότητα του τερματικού να αποκτά πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες από όποιο σημείο βρίσκεται, καθώς και στη δυνατότητα του δικτύου να εντοπίζει και να αναγνωρίζει το κινητό τερματικό ενώ αυτό κινείται. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να βρίσκεται το τερματικό εντός της περιοχής ραδιοκάλυψης.
- Η *προσωπική κινητικότητα* (Personal Mobility), η οποία βασίζεται σε προσωπικούς αριθμούς κλήσης. Η προσωπική κινητικότητα αναφέρεται αφενός στη δυνατότητα των χρηστών να πραγματοποιούν ή να δέχονται κλήσεις με οποιοδήποτε κατάλληλο τερματικό και σε οποιαδήποτε θέση και να έχουν πρόσβαση σε διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και αφετέρου στην ικανότητα του δικτύου να προσδιορίζει τους χρήστες ενώ αυτοί κινούνται. Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί μεριμνούν για την παροχή υπηρεσιών όπως η αναμονή κλήσης (call waiting), η προώθηση κλήσης (call forwarding) και ο προσωπικός αριθμός (personal number), με τις οποίες εξασφαλίζεται σε ένα βαθμό η κινητικότητα στους χρήστες.
- Η *μεταφερσιμότητα των υπηρεσιών* (Service Portability), η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα του δικτύου να παρέχει υπηρεσίες σε τερματικό ή σε θέση που θα ζητήσει ο χρήστης. Βέβαια αυτές οι υπηρεσίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητες του τερματικού που έχει ο χρήστης, αλλά και από τις δυνατότητες

του δικτύου που εξυπηρετεί το τερματικό. Η μεταφερσιμότητα των υπηρεσιών πραγματοποιείται με ενημέρωση του προφίλ εξυπηρέτησης κάθε χρήστη και την αναζήτηση του προφίλ όταν χρειάζεται.

### 1.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 1<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (1G)

Τα ασύρματα δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G), αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και έλαβαν χώρα στις περιοχές των Η.Π.Α. αλλά και της Ιαπωνίας. Παρ'όλα αυτά, το πρώτο ασύρματο δίκτυο με κυψελωτή δομή παρουσιάστηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του 1980. Η κυψελωτή δομή των ασύρματων δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς, δηλαδή η διαίρεση της περιοχής κάλυψης σε μικρότερα κελιά (κυψέλες) αλλά και η δυνατότητα χρήσης ίδιων συχνοτήτων στο ίδιο δίκτυο και με πολύ μικρό ποσοστό φαινομένων παρεμβολής, ήταν μία επαναστατική μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα.

Όσον αφορά τις κυψέλες, η κάθε μία έχει ένα σταθμό βάσης όπου εκεί γίνεται η υλοποίηση αλλά και η δρομολόγηση της κλήσης. Η εκάστοτε κυψέλη έχει συγκεκριμένη ακτίνα και αυτό εξαρτάται από την κεραία που θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, η επιλογή της κεραίας γίνεται σύμφωνα με κάποια κριτήρια. Τα δύο πιο σημαντικά κριτήρια είναι ο γεωγραφικός τόπος, δηλαδή αν η περιοχή κάλυψης είναι μία πεδιάδα ή μία ορεινή περιοχή με λόφους και το άλλο κριτήριο είναι ο αριθμός χρηστών που υπάρχει στην περιοχή κάλυψης. Όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μια περιοχή τόσο περισσότερες κεραίες με μικρή ακτίνα χρειάζονται. Όταν κάνουμε λόγο για κυψέλη μικρής ακτίνας σημαίνει μικρότερη του ενός χιλιομέτρου.

Σε αντίθεση με την κυψέλη μεγάλης ακτίνας που έχει μήκος έως τριάντα χιλιόμετρα. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων πρώτης γενιάς τα οποία πρέπει να αναφερθούν είναι: α) ότι δέκτης και πομπός επικοινωνούσαν μέσω της ίδιας συχνότητας, β) η επικοινωνία τερματίζει σε περίπτωση όπου είτε ο πομπός είτε ο δέκτης έβγαινε εκτός εμβέλειας του κυττάρου αφού δεν είχε αναπτυχθεί ακόμα η τεχνολογία handover, γ) τα δίκτυα είχαν ελάχιστη χωρητικότητα, δ) η μετάδοση της φωνής

γινόταν με αναλογικούς τρόπους και τεχνολογίες. Συστήματα τέτοιου τύπου είναι Advanced Mobile Phone Services(AMPS), US Digital Cellular Standard IS-54(USDC), European Total Access Communication System (ETACS).

## 1.4 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (2G)

Λόγω της περιορισμένης δυνατότητας των δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς αλλά και της ζήτησης από το αγοραστικό κοινό, γρήγορα υπήρξε η ανάγκη για βελτίωση των δικτύων και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την γέννηση των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς, το οποίο ήταν τόσο καλύτερο από το προηγούμενο αλλά και τόσο αξιόπιστο όπου υπάρχουν μέχρι και σήμερα.

Η δεύτερη γενιά (2G)είναι γενιά κυψελοειδών δικτύων τηλεπικοινωνιών και έχουν εμπορική λειτουργία στο πρότυπο GSM στη Φινλανδία από το έτος 1991 και έπειτα. Τα τρία κυριότερα πλεονεκτήματα των δικτύων 2G έναντι των προκατόχους, ήταν ότι οι τηλεφωνικές συνομιλίες, οι οποίες κρυπτογραφούνται ψηφιακά, ότι τα συστήματα 2G ήταν πολύ αποτελεσματικότερα ως προς το φάσμα, που επιτρέπει πολύ υψηλότερα επίπεδα διεύθυνσης της κινητής τηλεφωνίας και τέλος, η τεχνολογία 2G εισήγαγε υπηρεσίες δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, αρχής γενομένης με μηνύματα κειμένου SMS(Short Message Service). Οι 2G τεχνολογίες επέτρεψαν στα διάφορα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας την παροχή των πιο εξελιγμένων υπηρεσιών, όπως τα μηνύματα κειμένου, τα εικονομηνύματα και τα MMS (Multimedia Messaging Service). Όλα τα μηνύματα κειμένου, που αποστέλλονται μέσω 2G, επίσης, κρυπτογραφούνται ψηφιακά, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο, ώστε μόνο ο προοριζόμενος παραλήπτης να είναι δυνατό να λάβει και να τα αναγνώσει. Ύστερα το 2G αντικαταστάθηκε από νεότερες τεχνολογίες. Ωστόσο, τα δίκτυα 2G χρησιμοποιούνται, ακόμη σε πολλά μέρη του κόσμου, όπου το κόστος ανάπτυξης των μετεξελίξεων του είναι σχεδόν απαγορευτικό.

Μία καινοτομία που έφερε η τεχνολογία των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι η ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων, η οποία γίνεται με την τεχνική της TDMA (time division multiple access) καθώς και με τη

CDMA (code division multiple access). Την τεχνική TDMA, χρησιμοποιεί το σύστημα δεύτερης γενιάς γνωστό σε όλους με το όνομα GSM (Global System for Mobile). Το GSM αναπτύχθηκε στην Ευρώπη από την European Technical Standards Institute (ETSI). Το GSM χρησιμοποιήθηκε σε 140 χώρες και από 350 εκατομμύρια χρήστες. Η ζώνη λειτουργίας του είναι 800-900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο κυριότερος λόγος ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη (φάσμα) συχνοτήτων της τάξης των 900 Mhz όπου είναι η ζώνη λειτουργίας.

## **1.5 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (3G)**

Η τρίτη γενιά (3G) , είναι η τρίτη γενιά της τεχνολογίας της κινητής επικοινωνίας, η οποία εμφανίστηκε το 2001. Αυτή η γενιά βασίζεται σε ένα σύνολο προτύπων, που χρησιμοποιούνται για κινητές συσκευές και υπηρεσίες κινητής χρήσης τηλεπικοινωνιών και δικτύων, που υπακούνε στις προδιαγραφές των διεθνών κινητών τηλεπικοινωνιών (IMT - 2000) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών. Η τρίτη γενιά(3G) βρίσκει εφαρμογή στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, στην κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο, στη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο, σε κλήσεις βίντεο και στην κινητή τηλεόραση.

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα 3G με τις υπηρεσίες υποστήριξης παρέχουν μια ταχύτητα μεταφοράς πληροφοριών τουλάχιστον 200 kbps. Το δίκτυο 3G απελευθερώνεται και μετεξελίσσεται, ενώ συχνά συμβολίζεται με 3.5G και 3.75G, θέλοντας να σηματοδοτηθεί η ανάπτυξη γρηγορότερων και ταχύτερων υπηρεσιών. Επίσης, παρέχεται κινητή ευζωνική πρόσβαση πολλών Mbps σε έξυπνα τηλέφωνα και σε κινητά μόντεμ για φορητούς υπολογιστές. Πολλές εταιρείες τηλεπικοινωνιακών αγορών παρέχουν ασύρματες υπηρεσίες διαδικτύου μέσω κινητού τηλεφώνου , όπως για παράδειγμα το 3G , υποδεικνύοντας ότι η διαφημιζόμενη υπηρεσία παρέχεται μέσω ασύρματου δικτύου 3G. Τα 3G συστήματα είναι επώνυμα και συνοψίζονται στα πιο κάτω:

- Το σύστημα UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) , που προσφέρθηκε για πρώτη φορά το 2001, έχει τυποποιηθεί από

το 3GPP και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη, την Ιαπωνία , την Κίνα και σε άλλες περιοχές, ενώ κυριάρχησε με βάση την υποδομή του συστήματος GSM 2G. Πολλές ραδιοεπαφές προσφέρονται και μοιράζονται την ίδια υποδομή. Το πρωτότυπο και η πιο διαδεδομένη διεπαφή ραδιοσυχνοτήτων ονομάζεται W - CDMA. Η διεπαφή των ραδιοσυχνοτήτων TD - SCDMA εμφανίστηκε στο εμπόριο το 2009 και προσφέρεται μόνο στην Κίνα. Η τελευταία έκδοση UMTS , HSPA + , μπορεί να προσφέρει μέγιστη ταχύτητα δεδομένων έως 56 Mbps στην κάθοδο (downlink) θεωρητικά και πρακτικά έως 28 Mbps, που εμφανίζονται στις υπάρχουσες υπηρεσίες και 22 Mbps στην άνοδο (uplink).

- Το σύστημα CDMA2000 εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2002, το οποίο έχει τυποποιηθεί από 3GPP2 , που χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Κορέα, για την ανταλλαγή των υποδομών με το πρότυπο IS - 95 2G. Η τελευταία έκδοση EVDO (Enhanced Voice-Data Optimized) προσφέρει μέγιστες ταχύτητες των 14,7 Mbps. Τα παραπάνω συστήματα και οι διεπαφές λειτουργούν με βάση το φάσμα της ασύρματης τεχνολογίας μετάδοσης. Ενώ, το πρότυπο GSM EDGE " 2,9G " , τα ασύρματα τηλέφωνα DECT και τα πρότυπα Mobile WiMAX επίσημα πληρούν, επίσης, τις απαιτήσεις IMT -2000 και έχουν εγκριθεί ως πρότυπα 3G από την ITU , αυτά συνήθως δεν έχουν την επωνυμία 3G και βασίζονται σε εντελώς διαφορετικές τεχνολογίες.

Τα δίκτυα 3G προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια από ότι οι προκάτοχοί τους. Το εύρος ζώνης και οι πληροφορίες για τη θέση στη διάθεση των συσκευών 3G δημιουργούν εφαρμογές, που δεν ήταν προηγουμένως διαθέσιμες για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Μερικές από τις εφαρμογές είναι: Mobile TV, Video on demand, Video Conferencing, Τηλεϊατρική, Location-based services, Global Positioning System (GPS), που έχουν βοηθήσει σε πολλούς τομείς της σύγχρονης ανθρώπινης δραστηριότητας. Όμως, η αυξημένη πρόοδος στον τομέα κατέστησε την εν λόγω τεχνολογία σύντομα παρωχημένη και άρχισε να αντικαθίσταται από την επόμενη γενιάς τεχνολογία, τη 4G.



## 1.6 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (4G-LTE)

Τα δίκτυα LTE (Long Term Evolution) αποτελούν ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία, το οποίο αναπτύχθηκε από τον οργανισμό 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project). Αποτελεί εξέλιξη των ασύρματων δικτύων GSM (Global System for Mobile) και UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) προς ένα δίκτυο ευρείας ζώνης με αυξημένη χωρητικότητα και μεγαλύτερη ταχύτητα δικτύου. Ιστορικά το πρώτο δημόσιο δίκτυο LTE που εγκαταστάθηκε στο κόσμο, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera στις 14 Δεκεμβρίου 2009.

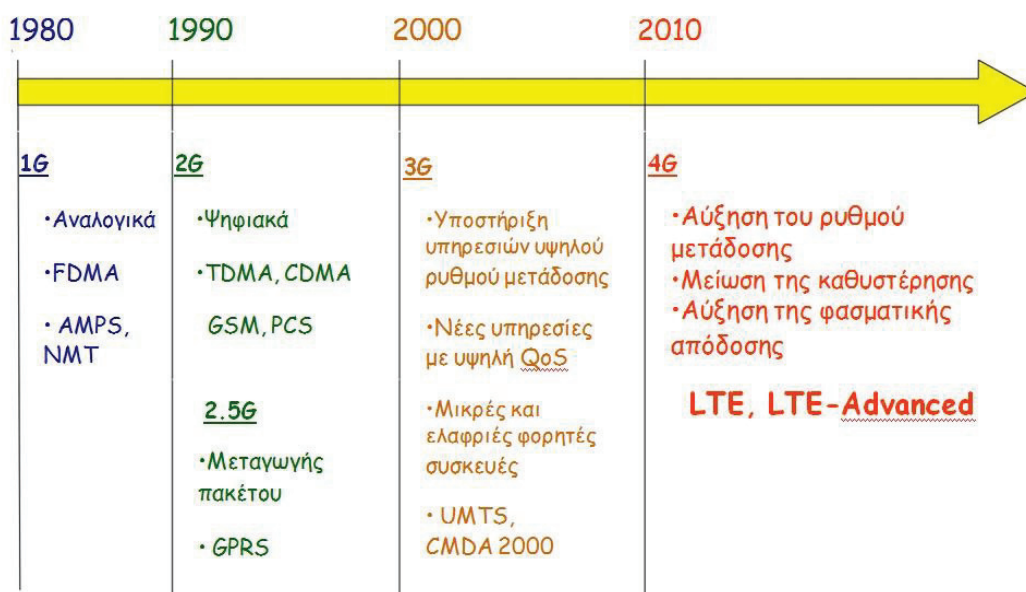
Παρόλο που το δίκτυο LTE αποτελεί φυσική εξέλιξη των δικτύων GSM/UMTS, το έχουν υιοθετήσει και πάροχοι άλλων δικτύων όπως το CDMA με παρόχους τις Verizon στη Β. Αμερική και AUBYKDDI στην Ιαπωνία. Η έκδοση 8 του δικτύου LTE αν και αναφερόταν ως σύστημα 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας (4G) τυπικά δεν ίσχυε κάτι τέτοιο καθώς δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις που είχε ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Για το λόγο αυτό, το LTE αναβαθμίστηκε στην έκδοση 10 και μετονομάστηκε σε LTEAdvanced για να πληροί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα 4G. Τα πιο σημαντικά κίνητρα για την ανάπτυξη του LTE ήταν τα εξής:

- Υψηλή χωρητικότητα συστήματος (περισσότεροι ταυτόχρονοι χρήστες ανά κυψέλη) και μικρότερο κόστος ανά δυαδικό ψηφίο. Η χωρητικότητα για τα 4G συστήματα είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G, ενώ το κόστος ανά δυαδικό ψηφίο μειώθηκε σημαντικά, έτσι ώστε η χρέωση να γίνει χαμηλή και για το λόγο αυτό εξαπλώθηκε σημαντικά η χρήση του διαδικτύου σε κινητές συσκευές.
- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας. Τα συστήματα τέταρτης γενιάς προσφέρουν μέχρι 1 Gbps για ταχύτητα download και τουλάχιστον 500Mbps για upload ταχύτητες, ενώ για τα κινούμενα οχήματα η ελάχιστη ταχύτητα αγγίζει τα 100Mbps.

- Παροχή εξαιρετικής ποιότητας υπηρεσιών (Quality of service- QoS) για τις εφαρμογές πολυμέσων, όπως MMS , video chat , mobile TV , Digital Video Broadcasting.
- Η χαμηλότερη πολυπλοκότητα.
- Η αποφυγή του άσκοπου κατακερματισμού των τεχνολογιών για συνδεδεμένες και ασύνδετες ζώνες λειτουργίας.

Έτσι το πρότυπο LTE για να ικανοποιήσει τις παραπάνω απαιτήσεις των χρηστών έπρεπε να σχεδιαστεί κατ'αυτόν τον τρόπο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει μια μεγάλη ποικιλία από υπηρεσίες, όπως η περιήγηση στο διαδίκτυο, videostreaming, υπηρεσίες VoIP, διαδικτυακό παιχνίδι.

Η νεότερη έκδοση του συστήματος LTE προσφέρει ακόμη υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερη φασματική απόδοση σε σχέση με την έκδοση 8. Σχετικά με την απήχηση των δικτύων LTE στον κόσμο, σύμφωνα με έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί από την IDATE ο αριθμός των συνδρομητών σε δίκτυα LTE το 2013 άγγιξε τα διακόσια εκατομμύρια, ενώ μέχρι το τέλος του 2017 θα είναι κοντά στο να ξεπεράσουν το ένα δισεκατομμύριο.



Εικόνα 1.1: Η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών

## 1.7 GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE TELECOMMUNICATIONS)

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε περαιτέρω το πρότυπο GSM και πιο συγκεκριμένα την αρχιτεκτονική του και τις λειτουργίες που εκτελεί. Το GSM είναι ένα ψηφιακό κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών που αναπτύχθηκε ώστε να δημιουργηθεί ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο κινητής τηλεφωνίας, αλλά γρήγορα έγινε αποδεκτό σε όλο τον κόσμο. Η ιδέα για την ανάπτυξη ενός κυψελωτού συστήματος κινητών επικοινωνιών είχε αναπτυχθεί στις αρχές του 1970, όμως η εμπορική χρήση τους έγινε στη δεκαετία του '80. Στις αρχές του 1980, στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στη Σκανδιναβία και την Αγγλία, τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών βρίσκονταν σε μεγάλη ανάπτυξη. Το πρόβλημα, όμως, ήταν ότι κάθε χώρα είχε το δικό της σύστημα κινητών επικοινωνιών, το οποίο ήταν διαφορετικό και ασύμβατο με τα συστήματα των υπολοίπων χωρών. Για να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα, το 1982 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (Conference of European Posts and Telecommunications - CEPT) δημιούργησε μια ομάδα έρευνας, που ονομάστηκε **Groupe Speciale Mobile**, ώστε να αναπτύξει ένα πανευρωπαϊκό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το σύστημα αυτό θα έπρεπε να συμφωνεί με τα παρακάτω κριτήρια:

- Καλή ποιότητα φωνής
- Χαμηλό κόστος τερματικών, σταθμών βάσης και υπηρεσιών
- Διεθνή περιαγωγή (roaming)
- Ικανότητα να υποστηρίζει νέες υπηρεσίες
- Συμβατότητα με άλλα συστήματα, όπως το **Integrated Services Digital Network (ISDN)**

- Αποδοτικότητα φάσματος

Το 1989 υπεύθυνο για το GSM έγινε το Ινστιτούτο για τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute – ETSI) και η πρώτη φάση των προδιαγραφών δημοσιοποιήθηκε το 1990. Η εμπορική χρήση έγινε στα μέσα του 1991 και μέχρι το 1993 υπήρχαν 36 δίκτυα GSM σε 22 χώρες. Παρόλο που το GSM αναπτύχθηκε ως ένα πρότυπο για την Ευρώπη, χρησιμοποιείται παγκόσμια. Στις αρχές του 1994 υπήρχαν 1.3 εκατομμύρια συνδρομητές σε όλο τον κόσμο και έγιναν 55 εκατομμύρια το 1997. Επομένως, δίκτυα GSM υπήρχαν σε όλο τον κόσμο και έτσι το ακρωνύμιο GSM χρησιμοποιήθηκε για τον όρο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communications – GSM).

## 1.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

Η τεχνολογία του GSM βασίζεται στη μετατροπή του αναλογικού σήματος φωνής σε ψηφιακό και τη μετάδοση του γύρω από τις συχνότητες 900 ή 1800 MHz, σε κανάλια εύρους 200 KHz. Το σύστημα GSM επιτρέπει την κίνηση των συνδρομητών του τόσο εντός της ίδιας κυψέλης, όσο και μεταξύ διαφορετικών κυψελών χωρίς διακοπή της επικοινωνίας.

Η εκπομπή από το σταθμό βάσης (downlink) για το GSM 900 γίνεται στην περιοχή 935-960 MHz, ενώ η εκπομπή από τα κινητά τερματικά (uplink) στην περιοχή 890-915 MHz. Για το GSM 1800 (ή όπως είναι πιο γνωστό, Digital Cellular System 1800- Ψηφιακό Κυψελωτό Σύστημα 1800), οι αντίστοιχες συχνότητες είναι 1805-1880 MHz για το downlink και 1710-1785 MHz για το uplink.

Το κανάλι επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά μεταξύ κινητού και σταθμού βάσης ορίζεται από το σταθμό βάσης. Κάθε σταθμός μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα ένα μεγάλο πλήθος καναλιών χρησιμοποιώντας τεχνική FDMA (Frequency Division Multiple Access–Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Συχνότητας). Το πλήθος των καναλιών που θα

χειριστεί ο κάθε σταθμός βάσης καθορίζεται από το σχεδιαστή του δικτύου βάσει των αναγκών σε υποστηριζόμενο όγκο κίνησης της κυψέλης. Φυσικά, δε μπορεί να ξεπεράσει τα μέγιστα όρια που έχουν αναφερθεί.

Σε κάθε κανάλι του σταθμού βάσης μπορούν να συνομιλούν ταυτόχρονα οκτώ διαφορετικά κινητά τηλέφωνα. Η κοινή χρήση του καναλιού επιτυγχάνεται με τεχνική TDMA (Time Division Multiple Access- Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου) οκτώ χρονοθυρίδων.

Ο κάθε σταθμός εκπέμπει μόνο για διάρκεια μιας χρονοθυρίδας στη διάρκεια του TDMA πλαισίου και σιγεί για τις υπόλοιπες επτά. Η διάρκεια εκπομπής του κάθε σταθμού είναι προφανώς το ένα όγδοο του συνολικού μήκους του πλαισίου, δηλαδή περίπου 577  $\mu\text{sec}$ . Έτσι, τα κινητά δεν εκπέμπουν ούτε και λαμβάνουν συνεχώς, αλλά έχουν επαναλαμβανόμενη και διακοπτόμενη εκπομπή και λήψη που επιβάλλεται από την TDMA.

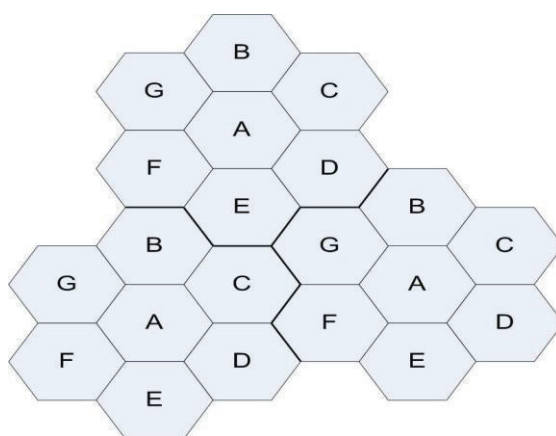
Αξιοσημείωτη ακόμα είναι η μη ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη του κινητού με την τεχνική TDD (Time Division Duplexing - Αμφιδρόμηση με Διαίρεση Χρόνου), γεγονός που επιτρέπει τη μείωση του βάρους, του κόστους και της κατανάλωσης των κινητών.

## 1.9 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

Καθώς περνούσαν τα χρόνια, όμως, τα συστήματα αυτά έφτασαν στα όρια της εξυπηρέτησης των χρηστών. Έτσι στα τέλη της δεκαετίας του 1960 οι εταιρίες ανέπτυξαν τις βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων. Η βασική ιδέα σε αυτά ήταν ο κατακερματισμός της περιοχής κάλυψης σε υποπεριοχές, οι οποίες ονομάστηκαν *κυψέλες* (cells) και κάθε μια από αυτές επαναχρησιμοποιεί τους διαύλους, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητά τους.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός κυψελωτού συστήματος είναι η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης καναλιών. Η επαναχρησιμοποίηση γίνεται με τη δημιουργία συστάδων κυψελών που χρησιμοποιούν συγκεκριμένες συχνότητες. Γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες

για να αποφύγουμε την παρεμβολή. Επίσης θα πρέπει να έχουμε ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής για περιορισμό της ισχύος του σήματος που διαφεύγει στις γειτονικές κυψέλες και να καθοριστεί ο αριθμός των κυψέλων που πρέπει να παρεμβληθούν ανάμεσα σε δύο κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.



*Εικόνα 1.2: Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων*

Η συνολική χωρητικότητα των συστημάτων αυξάνεται με τη χρήση μικρότερων κυψελών και περισσότερων και χαμηλότερης ισχύος σταθμών βάσης από παλαιότερα κυψελωτά συστήματα. Μια από τις σπουδαιότερες λειτουργίες των κυψελωτών συστημάτων είναι η διαπομπή (handover). Η διαπομπή είναι η λειτουργία της μεταγωγής της κίνησης από ραδιοδιάυλο ενός σταθμού βάσης σε ραδιοδιάυλο άλλου σταθμού, καθώς το κινητό μετακινείται από την περιοχή κάλυψης του ενός σταθμού προς την περιοχή του άλλου. Με το πέρασμα των χρόνων, για να βελτιωθεί η διαδικασία ελέγχου, ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των διαπομπών, χρησιμοποιήθηκαν πολύ μικρές κυψέλες για την κάλυψη πολύ μικρών και πυκνοκατοικημένων περιοχών, όπως εμπορικά κέντρα, γήπεδα, σταθμοί μετρό κ.α.

Η πυκνότητα του πληθυσμού σε μια χώρα ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, επομένως χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι κυψελών:

- Μακροκυψέλες (macrocells), οι οποίες είναι μεγάλες κυψέλες για απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές
- Μικροκυψέλες (microcells), οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και έχουν πομπό με μικρή στάθμη ισχύος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πιθανότητα παρεμβολών.
- Επιλεκτικές κυψέλες (selective cells), οι οποίες δεν έχουν κάλυψη 360° και χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην είσοδο μιας σήραγγας, όπου χρειάζεται κυψέλη με κάλυψη 120°.
- Κυψέλες τύπου ομπρέλας, (umbrellacells), οι οποίες καλύπτουν πολλές μικρότερες κυψέλες και χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετούν χρήστες που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα. Με αυτόν τον τρόπο, δεν χρειάζεται να γίνονται συνεχείς διαπομπές στις μικρότερες κυψέλες, αφού ο χρήστης μένει για πολύ χρόνο μέσα στην μεγάλη κυψέλη.

Άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν τη μορφή και το μέγεθος των κυψελών, είναι τα φυσικά εμπόδια (π.χ. βουνά), ενώ διαφοροποιήσεις στην επιλογή του σημείου και του ύψους που θα τοποθετηθεί η κεραία της κυψέλης οφείλονται και στην ύπαρξη ψηλών κτιρίων, πυκνής βλάστησης και άλλων ειδικών για κάθε περιοχή χαρακτηριστικών.

## 1.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

Ένα δίκτυο GSM συντίθεται από πολλές οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες και οι διεπαφές είναι καθορισμένες. Το δίκτυο χωρίζεται σε τέσσερα μέρη:

1. Τον *κινητό σταθμό* (**Mobile Station - MS**)
2. Το *υποσύστημα σταθμών βάσης* (**Base Station Subsystem - BSS**)
3. Το *υποσύστημα μεταγωγής και δικτύου* (**Network and Switching Subsystem - NSS**)
4. Το *υποσύστημα λειτουργίας και υποστήριξης* (**Operation and Support Subsystem-OSS**)

1) Ο κινητός σταθμός ή κινητό τερματικό αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό και από μια έξυπνη κάρτα, η οποία ονομάζεται **Subscriber Identity Module (SIM)**. Η SIM εξασφαλίζει την προσωπική κινητικότητα, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες στις οποίες είναι συνδρομητής, άσχετα με το τερματικό με το οποίο συνδέεται. Βάζοντας την κάρτα SIM σε άλλο τερματικό μπορεί ο χρήστης να δέχεται και να πραγματοποιεί κλήσεις και να λαμβάνει όλες τις υπηρεσίες. Η κάρτα SIM προστατεύεται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες από έναν μυστικό προσωπικό αριθμό που ονομάζεται **Personal Identity Number (PIN)**.

2) Το υποσύστημα σταθμών βάσης είναι αυτό που συνδέει το κινητό τερματικό και το NSS, είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση και τη λήψη και αποτελείται από δυο μέρη: τον σταθμό βάσης (**Base Transceiver Station – BTS**) και τον χειριστή σταθμών βάσης (**Base Station Controller – BSC**). Ο σταθμός βάσης εμπεριέχει ραδιοπομπούς, οι οποίοι προσδιορίζουν την κυψέλη και χειρίζεται πρωτόκολλα επικοινωνίας με το κινητό τερματικό. Σε μια πολύ μεγάλη περιοχή θα υπάρχουν πολλοί σταθμοί βάσης, επομένως οι απαιτήσεις για ένα BTS θα είναι αξιοπιστία, μεταφερσιμότητα και ελάχιστο κόστος. Ο χειριστής σταθμών βάσης διευθύνει τους πόρους για έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Τέτοιοι πόροι είναι, για



παράδειγμα οι διάυλοι, η μεταπήδηση συχνότητας (frequencyhopping), οι διαπομπές (handovers).

Ο βασικός ρόλος του υποσυστήματος αυτού είναι η διαχείριση των επικοινωνιών μεταξύ των χρηστών του δικτύου και άλλων χρηστών, όπως χρήστες κινητής τηλεφωνίας, χρήστες σταθερής τηλεφωνίας κ.α. Το NSS συμπεριλαμβάνει και βάσεις δεδομένων για να αποθηκεύει πληροφορίες για τους συνδρομητές, αλλά και να διαχειρίζεται την κινητικότητά τους.

3) Το υποσύστημα μεταγωγής και δικτύου αποτελείται από τα εξής μέρη:

a) Το *Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών* (**Mobile Switching Center – MSC**), το οποίο είναι και το σημαντικότερο μέρος του NSS. Το κέντρο αυτό εκτελεί λειτουργίες μεταγωγής του δικτύου, καθώς και παρέχει συνδέσεις με άλλα δίκτυα

b) Το *Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών* (**Gateway MSC – GMSC**). Πύλη (gateway) είναι ένας κόμβος που συνδέει δυο δίκτυα. Το GMSC είναι η διεπαφή μεταξύ του ψηφιακού κυψελωτού δικτύου και του σταθερού δικτύου επικοινωνιών, είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των κλήσεων από έναν οποιοδήποτε άλλο χρήστη προς έναν χρήστη GSM και συχνά λειτουργεί με τις ίδιες μηχανές όπως όλα τα MSC.

c) Τον *Καταχωρητή Θέσης Οικείων* (**HomeLocationRegister – HLR**), ο οποίος είναι μια πολύ σημαντική βάση δεδομένων, στην οποία βρίσκονται αποθηκευμένες πληροφορίες για τους συνδρομητές του δικτύου, που ανήκουν στην περιοχή ελέγχου του MSC. Επίσης, αποθηκεύει και την τρέχουσα θέση των συνδρομητών, καθώς και τις υπηρεσίες, στις οποίες έχουν αυτοί πρόσβαση. Η θέση των συνδρομητών αντιστοιχεί στην SS7 διεύθυνση του καταχωρητή θέσης επισκεπτών (VLR) που είναι συσχετισμένη με το τερματικό.

- d) Τον *Καταχωρητή Θέσης Επισκεπτών* (**Visitor Location Register – VLR**), ο οποίος περιέχει πληροφορίες από τον HLR ενός συνδρομητή, απαραίτητες ώστε να παρέχει υπηρεσίες σε επισκέπτες χρήστες. Όταν ένας χρήστης εισέλθει σε περιοχή που καλύπτεται από νέο MSC, ο VLR αυτού του MSC θα ζητήσει πληροφορίες για τον νέο συνδρομητή από τον αντίστοιχο HLR. Με αυτόν τον τρόπο ο VLR θα γνωρίζει για τις υπηρεσίες στις οποίες έχει πρόσβαση αυτός ο χρήστης, χωρίς να χρειάζεται να ρωτάει τον HLR κάθε φορά που κάνει μια κλήση ο χρήστης.
- e) Το *Κέντρο Πιστοποίησης της Αυθεντικότητας* (**Authentication Center – AuC**), το οποίο είναι ένας καταχωρητής που χρησιμοποιείται για σκοπούς ασφαλείας, παρέχει τις παραμέτρους που χρειάζονται για την πιστοποίηση και την κρυπτογραφία, οι οποίες βοηθούν να επαληθευθεί η ταυτότητα του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, το AuC αποθηκεύει το μυστικό κλειδί που υπάρχει στην κάρτα SIM κάθε συνδρομητή.
- 4) Το Σύστημα Λειτουργιών και Υποστήριξης διασυνδέεται με τα διάφορα τμήματα του NSS και του BSC για να μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί το δίκτυο GSM. Επίσης είναι υπεύθυνο να ελέγχει το φορτίο κίνησης του BSS. Λόγω της ανάπτυξης των κυτταρικών δικτύων, ο αριθμός των σταθμών βάσης αυξήθηκε με αποτέλεσμα μερικές από τις λειτουργίες συντήρησης να μεταφερθούν από το OSS στο ίδιο το BTS. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά το κόστος συντήρησης του συστήματος.

## **1.11 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΟΥ GSM**

Η λειτουργία της διαχείρισης της επικοινωνίας είναι υπεύθυνη για:

1. Τον Έλεγχο των Κλήσεων (Call Control – CC)
2. Τη Διαχείριση Πρόσθετων Υπηρεσιών (Supplementary Services)
3. Τη Διαχείριση Σύντομων Μηνυμάτων (Short Message Services – SMS)

1) Η λειτουργία ελέγχου κλήσεων είναι υπεύθυνη για την αποκατάσταση, διατήρηση και διακοπή κλήσεων και για την επιλογή των υπηρεσιών που ζητά ο συνδρομητής από το δίκτυο. Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες του CC είναι η δρομολόγηση κλήσης (call routing). Για να μπορέσει ο συνδρομητής του δικτύου που καλεί να συνδεθεί με τον κινητό συνδρομητή του GSM δικτύου, θα πρέπει να πληκτρολογήσει τον Αριθμό Κινητού του Συνδρομητή.

2) Η κινητή μονάδα και η HLR είναι τα μόνα στοιχεία που δικτύου GSM που εμπλέκονται σε αυτήν τη λειτουργία. Οι πιο γνωστές πρόσθετες υπηρεσίες στις οποίες έχουν πρόσβαση οι συνδρομητές είναι:

- Προώθηση κλήσης
- Φραγή κλήσης
- Κράτηση κλήσης
- Αναμονή κλήσης
- Απόκρυψη κλήσης
- Αναγνώριση κλήσης
- Περιαγωγή

3) Προκειμένου να μπορέσει να υποστηρίξει ένα δίκτυο GSM αυτές τις δημοφιλείς υπηρεσίες πρέπει να επικοινωνεί με ένα Κέντρο Σύντομων Μηνυμάτων (Short Message Service Center) διαμέσου δύο διεπαφών:

- Η διεπαφή SMS - GMSC για μηνύματα που καταλήγουν σε συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας
- Η διεπαφή SMS - IWMSC για μηνύματα που ξεκινούν από συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας

## **1.12 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ**

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο καθορίζει το τρόπο με τον οποίο διάφοροι χρήστες έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση στο δίκτυο για την κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών τους. Όσον αφορά το GSM δίκτυο, η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης καθορίζει πως κινητές μονάδες που μπορεί να βρίσκονται και σε διαφορετικά κύτταρα, έχουν ταυτόχρονη επικοινωνία χρησιμοποιώντας το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Για το GSM δίκτυο έχει υιοθετηθεί μία μίξη των τεχνικών της Πολλαπλής Πρόσβασης Επιμερισμού Συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA) και της Πολλαπλής Πρόσβασης Επιμερισμού Χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) σε συνδυασμό με την τεχνική μεταπήδησης συχνότητας.

Στην τεχνική FDMA ορίζεται μια συχνότητα ανά χρήστη. Έτσι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός χρηστών σε ένα σύστημα FDMA, τόσο μεγαλύτερος πρέπει να είναι ο αριθμός διαθέσιμων συχνοτήτων. Το περιορισμένο διαθέσιμο ραδιοφάσμα και το γεγονός ότι ένας χρήστης δεν θα ελευθερώσει τη συγκεκριμένη συχνότητα που του έχει καταχωρηθεί μέχρι να μην τη χρειάζεται άλλο, μπορεί να εξηγήσει γιατί σε ένα σύστημα FDMA ο αριθμός των χρηστών μπορεί γρήγορα να περιοριστεί.

Από την άλλη, η TDMA τεχνική επιτρέπει σε διάφορους χρήστες να μοιραστούν την ίδια συχνότητα αλλά ο κάθε χρήστης έχει πρόσβαση σε

αυτήν για περιορισμένο χρονικό διάστημα (timeslot ή bursts). Δηλαδή η τεχνική FDMA συνεχίζει να χρησιμοποιείται αλλά τώρα κάθε συχνότητα διαιρείται σε επιπλέον χρονοθυρίδες ή ριπές.

### 1.13 ΔΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΤΟΥ GSM

Ένα φυσικό κανάλι είναι η επανάληψη μιας ριπής ανά πλαίσιο TDMA και καθορίζεται από τη συχνότητά του και από τη θέση της ριπής που του αντιστοιχεί μέσα σε ένα πλαίσιο. Στο GSM υπάρχουν δυο τύποι καναλιών:

1) Τα *κανάλια κίνησης* (**Traffic Channels - TCH**), που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ομιλίας και δεδομένων.

2) Τα *κανάλια σηματοδοσίας/ελέγχου* (**Control Channels**), τα οποία χωρίζονται σε τέσσερα είδη, ανάλογα με τις λειτουργίες τους:

- *Κανάλια Εκπομπής* (**Broadcast Channels – BCH**), τα οποία χρησιμοποιούνται από τους σταθμούς βάσης, ώστε να δίνουν στο κινητό τερματικό τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται για να συγχρονίζεται με το δίκτυο.
- *Κανάλια Συνήθη Ελέγχου* (**Common Control Channels – CCCH**), τα οποία βοηθούν ώστε να εγκατασταθεί η κλήση από το τερματικό ή το δίκτυο.
- *Κανάλια Αφιερωμένου Ελέγχου* (**Dedicated Control Channels – DCCH**), τα οποία χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ κινητών ή μεταξύ ενός κινητού και του δικτύου.
- *Κανάλια Ελέγχου Σύνδεσης* (**Associated Control Channels – ACCH**). Το ACCH αντικαθιστά όλη ή μέρος καναλιού κίνησης όταν πρέπει να μεταδοθεί επείγουσα πληροφορία σηματοδοσίας.

## 1.14 ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ NO. 7 (SS7)

Η δομή του συστήματος σηματοδοσίας ακολουθεί μια αρχιτεκτονική διαστρωμάτωσης σε 7 στρώματα σύμφωνα με το πρότυπο OSI. Το ενδιαφέρον στοιχείο στον τρόπο δόμησης του Νο. 7 είναι ότι τα κατώτερα στρώματα λειτουργούν ως ένας γενικός μηχανισμός μεταφοράς σημάτων. Ο μηχανισμός αυτός αναλαμβάνει την αξιόπιστη και ασφαλή μετάδοση της σηματοδοσίας, όπως αυτή μεταβιβάζεται από τα ανώτερα στρώματα, δίχως να την επεξεργάζεται ή να γνωρίζει το περιεχόμενο της. Στην πραγματικότητα οι διαφοροποιήσεις στο περιεχόμενο της σηματοδοσίας εντοπίζονται στα ανώτερα στρώματα. Εκεί οι διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές και δίκτυα αντιστοιχούν σε διαφορετικά Τμήματα Χρηστών (UserPart) οι οποίοι χρησιμοποιούν την κοινόχρηστη πλατφόρμα μεταφοράς της σηματοδοσίας τους. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα διαφορετικών εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του συστήματος σηματοδοσίας Νο. 7 είναι οι ακόλουθες:

- *Telephony User Part (TUP)*, το οποίο προσφέρει την σηματοδοσία η οποία είναι απαραίτητη για έναν απλό χρήστη τηλεφωνίας.
- *ISDN User Part (ISUP)*, το οποίο προσφέρει την σηματοδοσία η οποία είναι απαραίτητη για την υποστήριξη ISDN κλήσεων και υπηρεσιών.
- *Mobil eApplication Part (MAP)*, το οποίο υποστηρίζει την σηματοδοσία μεταξύ κόμβων του δικτύου κινητής τηλεφωνίας GSM π.χ. την ανταλλαγή πληροφοριών με τη μορφή διαλόγου (δηλ. ερωτήσεων και απαντήσεων) μεταξύ μεταξύ MSC/VLR και

HLR στην περίπτωση της αναζήτησης πληροφοριών εντοπισμού θέσης ενός κινητού χρήστη.

- *IntelligentApplicationPart(INAP)*, το οποίο υποστηρίζει την μεταφορά σηματοδοσίας σχετικής με την υποστήριξη «έξυπνων» υπηρεσιών π.χ. την ανταλλαγή πληροφοριών με τη μορφή διαλόγου (δηλ. ερωτήσεων και απαντήσεων) μεταξύ ενός τηλεφωνικού κέντρου και ενός συστήματος (π.χ. μια βάση δεδομένων) υποστήριξης «έξυπνων» υπηρεσιών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ**

### **2.1 ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ**

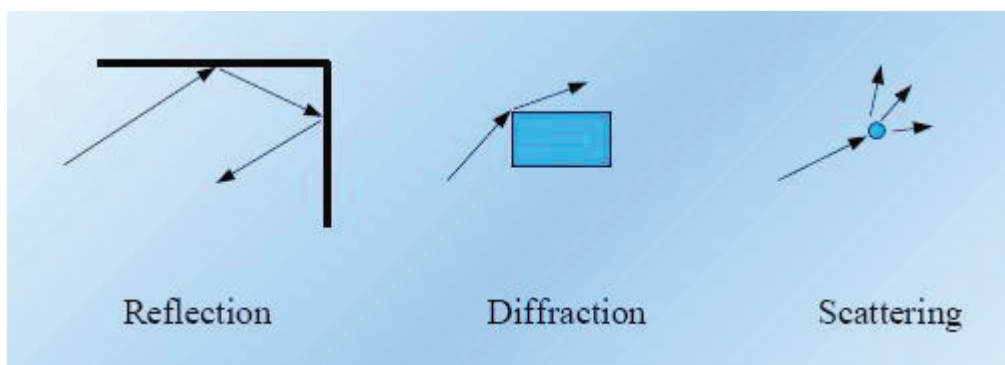
Στο κεφάλαιο αυτό αναφερόμαστε στον τρόπο μοντελοποίησης του ασύρματου σήματος. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται τα διάφορα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω των φυσικών φαινομένων. Με βάση τα φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος, αναλύουμε και παραθέτουμε τα στατιστικά μοντέλα τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την περιγραφή ασύρματων σημάτων .

Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο γήινο περιβάλλον εξαρτάται από φαινόμενα όπως είναι η ανάκλαση, η περίθλαση και η σκέδαση, καθώς και η διάθλαση ή απορρόφηση από την ατμόσφαιρα της γης. Είναι σχετικά δύσκολο να προβλεπτεί η συμπεριφορά ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στον εξωτερικό χώρο, δεδομένου ότι το τελευταίο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι οι ανομοιογενείς επιφάνειες, τα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως η βροχή κ.α. . Ο ραδιοδιάυλος είναι συνεπώς ένα σύνθετο και μεταβλητό περιβάλλον, με αποτέλεσμα η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων να είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθεί. Δύσκολα κανείς μπορεί να προβλέψει τους αστάθμητους παράγοντες που θα υπεισέρχονται στην διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, και ακόμα πιο δύσκολα την

τελική τιμή των πεδίων σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο του χώρου που μελετάται η διάδοση.

## 2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων απο τον πομπό στον δέκτη είτε απευθείας όταν υπάρχει Line Of Sight (LOS) είτε με φαινόμενα όπως η ανάκλαση (reflection), η περίθλαση (diffraction), και η σκέδαση (scattering). Οι τρεις μηχανισμοί διάδοσης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 2.1: οι βασικοί μηχανισμοί διάδοσης η/μ κυμάτων

Στην περίπτωση οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη τα φαινόμενα της περίθλασης και σκέδασης δεν επηρεάζουν την διάδοση του σήματος. Στην αντίθετη περίπτωση, που είναι και η πιο πιθανή, αφού σπανίως δεν θα υπάρχουν εμπόδια που θα εμποδίζουν την οπτική επαφή, τότε στη διάδοση του σήματος κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι προαναφερθέντες μηχανισμοί.

### 2.2.1 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Με τον όρο ανάκλαση περιγράφουμε το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει πάνω σε εμπόδιο με



διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το μήκος κύματος. Η συμβολή των κυμάτων μπορεί να προκαλέσει ελαφριά ενίσχυση του σήματος ή διάλειψη λόγω της διαφορετικής φάσης που φτάνει το κύμα στον δέκτη. Η διαφορά φάσης προκύπτει επειδή η τελευταία επηρεάζεται από την απόσταση που έχει διατρέξει το κύμα και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά μήκος της τροχιάς του κύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο πολλαπλών διοδεύσεων.

### **2.2.2 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ**

Περίθλαση έχουμε όταν εμπόδια παρεμβάλλουν την ασύρματη ζεύξη του πομπού και του δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, εάν θεωρήσουμε εμπόδιο που θεωρείται αδιαπέραστο και απορροφητικό, τότε σύμφωνα με την απλή θεωρία της ακτινοβολίας δεν θα υπάρχει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στην περιοχή σκίασης. Στην πραγματικότητα όμως, διαδίδουν στην περιοχή σκίασης, με αποτέλεσμα το πεδίο σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής αυτής να είναι ίσο με την παρεμβολή αυτών των κυμάτων. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι το πλέον συχνό σε αστικές, πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σε υψηλές συχνότητες το φαινόμενο της περίθλασης εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμποδίου, πως και από το πλάτος, την φάση και την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος στο σημείο στο οποίο λαμβάνει χώρα η περίθλαση.

### **2.2.3 ΣΚΕΔΑΣΗ**

Το φαινόμενο της σκέδασης συμβαίνει όταν το μέσο στο οποίο ταξιδεύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από μεγάλο πλήθος εμποδίων ανά μονάδα όγκου, που έχουν ίσες ή μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με το μήκος κύματος. Αποτέλεσμα της σκέδασης είναι η επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα κύματα που οφείλονται στην σκέδαση παράγονται

συνήθως από αιχμηρές επιφάνειες, μικρά αντικείμενα, ενώ ενδεικτικά παραδείγματα στην καθημερινή ζωή αποτελούν τα σήματα οδικής κυκλοφορίας, οι λαμπτήρες φωτισμού των δρόμων, το φύλλωμα των δένδρων κλπ. Λόγω των παραπάνω φαινομένων δημιουργούνται τα εξής προβλήματα κατά την ασύρματη διάδοση:

- Σκίαση (shadowing)
- Απώλειες διαδρομής (path losses)
- Διαλείψεις (fading)

### 2.2.3.1 ΣΚΙΑΣΗ

Όταν εμφανίζεται ένα μεγάλο εμπόδιο μεταξύ του πομπού και του δέκτη και έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου σήματος, τότε έχουμε το πρόβλημα της σκίασης. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται με την απότομη πτώση του σήματος λήψης στα σημεία που κρύβει το εμπόδιο αυτό. Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό υπάρχουν τρεις μέθοδοι.

- **Παθητικό κάτοπτρο:** τοποθετείται στην κορυφή του εμποδίου και αντανακλάτο σήμα που δέχεται προς την περιοχή που επισκιάζεται.
- **Κεραίες backtoback:** τοποθετούνται στην κορυφή του εμποδίου και εκπέμπουν και από τις δύο μεριές.
- **Αύξηση ισχύος εκπομπής:** μέχρι κάποιο επιτρεπτό όριο.

### 2.2.3.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Οι απώλειες διαδρομής είναι η μείωση της πυκνότητας ισχύος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς διαδίδονται μέσα στο χώρο. Οι απώλειες διαδρομής μπορεί να οφείλονται σε πολλούς λόγους, όπως απώλειες ελευθέρου χώρου, διάθλαση, περίθλαση και ανάκλαση. Οι απώλειες διαδρομής επηρεάζονται επίσης από το περιβάλλον (αστική ή αγροτική, τη βλάστηση και το φύλλωμα), το μέσο διάδοσης (ξηρό ή υγρό αέρα), την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, καθώς και το ύψος και τη θέση των κεραιών.

### **2.2.3.3 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ**

Με τον όρο διαλείψεις σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα εννοούμε τις διακυμάνσεις του σήματος στο δέκτη όσον αφορά το πλάτος ή τη φάση ή τη γωνία αφίξεώς του. Η αιτία αυτών των διακυμάνσεων είναι η πρόσθεση των συνιστωσών πολλαπλών διαδρομών του σήματος, εφόσον το κύμα κατά τη διάδοσή του στο ασύρματο κανάλι δύναται να ακολουθήσει πολλές και διαφορετικές διαδρομές στη μετάδοση από τον πομπό στο δέκτη, υπόκειται δηλαδή στο φαινόμενο της πολυόδευσης (multipath). Υπάρχουν δύο είδη διαλείψεων:

- διαλείψεις μεγάλης κλίμακας
- διαλείψεις μικρής κλίμακας

#### **2.2.3.3.1 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας πραγματεύονται την εξασθένηση της μέσης τιμής της ισχύος του σήματος λήψης εξαιτίας απώλειας στη διαδρομή και τη μεταβολή της τιμής αυτής λόγω της σχετικής κίνησης μεταξύ πομπού-δέκτη. Η ύπαρξη αυτού του φαινομένου είναι αποτέλεσμα της παρεμβολής μεταξύ πομπού και δέκτη, καθώς αλλάζει η σχετική τους θέση, διαφόρων εμποδίων (κτίρια, λόφοι, δασώδεις

εκτάσεις κ.λ.π.). Έχουμε λοιπόν μια συνεχή αλλαγή του χώρου που παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη που οδηγεί σε μια μεταβαλλόμενη «σκίαση» του δέκτη. Για τον λόγο αυτό, η μεταβολή της μέσης τιμής του σήματος λήψης αναφέρεται ως διαλείψεις σκίασης (ShadowFading). Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας χαρακτηρίζονται από μία lognormal συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας παρέχοντας έναν τρόπο εκτίμησης των απωλειών διάδοσης ως συνάρτηση του χρόνου.

### **2.2.3.3.2 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

Στις διαλείψεις μικρής κλίμακας έχουμε απότομες μεταβολές του πλάτους και της φάσης του λαμβανόμενου σήματος που μπορούν να θεωρηθούν ως αποτέλεσμα μικρών αλλαγών (της τάξης του μισού μήκους κύματος) της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη ή ως αποτέλεσμα της αλλαγής θέσης, ταχύτητας ή πυκνότητας των σωμάτων που επηρεάζουν έμμεσα τις επικοινωνίες. Τέτοια σώματα είναι τα διάφορα κτίρια, οχήματα και ζωντανοί οργανισμοί που συναντιούνται στις πόλεις, καθώς επίσης και τα διάφορα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας εκδηλώνονται με δύο μηχανισμούς όσον αφορά την παραμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος, τη χρονική διασπορά του σήματος (signal dispersion) και τη χρονική διακύμανση της συμπεριφοράς του καναλιού (variance).

- Η διασπορά είναι ο μηχανισμός που εκφράζεται με τον διασκορπισμό της χρονικής διάρκειας των συμβόλων πληροφορίας στη λήψη του σήματος πληροφορίας λόγω των πολλαπλών διαδρομών που μεσολαβούν.
- Η διακύμανση είναι ο μηχανισμός που εκφράζεται ως η διαφορετική από στιγμή σε στιγμή συμπεριφορά του καναλιού εξαιτίας της σχετικής κίνησης πομπού-δέκτη ή της κίνησης σωμάτων του περιβάλλοντα χώρου.

## **2.4 ΠΟΛΥΟΔΕΥΣΗ**

Βασικός παράγοντας απωλειών είναι η πολυόδευση ή διάδοση με διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών (multipathfading). Η πολυόδευση οδηγεί σε ραγδαίες διακυμάνσεις της φάσης και του πλάτους του σήματος. Το σήμα που φτάνει στο δέκτη δεν περιέχει μόνο το κύμα της άμεσης οπτικής ευθείας, αλλά και μεγάλο αριθμό ραδιοκυμάτων που φτάνουν μέσω ανάκλασης και περίθλασης. Τα πολλαπλά επίπεδα κύματα συνδυάζονται στην κεραία του δέκτη για να παράγουν ένα σύνθετο λαμβανόμενο σήμα.

## **2.5 ΖΩΝΕΣ FRESNEL**

Αν δεν υπάρχουν εμπόδια, τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή από τον πομπό στο δέκτη και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το σήμα μεταδίδεται σε μια ελλειψοειδή μορφή όπου αν χωρίσουμε αυτό τον ελλειψοειδή χώρο σε ζώνες, τότε αυτές οι ζώνες είναι οι ζώνες Fresnel. Αλλά αν υπάρχουν ανακλαστικές επιφάνειες κατά μήκος της διαδρομής, τα ραδιοκύματα που αντανακλούν σε αυτές τις επιφάνειες μπορεί να φτάσουν με διαφορετική φάση από τα σήματα που ταξιδεύουν απευθείας μειώνοντας την ισχύ του λαμβανομένου σήματος. Από την άλλη πλευρά, η αντανάκλαση μπορεί να ενισχύσει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, εάν η αντανάκλαση και το άμεσο σήμα φτάσουν με την ίδια φάση.

## **2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ**

Για να υπολογίσουμε την ισχύ εκπομπής πρέπει να γνωρίζουμε το

κατώφλι ευαισθησίας της συσκευής λήψης, το οποίο είναι η ελάχιστη ισχύς που πρέπει να φτάσει στην κεραία λήψης για να μπορέσει να υπάρχει επικοινωνία. Επίσης πρέπει να γνωρίζουμε τις απολαβές της κάθε κεραίας. Έπειτα πρέπει να προσδιορίσουμε τις απώλειες λόγω των καλωδίων μεταξύ των πομποδεκτών και της κεραίας και στο τέλος τις απώλειες του καναλιού, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο για την περιοχή που μελετάμε. Από τον παρακάτω τύπου υπολογίζουμε την ισχύ εκπομπής.

$$\Sigma \epsilon \text{ dbPt} = Pr - Gt - Gr - \Sigma \text{loss}$$

Όπου:

Pr : είναι η ισχύς της λήψης

Pt: είναι η ισχύς της αποστολής

Gt: είναι το κέρδος της κεραίας λήψης

Gr : είναι το κέρδος της κεραίας εκπομπής

Σloss: σύνολο απωλειών

## 2.7 ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η πιο απλή εκτίμηση της απόσβεσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι για την περίπτωση του ελεύθερου χώρου μεταξύ δύο υποθετικών κεραίων με γνωστά χαρακτηριστικά ακτινοβολίας (π.χ. ισοτροπικές κεραίες). Για να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο θα πρέπει ο πομπός (T) και ο δέκτης (R) να έχουν άμεση οπτική επαφή (lineofsight) και ο χώρος αναμεταξύ τους να είναι ελεύθερος από αντικείμενα που θα μπορούσαν να απορροφήσουν ή να σκεδάσουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Είναι προφανές ότι το συγκεκριμένο μοντέλο διάδοσης απαιτεί ιδανικές συνθήκες, οι οποίες είναι μάλλον αμφίβολο αν

μπορούν να αντικατοπτρίσουν ρεαλιστικά ένα πραγματικό σενάριο ασύρματης ζεύξης.

Για να μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η κεραία εκπομπής (T) και η κεραία λήψης (R) βρίσκονται σε περιβάλλον «ελεύθερου χώρου» θα πρέπει η πρώτη ζώνη Fresnel, να είναι απαλλαγμένη από εμπόδια. Σε αυτήν την περίπτωση αν θεωρήσουμε  $P_T$ ,  $P_R$  την ισχύ που εκπέμπεται από τον πομπό και τον δέκτη αντίστοιχα,  $G_T$ ,  $G_R$  τα κέρδη της κεραίας του πομπού και του δέκτη στη κατεύθυνση λήψης αντίστοιχα,  $A$  την ενεργό περιοχή της κεραίας,  $d$  την απόσταση της ραδιοζεύξης, τότε η ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας σε απόσταση  $d$  προκύπτει ίση με

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi \cdot d^2}$$

Η διαθέσιμη ισχύς της κεραίας λήψης προκύπτει ίση με:

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot d^2} \cdot A = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot d^2} \frac{\lambda^2 \cdot G_R}{4\pi}$$

Από όπου προκύπτει η εξίσωση του Friis :

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T \cdot G_R \cdot \left( \frac{c}{4\pi \cdot f \cdot d} \right)^2$$

Συνεπώς η απώλεια διάδοσης σε dB για το μοντέλου διάδοσης ελεύθερου χώρου FreeSpaceLoss είναι ίση με :

$$L_F = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \cdot \log_{10} G_T + 10 \cdot \log_{10} G_R - 20 \cdot \log_{10} f - 20 \cdot \log_{10} d + 147.6$$

## 2.8 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΛΕΙΑ, ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Ένα μοντέλο διάδοσης πιο προσιτό στην πραγματικότητα και άρα πιο ρεαλιστικό είναι το μοντέλο διάδοσης σε λεία επίπεδη επιφάνεια. Στο μοντέλο αυτό, στον δέκτη φτάνουν δύο σήματα, το απευθείας σήμα από τον πομπό, και το ανακλώμενο σε μια λεία επίπεδη επιφάνεια. Το συγκεκριμένο μοντέλο προβλέπει με αρκετά καλή ακρίβεια τις απώλειες του σήματος σε αποστάσεις τάξεως έως και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα.

Σημειωτέον ότι σε αυτές τις αποστάσεις η καμπυλότητα της Γης μπορεί να παραβλεπτεί. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά ακόμα και αν ο πομπός ή ο δέκτης βρίσκονται σε ύψος μεγαλύτερο των 50 m , αλλά εξίσου ικανοποιητικά είναι και για ζεύξεις άμεσης οπτικής επαφής (LineofSight – LOS) που αναφέρονται σε μικροκυψέλες αγροτικού περιβάλλοντος. Αν υποθέσουμε:

$h_T, h_R$  : τα ύψη των κεραιών πομπού και δέκτη αντίστοιχα,

$d$  : η απόσταση μεταξύ των κεραιών πομπού και δέκτη,

$E_{LOS}$  : το ηλεκτρικό πεδίο που φτάνει στον δέκτη απευθείας (LineofSight),

$E_i$  : το προσπίπτον στην επίπεδη επιφάνεια ηλεκτρικό πεδίο,

$E_r$  : το ανακλώμενο ηλεκτρικό πεδίο,

$\theta_i, \theta_0$  : οι γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης αντίστοιχα,

Το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο στον δέκτη θα είναι ίσο με :

$$E_{TOT} = E_{LOS} + E_g$$

Δεδομένου ότι τα πεδία  $E_{LOS}$  και  $E_g$  έχουν διαφορά φάσης  $\Delta\phi$  η παραπάνω δίνει :

$$E_{TOT} = E_o (1 - \exp(-j\Delta\phi)) = E_o (1 - \cos(\Delta\phi) + j \sin(\Delta\phi))$$



από όπου μετά από πράξεις και την προσέγγιση  $d \gg h_T, h_R$  προκύπτει η τελική μορφή που περιγράφει και το μοντέλο επίπεδης επιφάνειας.

$$P_R = P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot \left( \frac{h_T \cdot h_R}{d^2} \right)^2$$

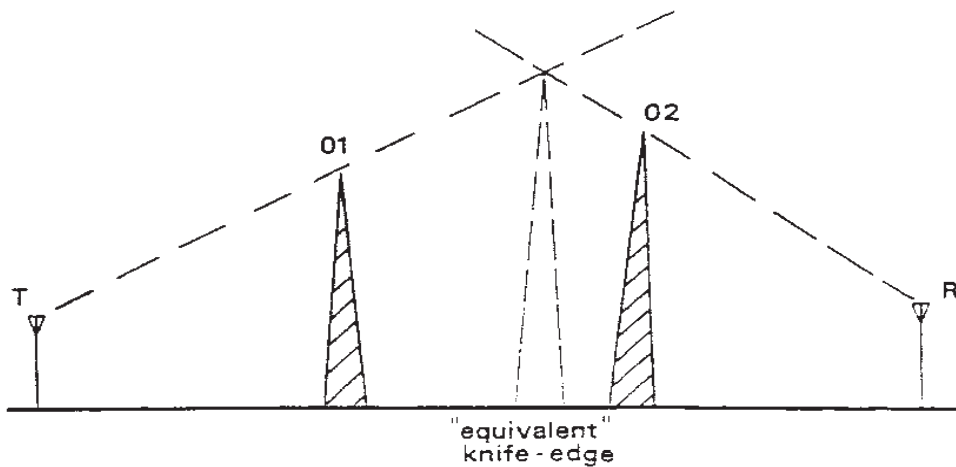
Η απώλεια διάδοσης Loss σε dB όπως προκύπτει με χρήση του μοντέλου λείας επίπεδης επιφανείας είναι ίση με :

$$L_{P,E} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_R}{P_T}$$

$$L_{P,E} = 10 \cdot \log_{10} G_T + 10 \cdot \log_{10} G_R + 20 \cdot \log_{10} h_T + 20 \cdot \log_{10} h_R - 40 \cdot \log_{10} d$$

## 2.9 ΜΕΘΟΔΟΣ BULLINGTON

Στην μέθοδο του Bullington οι δύο πραγματικές αιχμές που βρίσκονται στην ασύρματη ζεύξη των T και R, αντικαθίστανται από μία ισοδύναμη αιχμή, με ύψος που προκύπτει από το σημείο τομής δυο ευθειών, με την μία ευθεία να ενώνει την κορυφή του εμποδίου με τον πομπό και η άλλη την κορυφή του άλλου εμποδίου με τον δέκτη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

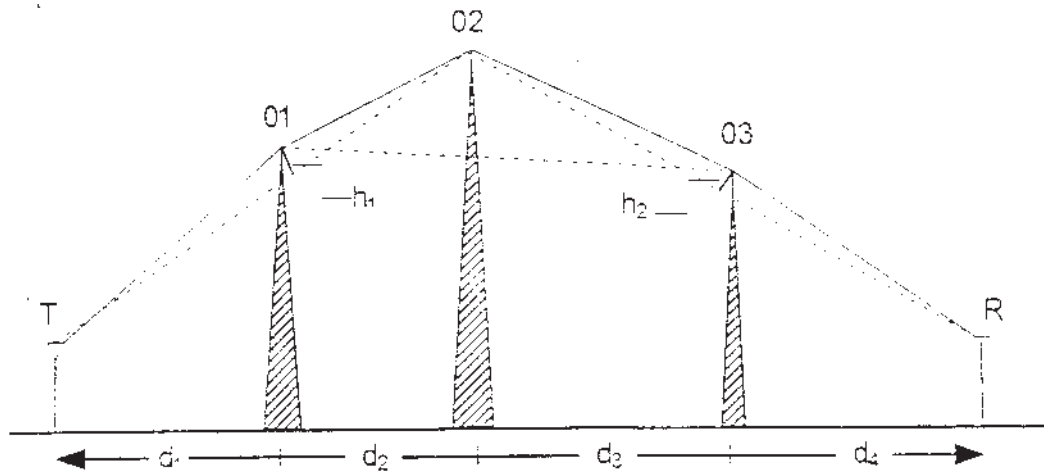


Εικόνα 2.2 : Μέθοδος Bullington

Έτσι το πρόβλημα των δύο εμποδίων ανάγεται σε πρόβλημα ενός εμποδίου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις που προαναφέρθηκαν. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της απλότητας αλλά έχει την τάση μερικές φορές τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο αισιόδοξα από αυτό που πραγματικά είναι, μιας και υποτιμάει τις απώλειες. Έτσι μπορεί να οδηγηθούμε σε μεγάλα σφάλματα και η μέθοδος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή.

## 2.10 ΜΕΘΟΔΟΣ EPSTEIN – PETERSON

Θεωρούμε την παρακάτω διάταξη που περιλαμβάνει τρία εμπόδια  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  μεταξύ πομπού (T) και δέκτη (R) :



Εικόνα 2.3 : Μέθοδος Epstein – Peterson

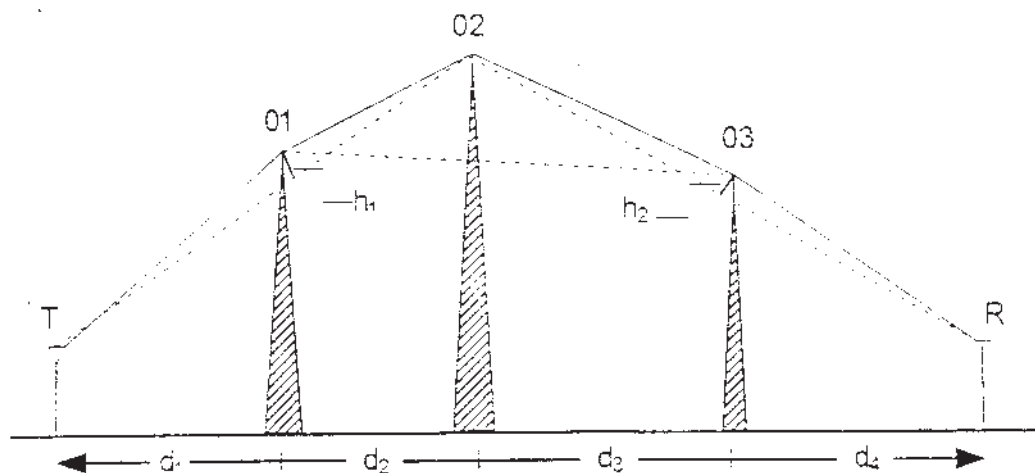
Με την τεχνική Epstein - Peterson προσθέτουμε την εξασθένηση που προκαλεί κάθε εμπόδιο ξεχωριστά, από όπου προκύπτει η συνολική εξασθένηση. Πιο συγκεκριμένα αν έχουμε μία ευθεία που ενώνει τον πομπό με την κορυφή της ενδιαμέσης κορυφής 02, τότε το ενεργό ύψος της αιχμής 01,  $h_1$ , είναι η απόσταση της από την ευθεία αυτή και άρα οι απώλειες της αιχμής αυτής είναι κατά τα γνωστά  $L_{01} = f(d_1, d_2, h_1)$ .

Ομοίως για τη αιχμή 02 του σχήματος προκύπτει  $L_{02} = f(d_1, d_2, h_2)$ , όπου  $h_2$  είναι η απόσταση της κορυφής της δεύτερης αιχμής από την ευθεία που ενώνει τις κορυφές των 01 και 03. Τελικά η απώλεια λόγω της 03 υπολογίζεται αναφερόμενη στη γραμμή που ενώνει την 02 με τον δέκτη R και η συνολική απώλεια προκύπτει:  $L = L_{01} + L_{02} + L_{03}$

Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και αν τα εμπόδια δεν παρεμποδίζουν τη διαδρομή και βρίσκονται σε χαμηλότερη ζώνη Fresnel. Υπάρχουν όμως σοβαρά σφάλματα στην περίπτωση που τα δύο εμπόδια είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, σφάλματα που διορθώνονται με κατάλληλες διορθώσεις.

## 2.11 ΜΕΘΟΔΟΣ DEYGOUT

Η μέθοδος Deygout ή αλλιώς μέθοδος της “βασικής κορυφής”. Απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 2.4: Μέθοδος Deygout (βασικής κορυφής)

Αρχικά θα υπολογίσουμε την παράμετρο  $n$  για κάθε μία από τις κορυφές, υποθέτοντας ότι οι άλλες απουσιάζουν. Συνεπώς για το σχήμα μας υπολογίζουμε τις παραμέτρους  $n$  για τις διαδρομές T-01-R, T-02-R, T-03-R. Επιλέγοντας το εμπόδιο που έχει την μεγαλύτερη τιμή του  $n$ , δηλαδή το βασικό εμπόδιο, υπολογίζουμε την απώλεια του με την συνηθισμένη μέθοδο. Στην περίπτωσή μας, η O2 είναι η βασική κορυφή και οι απώλειες περίθλασης των άλλων δύο κορυφών, βρίσκονται με την βοήθεια δύο ευθειών που ενώνουν την κορυφή της O2 με τον πομπό T και δέκτη R. Η συνολική απώλεια προκύπτει από το άθροισμα των προηγούμενων αποτελεσμάτων.

Αν μεταξύ του πομπού (T) και της βασικής κορυφής (O2) υπάρχουν 2 εμπόδια, πρέπει να βρούμε ποιο από τα δυο είναι η δευτερεύουσα βασική κορυφή, βρίσκοντας την απώλεια περίθλασης και εν συνεχεία υπολογίζουμε την πρόσθετη απώλεια με την μέθοδο που ήδη περιγράψαμε. Ομοίως συνεχίζουμε στην περίπτωση περισσότερων εμποδίων κατά σειρά φθίνοντος  $n$ .

Εκτιμήσεις που γίνανε για την μέθοδο αυτή, έδειξαν ότι υποτιμάει την απώλεια σήματος στην περίπτωση που υπάρχουν πολλαπλά εμπόδια ή αν

τα τελευταία είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Αντίθετα υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια όταν έχουμε μόνο ένα επικρατών εμπόδιο. Στην αντίθετη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διορθωτικοί παράγοντες που μπορούν να αναζητηθούν στην βιβλιογραφία.

## 2.12 MONTELO EGLI

Ο Egli παρατήρησε στις συχνότητες 90 – 1000MHz, ότι υπήρχε η τάση για τη μέση ισχύ του σήματος σε μία μικρή περιοχή, να είναι αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόστασης από τον πομπό. Εκτός αυτού όμως παρατήρησε ότι υπάρχει μία επιπλέον απώλεια από αυτήν που δίνει η εξίσωση της επίπεδης επιφάνειας, ο οποία εξαρτάται από τη συχνότητα και από τη φύση του εδάφους. Αυτήν την απώλεια την λαμβάνει υπόψιν του με έναν πολλαπλασιαστικό παράγοντα  $\beta$  στον τύπο που περιγράφει το μοντέλο της επίπεδης επιφάνειας.

Η σχέση λοιπόν που έδωσε είναι η παρακάτω:

$$L = G_T \cdot G_R \cdot \left( \frac{h_T \cdot h_R}{d^2} \right)^2 \cdot \beta$$

Όπου οι προσθήκες T,R αναφέρονται στον πομπό και στον δέκτη αντίστοιχα και ο παράγοντας  $\beta$  δίνεται από τον τύπο :

$$\beta = \left( \frac{40}{f} \right)^2$$

όπου  $f$  στην είναι σε MHz.

Σε αυτή τη σχέση βλέπουμε ότι τα 40 MHz έχουν θεωρηθεί η αναφορική συχνότητα στην οποία ανεξάρτητα από μεταβολές στην επιφάνεια του εδάφους η μέση απώλεια ταυτίζεται με την απώλεια του μοντέλου επίπεδης επιφανείας. Ο Egli βρήκε ότι ο παράγοντας  $\beta$  είναι συνάρτηση της ανωμαλίας του εδάφους με μέση τιμή που προκύπτει από την προηγούμενη εξίσωση. Υποθέτοντας ότι το εδαφικό ύψος ακολουθεί “log-normal” κατανομή γύρω από τη μέση τιμή του και συσχετίζοντας την σταθερή απόκλιση του  $\beta$  με αυτή της διακύμανσης του εδάφους προκύπτει μια οικογένεια ευθειών που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, η οποία δείχνει πώς το  $\beta$  εκτρέπεται από τη μέση τιμή του στα 40 MHz, σαν συνάρτηση του εδαφικού παράγοντα και της συχνότητας μετάδοσης.

## 2.13 ΜΟΝΤΕΛΟ RCS (RADAR CROSS SECTION)

Όταν σε ένα ραδιοδιάυλο έχουμε μεγάλα σε διαστάσεις και απομακρυσμένα εμπόδια, η πρόβλεψη της ισχύος του σκεδαζόμενου σήματος απαιτεί ακριβή γνώση της θέσης των εμποδίων. Το σκεδαζόμενο πεδίο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την γεωμετρική θεωρία της περίθλασης, ή ανάλογες θεωρίες από την οπτική φυσική. Εξίσου σημαντικός παράγοντας της σκέδασης είναι η παράμετρος της ραδιοτομής - RadarCrossSection (RCS). Ο παράγοντας RCS ορίζεται από τον λόγο της πυκνότητας ισχύος του σκεδαζόμενου σήματος κατά τη διεύθυνση του δέκτη προς την πυκνότητα ισχύος του προσπίπτοντος ραδιοκύματος στο αντικείμενο που προκαλεί την σκέδαση. Το RCS έχει διαστάσεις επιφανείας ( $m^2$ ).

Εάν βασιστούμε στην δισδιάστατη εξίσωση ραντάρ μπορούμε να υπολογίσουμε σε αστικό περιβάλλον ποια θα είναι η λαμβανόμενη ισχύ εξαιτίας της σκέδασης στο μακρινό πεδίο τόσο του πομπού (T) όσο και του δέκτη (R). Η δισδιάστατη εξίσωση ραντάρ προβλέπει διάδοση ελεύθερου χώρου στην οποία το ηλεκτρομαγνητικό κύμα σκεδάζεται από ένα αντικείμενο και επιστρέφει ξανά πίσω στην πηγή εκπομπής του. Η έκφραση για το λαμβανόμενο σήμα δίνεται από τον τύπο :

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) + 20 \cdot \log_{10}(\lambda) + RCS(dB \cdot m^2) - 30 \cdot \log_{10}(4\pi) - 20 \cdot \log_{10}(d_T \cdot d_R)$$

Η σχέση αποτελεί την έκφραση για την λαμβανόμενη ισχύ στο μοντέλο RCS. Οι αποστάσεις  $d_T(m)$ ,  $d_R(m)$  εκφράζουν την απόσταση του σκεδαστή από τον πομπό και τον δέκτη αντίστοιχα. Η μεταβλητή RCS τοποθετείται σε μονάδες  $dB \cdot m^2$  και προσεγγίζεται από την επιφάνεια του σκεδαστή εκφρασμένη σε dB με αναφορά σε επιφάνεια εμβαδού  $1 m^2$ . Με το μοντέλο RCS μπορεί να προβλεφθεί η λαμβανόμενη ισχύς σε περιβάλλοντα όπου τον ρόλο του σκεδαστή παίζουν αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων όπως κτίρια μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ

### 3.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα επικρατέστερα μοντέλα ραδιοκάλυψης εξωτερικών χώρων και θα αναφερθούμε σε μεγέθη που αφορούν τις απώλειες σήματος βασισμένα σε εμπειρικούς τύπους όπως αυτοί προκύπτουν από τις συστάσεις της επιτροπής ITU – R.

Στις ασύρματες επικοινωνίες εξωτερικού χώρου μεγάλη σημασία έχει το είδος και η μορφή του εδάφους. Τα κτίρια, τα δέντρα ή γενικώς άλλα εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν στον δρόμο του σήματος από τον πομπό (T) στον δέκτη (R), πρέπει να συνυπολογίζονται στις απώλειες του σήματος. Τα μοντέλα διάδοσης που παρουσιάζουμε διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα, την ακρίβεια και την προσέγγιση που κάνουν στον

υπολογισμό των απωλειών. Τα περισσότερα στηρίζονται σε μια σειρά από πολυετείς μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα.

Στην παρουσίαση κάθε μοντέλου γίνεται προσπάθεια να αναφερθεί σαφώς η περιοχή συχνοτήτων, τα υψομετρικά μεγέθη για τον πομπό και τον δέκτη, καθώς και οι οριζόντιες αποστάσεις  $d$  στις οποίες το μοντέλο δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Κρίνουμε σκόπιμο να κατηγοριοποιήσουμε τον όρο εξωτερικός χώρος ως εξής :

- Ανοιχτός χώρος : Αγροτικές περιοχές με ακατέργαστο έδαφος, μικρές κατοικίες, αποθήκες και ελάχιστο πληθυσμό.
- Βιομηχανικός ανοικτός χώρος : Ανεπτυγμένες περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες αγροτικές εγκαταστάσεις, περιορισμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γραμμές υψηλής τάσης κλπ.
- Ημιαστικός χώρος : Ανάμεικτα κτίρια που χρησιμοποιούνται είτε ως κατοικίες είτε ως βιομηχανίες, αποθήκες, εμπορικά κέντρα, και συνθήκες μέτριας κίνησης σε δρόμο αυτοκινήτων.
- Μικρή ή μεσαία πόλη : Μέτρια κατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές με αρκετό πληθυσμό και μερικά ψηλά κτίρια.
- Μεγάλη πόλη : Βαριά εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα με πολλά ψηλά κτίρια και κατοικίες και μεγάλο πληθυσμό.

### **3.2 MONTELO LONGLEY – RICE**

Το μοντέλο Longley – Rice εφαρμόζεται σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις περιοχών για ένα πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Καλύπτει ασύρματες ζεύξεις συχνοτήτων από 20MHz έως 40GHz. Για τον υπολογισμό των απωλειών λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία του εδάφους και η ανάκλαση λόγω της τροπόσφαιρας. Για τον προσδιορισμό του πεδίου χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι οπτικής φυσικής (P.O) και κυρίως το δισδιάστατο μοντέλο ανάκλασης εδάφους που έχει είδη εξεταστεί. Τα στοιχεία της ζεύξης που χρειάζεται το μοντέλο έχουν να κάνουν με την διαδρομή μετάδοσης, την συχνότητα εκπομπής, το μήκος της διαδρομής,



την πόλωση, τα ύψη των κεραιών, την ανακλαστικότητα της επιφάνειας, την ενεργή ακτίνα της Γης, την αγωγιμότητα του εδάφους, την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους και το κλίμα. Προφανώς αυτές οι παράμετροι αρκούν για τον υπολογισμό των συντελεστών ανάκλασης, της παραμέτρου  $n$  Fresnel – Kirchoff και κατ' επέκταση του συνολικού πεδίου. Όταν για το συγκεκριμένο μοντέλο είναι διαθέσιμες λεπτομέρειες για την μορφή και το προφίλ του εδάφους στο οποίο πραγματοποιείται η ζεύξη η πρόβλεψη που κάνει το μοντέλο καλείται «σημείου προς σημείο». Εάν το προφίλ και η μορφή του εδάφους είναι άγνωστα τότε το μοντέλο μπορεί να κάνει μια εκτίμηση των παραμέτρων και η πρόβλεψη αυτή καλείται «λειτουργία περιοχής».

Επεκτάσεις και διορθώσεις του μοντέλου Longley – Rice έχουν εμφανιστεί και είναι σχετικές κυρίως με αστικά περιβάλλοντα αναφερόμενες σε ραδιοεπικοινωνίες. Μια παράμετρος που έχει προταθεί σε μια διόρθωση προσπαθεί να εξηγήσει την εξασθένιση του σήματος λόγω του θορύβου που συγκεντρώνεται στο αστικό περιβάλλον της κεραιάς του δέκτη (R). Ο διορθωτικός αυτός όρος καλείται αστικός παράγοντας (Urban Factor – UF) και μοιάζει αρκετά με ανάλογους διορθωτικούς παράγοντες που έχουν προταθεί σε άλλα εμπειρικά μοντέλα όπως για παράδειγμα στο μοντέλο Okumura.

Τα μειονεκτήματα του μοντέλου Longley – Rice συνοψίζονται στο γεγονός ότι δεν περιλαμβάνει διορθωτικούς παράγοντες ανάλογα με το είδος του περιβάλλοντος που μελετάται. Δεν περιλαμβάνει γειτονικές παρεμβολές ή απώλειες που οφείλονται σε κτίρια, φύλλωμα ενώ δεν προβλέπει απώλειες σε περίπτωση πολύοδης διάδοσης.

### **3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ OKUMURA**

Το μοντέλο Okumura εφαρμόζεται σε αστικές κατοικημένες περιοχές με τις ακόλουθες τυπικές τιμές :

Συχνότητα  $f = 150 \text{ MHz} - 1920 \text{ MHz}$  (Μπορεί να επεκταθεί και για 3000 MHz)

Απόσταση  $d = 1 \text{ km} - 100 \text{ km}$

Ύψος Σταθμού Βάσης  $h_{te} = 30 \text{ m} - 1000 \text{ m}$

Ύψος Κινητού Σταθμού  $h_{re} = 0 \text{ m} - 10 \text{ m}$

Ο τύπος που δίνει τις απώλειες οι οποίες είναι μέσες απώλειες και για αυτό τις συμβολίζουμε με  $L_{50}$  είναι :

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

όπου :

$L_F$  : οι απώλειες ελεύθερου χώρου

$A_{mu}$  : η μέση εξασθένιση ως προς περιβάλλον ελεύθερου χώρου

$G(h_{te})$  : το κέρδος της κεραίας του σταθμού βάσης (transmitter)

$G(h_{re})$  : το κέρδος της κεραίας του κινητού σταθμού (receiver)

$G_{AREA}$  : ο παράγοντας κέρδους που οφείλεται στο περιβάλλον.

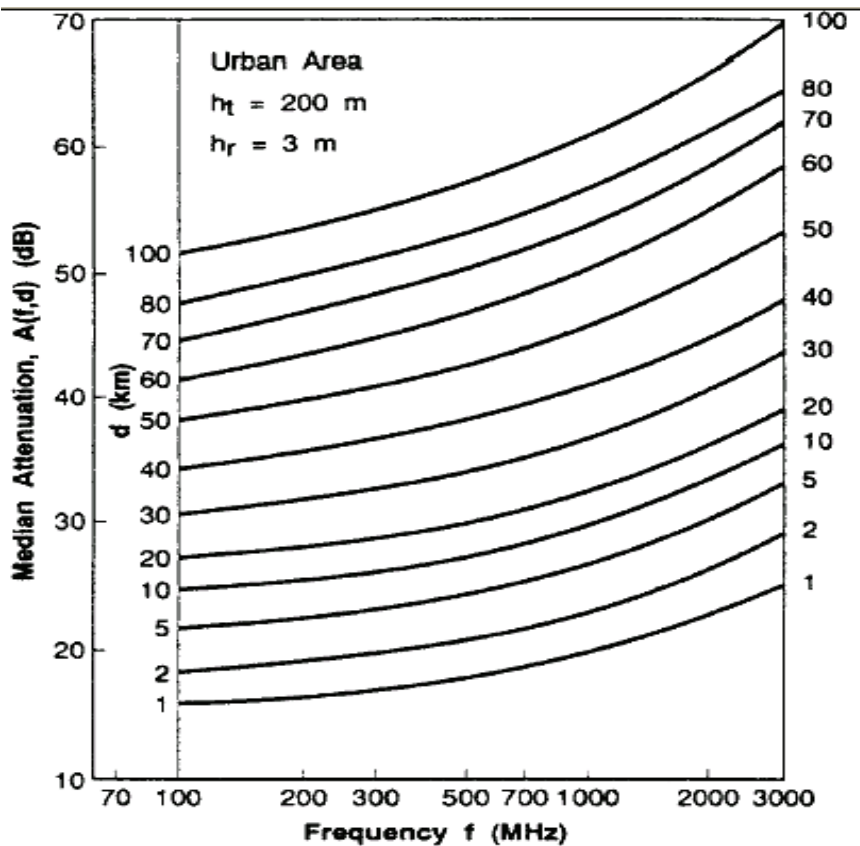
Τα κέρδη των κεραιών είναι συναρτήσεις του ύψους και δεν προκύπτουν από διαγράμματα ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα για τα μεγέθη  $G(h_{te})$  και  $G(h_{re})$  ανάλογα με τα ύψη ( $h_{te}$ ), ( $h_{re}$ ) έχουμε τους παρακάτω τύπους διορθώσεων :

$$G(h_{te}) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000m > h_{te} > 30m$$

$$G(h_{re}) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3m$$

$$G(h_{re}) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} > 3m$$

Τα μεγέθη  $A_{mu}$  και  $G_{AREA}$  προκύπτουν από τις γραφικές παραστάσεις που φαίνονται στην εικόνα:

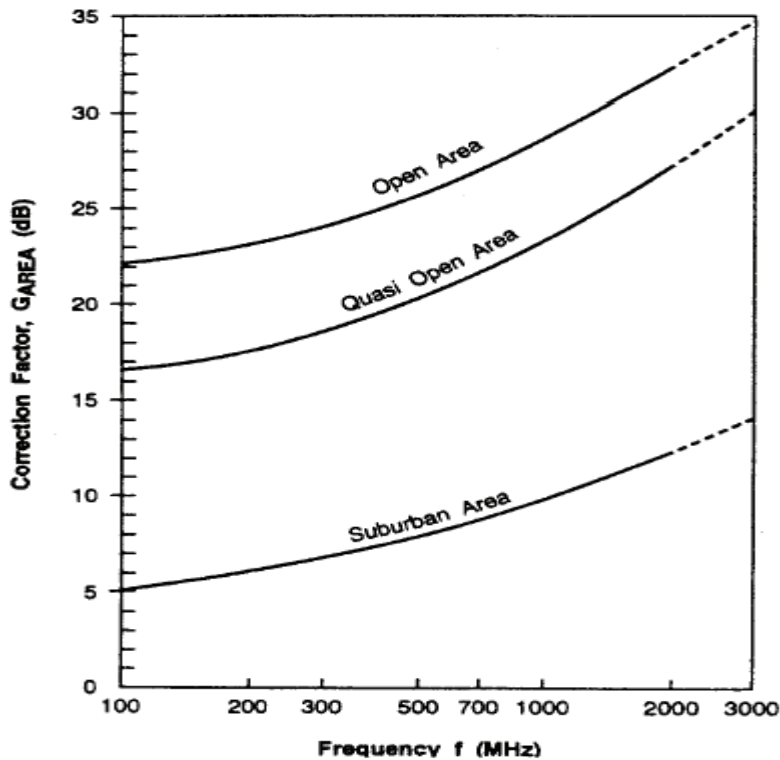


Εικόνα 3.1: Η μέση εξασθένιση  $A_{mu}$  ως προς περιβάλλον ελεύθερου χώρου

Οι παραπάνω καμπύλες έχουν προκύψει από πολλές πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αστική περιοχή σε περίπου λείο έδαφος με τα ενεργά ύψη του πομπού (T) να είναι μέχρι 200m και του δέκτη (R) μέχρι 3m. Χρησιμοποιήθηκαν κεραιές κάθετης πόλωσης ομοιοκατευθυντικές και στον πομπό (T) και στον δέκτη (R). Οι συχνότητες για τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις είναι από 100MHz έως 1920MHz ενώ η απόσταση από τον σταθμό βάσης – πομπό (T) είναι από 1km έως 100km.

Στο μοντέλο Okumura μπορούν να αναζητηθούν περισσότερες διορθώσεις. Μερικές έχουν να κάνουν με το έδαφος, την κλίση του, παραμέτρους που λαμβάνουν υπόψη την θάλασσα κλπ. Οι διορθωτικοί παράγοντες αρκεί να προστεθούν ή να αφαιρεθούν από την αρχική εξίσωση. Οι διορθώσεις αυτές είναι γνωστές σαν καμπύλες Okumura.

Ακολουθεί η εικόνα με τον διορθωτικό παράγοντα περιβάλλοντος  $G_{AREA}$ :



Εικόνα 3.2 ο παράγοντας κέρδους  $G_{AREA}$  που οφείλεται στο περιβάλλον

Ο διορθωτικός παράγοντας έχει σχεδιαστεί στο εύρος συχνοτήτων από 100MHz έως 1920MHz για ανοιχτό χώρο (open area), ημιανοικτό χώρο (quasi open area) και ημιαστικό χώρο (suburban area). Όλες αυτές οι καμπύλες είναι βασισμένες σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στα παραπάνω περιβάλλοντα. Το μοντέλο δεν παρέχει αναλυτικές εκφράσεις για τον προσδιορισμό των καμπυλών και αυτό είναι απόλυτα λογικό αφού βασίζεται σε πειραματικές μετρήσεις. Σε περιπτώσεις που έχουμε να κάνουμε με δεδομένα εκτός των παραπάνω διαγραμμάτων είναι δυνατό να υπολογίζονται οι τιμές είτε με προεκτάσεις είτε με άλλες γραφικές μεθόδους.

Το μοντέλο Okumura είναι αρκετά απλό, δίνει με μεγάλη ακρίβεια τις απώλειες για συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών ή επίγειες ασύρματες συνδέσεις. Τα μειονεκτήματά του είναι οι αδυναμία του να ανταποκριθεί γρήγορα στις αλλαγές της επιφάνειας του περιβάλλοντος και η όχι και τόσο ακριβής ανταπόκριση του σε αγροτικές περιοχές. Ωστόσο σε αστικό ή ημιαστικό περιβάλλον θεωρείται αρκετά αξιόπιστο. Οι αποκλίσεις

μεταξύ προβλεπόμενων μεγεθών και μετρούμενων είναι μεταξύ 10dB και 14dB.

### 3.4 ΜΟΝΤΕΛΟ HATA

Το μοντέλο Hata εφαρμόζεται σε αστικές κατοικημένες περιοχές με τις ακόλουθες τυπικές τιμές :

Συχνότητα  $f = 150 \text{ MHz} - 1500 \text{ MHz}$

Απόσταση  $d = 1 \text{ km} - 20 \text{ km}$

Ύψος Σταθμού Βάσης  $h_{te} = 30 \text{ m} - 200 \text{ m}$

Ύψος Κινητού Σταθμού  $h_{re} = 1 \text{ m} - 10 \text{ m}$

Ο τύπος που δίνει τις απώλειες αναφέρεται κυρίως σε αστικές περιοχές και έχει να κάνει και πάλι με τις μέσες απώλειες για αυτό και συμβολίζεται με  $L_{50}$  και είναι :

$$L_{50}(dB) = 69,55 + 26,16 \cdot \log_{10} f_c - 13,82 \cdot \log_{10} (h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \cdot \log_{10} h_{te}) \cdot \log_{10} d$$

Όπου:

$f_c$  : η συχνότητα σε MHz

$h_{te}$  : το ενεργό ύψος του σταθμού βάσης – πομπού (T)

$h_{re}$  : το ενεργό ύψος του κινητού σταθμού – δέκτη (R)

$d$  : η απόσταση που χωρίζει τον πομπό (T) και τον δέκτη (R) σε km

$a(h_{re})$  : ο παράγοντας διόρθωσης για το ενεργό ύψος  $h_{re}$

Για μικρή ή μεσαία πόλη ο παράγοντας διόρθωσης δίνεται από τη σχέση :

$$a(h_{re}) = (1,1 \cdot \log_{10} f_c - 0,7) \cdot h_{re} - (1,56 \cdot \log_{10} f_c - 0,8) \text{ dB}$$

ενώ για μεγάλη πόλη ο παράγοντας δίνεται από τις σχέσεις :

$$a(h_{re}) = 8,29 \cdot (\log_{10} 1,54 \cdot h_{re})^2 - 1,1 \text{ dB για } f_c \leq 300\text{MHz}$$

$$a(h_{re}) = 3,2 \cdot (\log_{10} 11,75 \cdot h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB για } f_c \geq 300\text{MHz}$$

Σε περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε την απώλεια σε ημιαστικό περιβάλλον η εξίσωση είναι :

$$L_{50\eta\mu\iota\alpha\sigma\tau}(dB) = L_{50}(dB) - 2 \cdot \left[ \log_{10} \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

Τέλος στην περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε τις απώλειες σε αγροτικό περιβάλλον έχουμε:

$$L_{50\alpha\gamma\rho\sigma\tau}(dB) = L_{50}(dB) - 4,78 \cdot [\log_{10} f_c]^2 + 18,33 \cdot \log_{10} f_c - 40,94$$

Παρόλο που το μοντέλο του Hata δεν περιλαμβάνει τους παράγοντες διόρθωσης που υπάρχουν στο μοντέλο Okumura, οι παραπάνω εκφράσεις έχουν σημαντική υπολογιστική αξία. Τα αποτελέσματα στα δύο μοντέλα Hata και Okumura σχεδόν ταυτίζονται για αποστάσεις που ξεπερνούν το 1km. Το μοντέλο ενδείκνυται για συστήματα επικοινωνιών που χρησιμοποιούν μεγάλες κυψέλες, αλλά με ακτίνα που δεν είναι μικρότερη από 1km.

### 3.5 MONTELO WALFISCH KAI BERTONI

Το μοντέλο Walfisch και Bertoni λαμβάνει υπόψη την επίδραση των οροφών των κτιρίων, του ύψους των κτιρίων χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της περίθλασης. Οι απώλειες  $S$  του σήματος κατά τη διαδρομή θεωρούνται ένα γινόμενο τριών παραγόντων που είναι διαδοχικά :

$$S = P_o \cdot Q^2 \cdot P_1$$

όπου ο παράγοντας  $P_o$  εκφράζει τις απώλειες ελεύθερου χώρου σε ισοτροπικές κεραίες και δίνεται από τον τύπο :

$$P_o = \left( \frac{\lambda}{4\pi \cdot R} \right)^2$$

Ο παράγοντας  $Q^2$  εκφράζει τις απώλειες που οφείλονται στις οροφές των κτιρίων ή στη σειρά των κτιρίων στη σκιά των οποίων βρίσκεται ο δέκτης. Ο όρος  $P_1$  αναφέρεται στην περίθλαση του σήματος από την οροφή στον δρόμο.

Σε dB οι απώλειες  $S$  του σήματος θα δίνονται από τη σχέση :

$$S(dB) = L_o + L_{rts} + L_{ms}$$

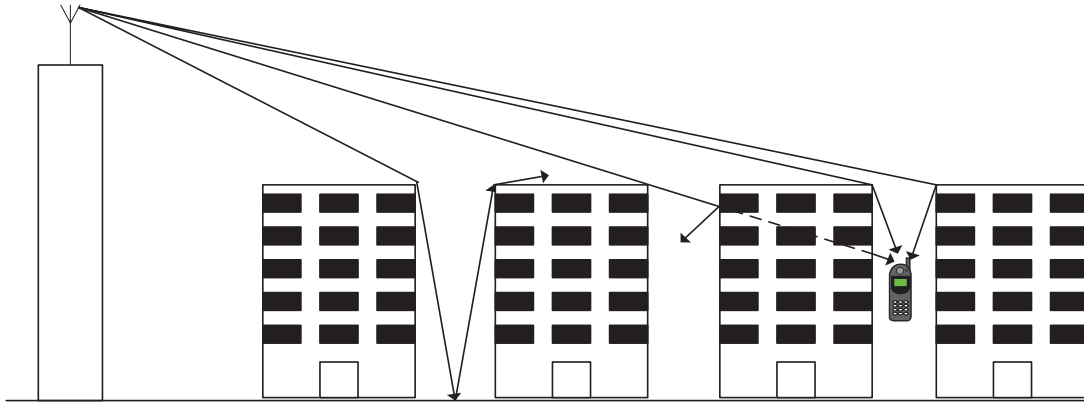
όπου :

$L_o$  : οι απώλειες ελεύθερου χώρου σε dB

$L_{rts}$  : οι απώλειες περίθλασης από την οροφή στον δρόμο (road to street) σε dB

$L_{ms}$  : οι απώλειες περίθλασης σειράς πολλαπλών κτιρίων (multiscreen) σε dB

Η γεωμετρία για το μοντέλο και την παραπάνω διάδοση που περιγράψαμε φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί :



Εικόνα 3.3 : Γεωμετρία μοντέλου Walfisch και Bertoni

Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για ομοιογενείς αστικές και ημιαστικές περιοχές. Προβλέπει δηλαδή ότι τα κτίρια απέχουν περίπου ίδιες αποστάσεις και είναι ομοιόμορφα μεταξύ τους ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Αναφέρεται στην περίπτωση που δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (NLoS). Το λαμβανόμενο σήμα φτάνει στο δέκτη αφού έχει υποστεί πολλαπλές περιθλάσεις από τα κτίρια που προηγούνται. Για τον υπολογισμό του πεδίου η σειρά των κτιρίων που παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη αντιμετωπίζεται σαν ένα σύνολο από εμπόδια περίθλασης. Το πεδίο στην κορυφή του τελευταίου κτιρίου περιθλάται και φτάνει τον δέκτη απευθείας. Αυτό το πεδίο επίσης ανακλάται στο αμέσως επόμενο κτίριο που ακολουθεί και φτάνει και αυτό στον δέκτη. Οι απώλειες εκτιμώνται από τον παρακάτω τύπο :

$$L = 89,55 + 21 \cdot \log_{10} f + 38 \cdot \log_{10} d - 18 \cdot \log_{10} H + A - 18 \cdot \log_{10} \left( 1 - \frac{d^2}{17H} \right)$$

όπου :



d : η απόσταση πομπού και δέκτη σε km

f : η συχνότητα σε MHz

H : το μέσο ύψος της κεραίας του πομπού ως προς το ύψος των γειτονικών κτιρίων

Ο τελευταίος όρος σχετίζεται με την καμπυλότητα της επιφάνειας της Γης, ενώ ο όρος A αφορά την επίδραση των κτιρίων και δίνεται από τον τύπο :

$$A = 5 \cdot \log_{10} \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 + (h_B - h_m)^2 \right] - 9 \cdot \log_{10} b + 20 \cdot \log_{10} \left\{ \operatorname{tg}^{-1} \left[ \frac{2 \cdot (h_B - h_m)}{b} \right] \right\}$$

όπου :

$h_B$  : το ύψος των κτιρίων (m)

$h_m$  : το ύψος του δέκτη (m)

b : η απόσταση σειράς των κτιρίων

Η πρώτη απαιτεί ο πομπός να βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της οροφής των κτιρίων.

Η δεύτερη σχέση διαφέρει ως προς τη σχέση πρώτη που είδαμε πιο πριν και η οποία έδινε τις συνολικές απώλειες ως άθροισμα τριών όρων

$$S(dB) = L_o + L_{rts} + L_{ms}$$

ο δεύτερος όρος στο παραπάνω άθροισμα δίνεται από τη σχέση :

$$L_{rts} = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{D^2(\theta)}{\pi \cdot k \cdot \cos\phi \cdot r} \right]$$

Όπου :

$r$  : είναι η απόσταση της αιχμής του κτιρίου από το δέκτη  $R$

$x$  : είναι η οριζόντια απόσταση του δέκτη από το κτίριο (m)

$k$  : ο κυματάριθμος (σε  $m^{-1}$ )

$\phi$  : η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία του δρόμου και την ευθεία που ενώνει τις κεραίες πομπού και δέκτη

$\theta$  : η γωνία της περιθλώμενης ακτίνας

$D(\theta)$  : ο συντελεστής περιθλασης όπως προκύπτει από τη θεωρία GTD και ο οποίος δίνεται από τη σχέση :

$$D(\theta) = \frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta + 2\pi}$$

Αν η αιχμή σχηματίζεται από την οροφή του κτιρίου και τον κατακόρυφο τοίχο τότε ισχύουν :

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{h_B - h_m}{x} \right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + (h_B - h_m)^2}$$

Ο τρίτος όρος μπορεί να προκύψει από εφαρμογή μεθόδων φυσικής οπτικής (P.O). Συγκεκριμένα έχουμε ότι :

$$L_{ms} = 20 \cdot \log_{10} Q(g_p)$$

όπου ο παράγοντας Q δίνεται από τη σχέση:

$$Q(g_p) = 3,502 \cdot g_p - 3,327 \cdot g_p^2 + 0,962 \cdot g_p^3$$

και ο όρος  $g_p$  είναι μια αδιάστατη παράμετρος που δίνεται από τη σχέση :

$$g_p = tg^{-1} \left( \frac{H}{1000 \cdot d} \right) \cdot \sqrt{\frac{b \cdot \cos \phi}{\lambda}}$$

όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος, και  $d$  η απόσταση σε km. Για τις περισσότερες μικροκυψέλες η τιμή του  $g_p$  είναι μεταξύ 0,01 και 1.

### 3.6 ΜΟΝΤΕΛΟ LEE

Πρόκειται για ένα εμπειρικό μοντέλο που ισχύει για αστικές και ημιαστικές μακροκυψέλες. Η λαμβανόμενη ισχύς με βάση το μοντέλο LEE σε dBm δίνεται από τη σχέση :

$$P_r = A - B \cdot \log_{10} d - n \cdot \log_{10} \left( \frac{f}{900} \right) + 10 \cdot \log_{10} a$$

όπου :

$d$  : η απόσταση πομπού και δέκτη σε km

$f$  : η συχνότητα σε MHz

Ο παράγοντας  $n$  έχει τις ακόλουθες τιμές :

$$n = \begin{cases} 2 & , \text{ για ημιαστικό περιβάλλον και } f < 450\text{MHz} \\ 3 & , \text{ για αστικό περιβάλλον και } f > 450\text{MHz} \end{cases}$$

Η παράμετρος  $a$  δίνεται από τη σχέση :

$$a = \frac{h_t^2 \cdot h_r^m \cdot p_t \cdot g_t \cdot g_r}{3660}$$

όπου :

$h_t, h_r$  : τα ύψη των κεραιών του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα (m)

$p_t$ : η ισχύς εκπομπής του πομπού (Watts)

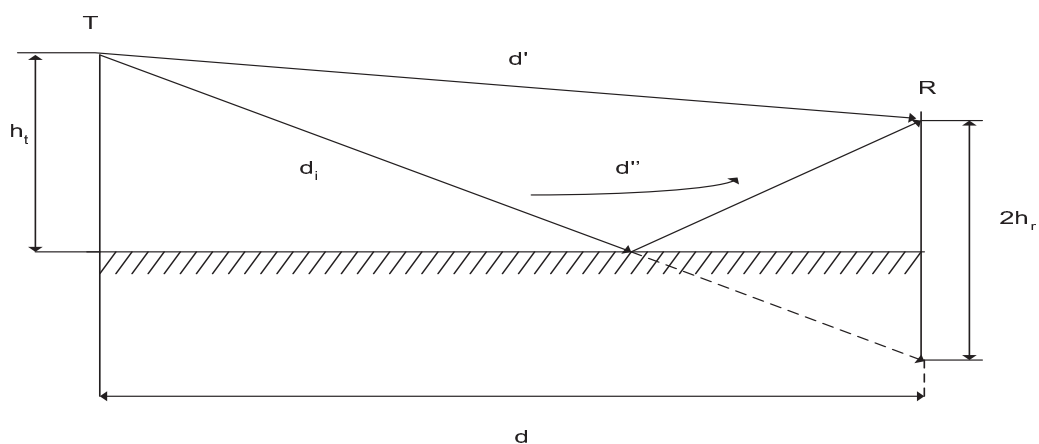
$g_r, g_t$  : τα κέρδη των κεραιών του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα

και ο παράγοντας  $m$  εξαρτάται από το ύψος της κεραίας του δέκτη ως εξής :

$$m = \begin{cases} 2 & , \text{ όταν } h_r > 10m \\ 1 & , \text{ όταν } h_r < 3m \end{cases}$$

### 3.7 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΑΚΤΙΝΩΝ (TWORAY)

Το μοντέλο δύο ακτινών υπολογίζει το πεδίο στον δέκτη θεωρώντας ότι αυτό προκύπτει από τη συμβολή του απευθείας και του ανακλώμενου στο έδαφος πεδίου. Η εικόνα αυτή περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 3.4 : Μοντέλο tworay

Οι απώλειες για την πιο πάνω γεωμετρία δίνονται από τη σχέση :

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left[ \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right) \cdot \left| \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + \Gamma \cdot \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right| \right]$$

όπου

$\Gamma$  : ο συντελεστής Fresnel του εδάφους

$\lambda$  : το μήκος κύματος

$k$  : ο κυματάριθμος

$r_1, r_2$  : αποστάσεις που αντιστοιχούν στην απευθείας και στην ανακλώμενη διαδρομή του σήματος αντίστοιχα

Το μοντέλο αυτό είναι ιδανικό για αγροτικά περιβάλλοντα με επίπεδο έδαφος. Επίσης είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε μικροκυψέλες όπου υπάρχει άμεση οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (LoS). Σε τέτοιες περιπτώσεις συμβαίνουν ανακλάσεις και περιθλάσεις στους τοίχους του κτιρίου.

Εάν οι απώλειες γραφτούν συναρτήσει της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη  $d$ , μπορεί να αποδειχθεί ότι η εξάρτηση των απωλειών από το  $d$  αποτελείται από δύο καμπύλες με διαφορετική κλίση ( $n_1$  και  $n_2$ ). Το σημείο ασυνέχειας εμφανίζεται σε απόσταση  $d_b$  από τον πομπό που δίνεται από τη σχέση :

$$d_b = \frac{4 \cdot h_t \cdot h_r}{\lambda}$$

όπου  $h_t, h_r$  : τα ύψη των κεραιών του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα (m)

Επομένως το σημείο ασυνέχειας βρίσκεται εκεί όπου η ελλειψοειδής ζώνη Fresnel από το απευθείας κύμα εφάπτεται στο έδαφος.

Οι απώλειες μπορούν να γραφτούν ως εξής :

$$L = \begin{cases} L_1 + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10} d & \text{οταν } 1 < d < d_b \\ L_1 + 10 \cdot n_2 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{d_b} \right) + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10} d_b & \text{οταν } d > d_b \end{cases}$$

όπου

$L_1$  : οι απώλειες σε απόσταση αναφοράς 1m

Για το θεωρητικό μοντέλο two-ray οι τιμές των  $n_1$  και  $n_2$  είναι ίσες με 2 και 4 αντίστοιχα. Μετρήσεις σε αστικές μικροκυψέλες στις συχνότητες των 1800MHz και 1900MHz δείχνουν για το μεν  $n_1$  τιμή μεταξύ 2 και 2,3 και για το  $n_2$  μεταξύ 3,3 και 13,3 αντίστοιχα.

Μια παραλλαγή για το μοντέλο είναι και αυτή που δίνει τις απώλειες από την παρακάτω σχέση συναρτήσεως του σημείου ασυνέχειας  $d_b$ :

$$L = \begin{cases} 40 + 25 \cdot \log_{10} d & \text{οταν } d < \frac{d_b}{2} \\ 40 + 25 \cdot \log_{10} \left( \frac{d_b}{2} \right) + 40 \cdot \log_{10} \left( \frac{2 \cdot d}{d_b} \right) & \text{οταν } \frac{d_b}{2} \leq d < 4 \cdot d_b \\ 40 + 25 \cdot \log_{10} \left( \frac{d_b}{2} \right) + 40 \cdot \log_{10} (4 \cdot d_b) + 60 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{4 \cdot d_b} \right) & \text{οταν } d \geq 4 \cdot d_b \end{cases}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσω και θα σχολιάσω τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε στη περιοχή του Αντιρρίου. Σκοπός των μετρήσεων είναι η αξιολόγηση της λαμβανόμενης ισχύς σήματος από τον κινητό χρήστη σε διαφορετικά σημεία της περιοχής. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήσαμε κατά τη διάρκεια των

μετρήσεων και δίνονται τα αριθμητικά δεδομένα. Επιπλέον, παραθέτω γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων τις οποίες σχολιάζω αναλυτικά μοντέλο ραδιοκάλυψης που χρησιμοποίησα, και σε ποια συμπεράσματα κατέληξα.

## 4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως προείπαμε ο στόχος των μετρήσεων είναι η αξιολόγηση της λαμβανόμενης ισχύς σήματος ,γι'αυτό το λόγο οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διαφορετικά σημεία της περιοχής. Εμείς, στα πλαίσια της πτυχιακής, πήραμε μετρήσεις από την ευρύτερη περιοχή του Αντιρρίου. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Google Earth. Το οποίο πρόγραμμα μας βρήκε τις αποστάσεις από το κάθε σημείο καταγραφής, δηλαδή τις συντεταγμένων (lat,lon) από την κεραία εκπομπής. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις έγιναν τη Δεύτερα 7 Σεπτεμβρίου 2015. Οι μετρήσεις έγιναν περπατώντας. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήσαμε ήταν ένας κινητός δέκτης, που λειτουργεί στις συχνότητες 800 και 1800 MHz. Στην εικόνα φαίνεται η διαδρομή που ακολουθήσαμε με κόκκινο χρώμα .





Εικόνα 4.1 Αναλυτικός χάρτης του Αντιρρίου με αποτυπωμένη την διαδρομή.

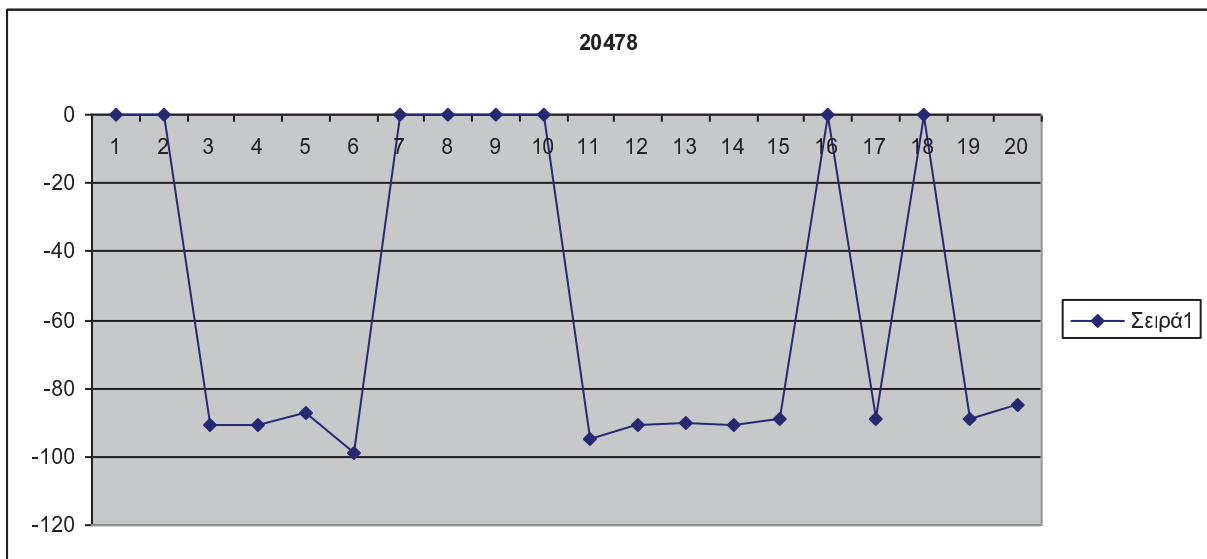
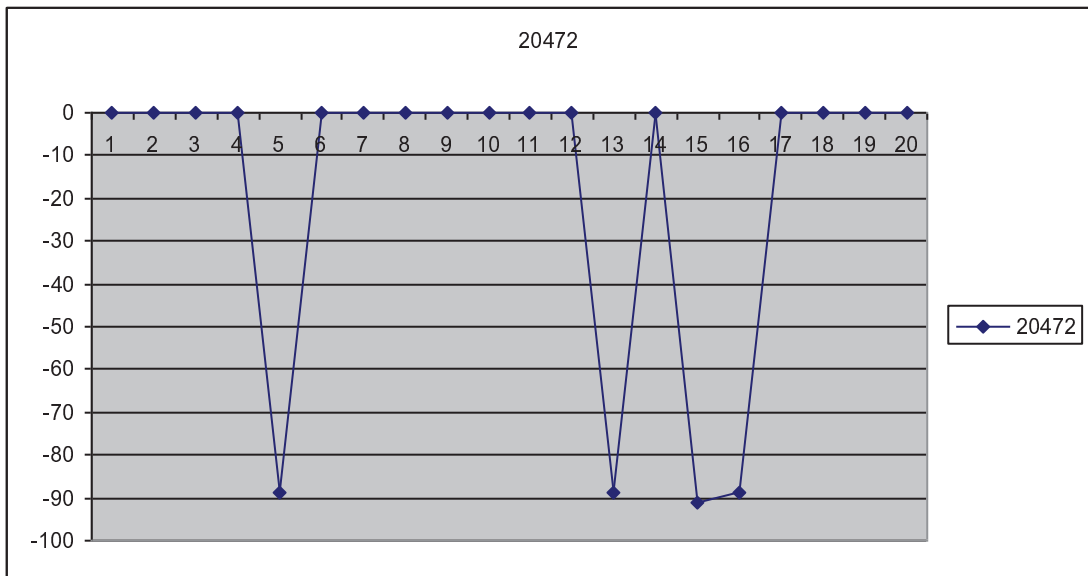
**Διαδρομή:** Ξεκινάμε από τον εξωτερικό χώρο του ΤΕΙ και κινούμαστε προς το κυκλικό κόμβο που οδεύει προς την προβλήτα. Στη συνέχεια κατευθυνόμαστε στο πεζόδρομο όπου βρίσκονται οι υπόλοιπες αίθουσες του ΤΕΙ. Τέλος κινούμαστε αριστερά του δρόμου σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή. Αφού εκτελέσαμε τη διαδρομή με το κινητό δίκτυο συγκεντρώσαμε τα αρχεία καταγραφής.

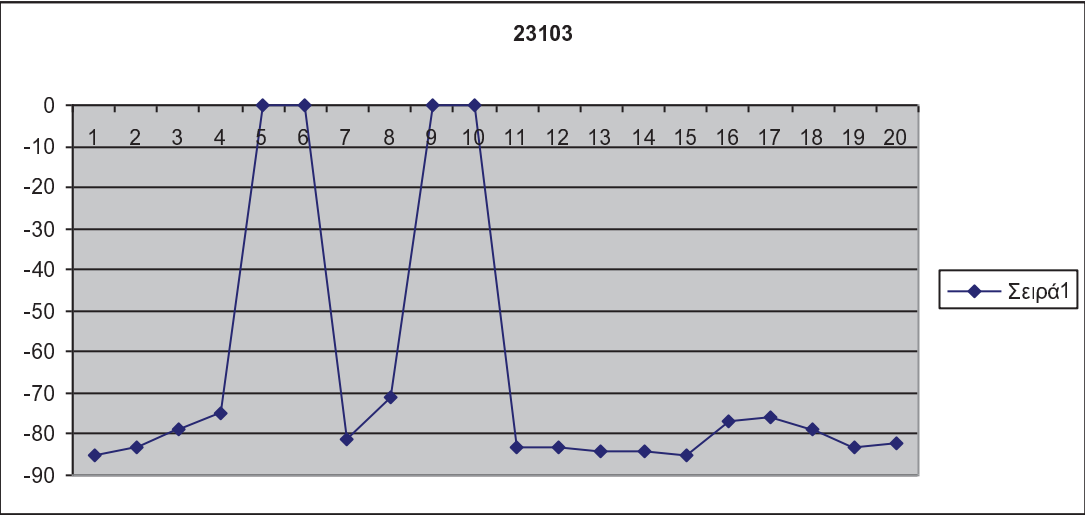
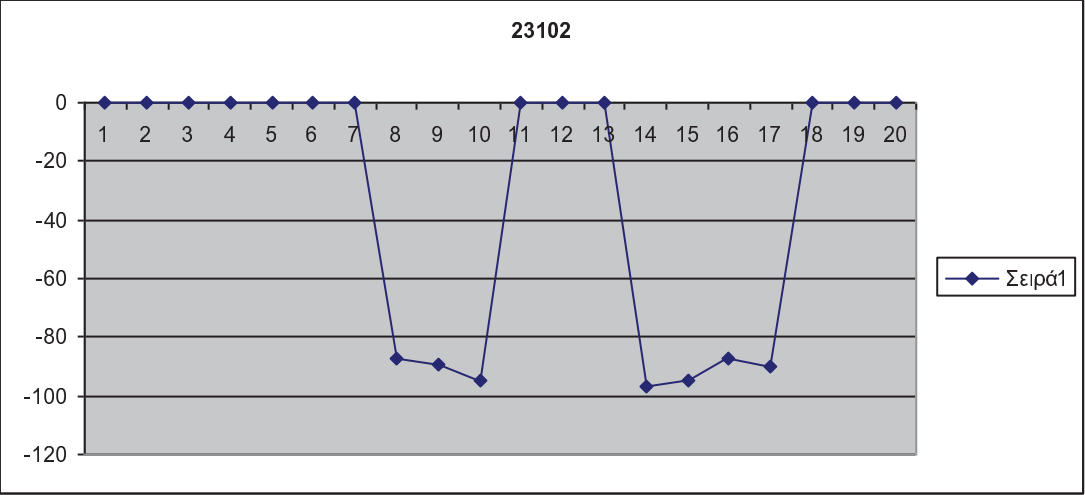
Cells ID							
id	Latitude	longitude	20472	20478	23102	23103	23107
			M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.
1	38.200.157	21.416.025	0	0	0	-85	0
2	38.200.012	21.416.165	0	0	0	-83	0
3	38.201.846	21.416.283	0	-91	0	-79	0
4	38.201.604	21.416.387	0	-91	0	-75	0
5	38.200.443	21.416.405	-89	-87	0	0	0
6	38.202.250	21.415.523	0	-99	0	0	0
7	38.202.084	21.415.735	0	0	0	-81	0
8	38.201.928	21.415.970	0	0	-87	-71	-87
9	38.201.757	21.415.744	0	0	-89	0	-90
10	38.201.639	21.414.540	0	0	-95	0	-95
11	38.200.531	21.415.329	0	-95	0	-83	-95
12	38.200.370	21.415.803	0	-91	0	-83	0
13	38.200.402	21.415.494	-89	-90	0	-84	0
14	38.200.402	21.414.990	0	-91	-97	-84	0
15	38.200.1401	21.414.756	-91	-89	-95	-85	0
16	38.200.630	21.414.814	-89	0	-87	-77	-87
17	38.199.523	21.414.960	0	-89	-90	-76	-87
18	38.198.485	21.415.868	0	0	0	-79	-87
19	38.198.385	21.415.861	0	-89	0	-83	0
20	38.198.319	21.415.869	0	-85	0	-82	0

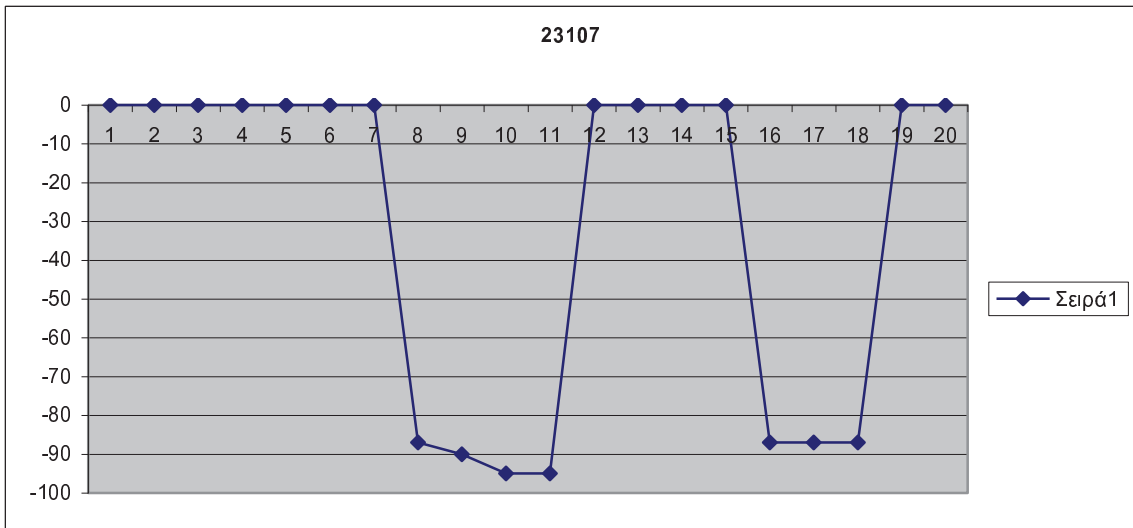
### Πίνακας δεδομένων μετρήσεων

Στο κατακόρυφο άξονα φαίνονται τα 20 σημεία στα οποία έχει διαιρεθεί η διαδρομή καθώς και το γεωγραφικό στίγμα τους. Στον οριζόντιο άξονα διακρίνονται οι κυψέλες που κατέγραψε η συσκευή μας κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Εσωτερικά στον πίνακα εμφανίζεται η ισχύς λήψης των κυψελών συναρτήσει του σημείου καταγραφής. Παρακάτω εμφανίζονται

οι μετρήσεις ισχύος λήψης για κάθε κυψέλη συναρτήσει του σημείου καταγραφής αποτυπωμένες σε γραφήματα.







Παρατηρούμε ότι για την κυψέλη cell ID 23103 , μόνο για τέσσερα σημεία δεν υπάρχουν δεδομένα από τη συσκευή μας για το λόγο αυτό αποφασίσαμε να μελητήσουμε και να βασίσουμε την εργασία μας βάση τη συγκεκριμένη κυψέλη.

### 4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Θα χρησιμοποιήσουμε τον γενικό τύπο του Friis, όπου ο εκθέτης της απόστασης δίδεται από την σταθερά  $k$ :

$$L_{FS} = L_0 \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot d^\kappa \quad \text{πλέον γενικευμένος τύπος}$$

Και σε dB ισχύει:

$$10 \cdot \log_{10} L_{FS} = 10 \cdot \log_{10} \left[ L_0 \cdot \left(\frac{4\pi f}{c}\right)^2 \cdot d^\kappa \right] \Rightarrow$$

$$L_{FS} [dB] = 10 \cdot \log_{10} L_0 + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10\kappa \cdot \log_{10} d \Rightarrow$$

$$L_{FS} [dB] = L_0 [dB] + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10\kappa \cdot \log_{10} d$$

Με έννοιες στατιστικές ανάλυσης, έχουμε ότι:

$$\overbrace{L_{FS} [dB]}^y = \overbrace{L_0 [dB]}^a + \overbrace{10\kappa \cdot \log_{10} d}^b + \overbrace{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right)}^c$$

όπου:

$$y : L_{FS} [dB]$$

$$a : L_0 [dB]$$

$$b : 10\kappa$$

$$x : \log_{10} d$$

$$c : 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) \text{ η οποία αλλάζει βάσει συχνότητας (δηλ.}$$

GSM 900, GSM 1800, WCDMA 2GHz κλπ).

Μένει να δούμε πως υπολογίζονται αυτές οι ποσότητες.

Αρχικά υπολογίζουμε τον τύπο του Friis για το ολικό Link Budget

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_{FS}} [Watt]$$

Σε dBm έχουμε:

$$10 \cdot \log_{10} P_R = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_{FS}} \right] \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = 10 \cdot \log_{10} P_T + 10 \cdot \log_{10} G_T + 10 \cdot \log_{10} G_R - 10 \cdot \log_{10} L_{FS} \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - L_{FS} [dB] \Rightarrow$$

$$\boxed{L_{FS} [dB] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - P_R [dBm]}$$

Επομένως με το κινητό δέκτη εκτελέσαμε μετρήσεις ισχύος λήψης. Εάν πάρουμε τις παραμέτρους που αφορούν τον σταθμό βάσης με Cell ID 23103 έχουμε:

$$P_T [dBm] = 40dBm$$

$$G_T [dBi] = 10dBi$$

$$G_R [dBi] = 0dBi$$

Τελικά έχουμε:

$$L_{FS} [dB] = 40dBm + 10dBi + 0dB - P_R [dBm] \Rightarrow$$

$$L_{FS} [dB] = 50dBm - P_R [dBm]$$

#### 4.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΚΘΕΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Για την εξαγωγή του εκθέτη απωλειών χρησιμοποιήθηκε μία γραμμική εμπειρική σχέση μεταβλητών χωρίς σταθερούς όρους η οποία ουσιαστικά προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή της μορφής:

$$y = a + b \cdot x$$

Στα διάφορα ζευγάρια δεδομένων, προκύπτει:

$$y_i = a + b \cdot x_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Η διαδικασία υπολογίζει τον εμπειρικό συντελεστή  $b$  και την εμπειρική σταθερά  $a$ , καθώς και πλήθος άλλων παραμέτρων.

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις λαμβάνονται σε μορφή ζεύγους όπου  $x$  είναι μια ανεξάρτητη μεταβλητή και η  $y$  μια εξαρτημένη. Επομένως για τον υπολογισμό του εκθέτη απωλειών, η μεταβλητή  $x$  αντιστοιχεί στην απόσταση διαχωρισμού του σταθμού βάσης με τον κινούμενο χρήστη και η μεταβλητή  $y$  με τις εμφανιζόμενες απώλειες μετάδοσης.

Οι σχέσεις που υπολογίζονται είναι:

Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  του στιγμιαίου αποτελέσματος του Pearson από τη σχέση:



$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ο εμπειρικός συντελεστής  $b$ , και η εμπειρική σταθερά  $a$ , οι οποίοι υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων SSD, κατά την τεχνική προσέγγισης, το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SSD = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2$$

Ο βαθμός ελευθερίας της απόκλισης DFD, δηλαδή:

$$DFD = n - 2$$

Η μέση τιμή των τετραγώνων της απόκλισης MSD κατά τη προσέγγιση:

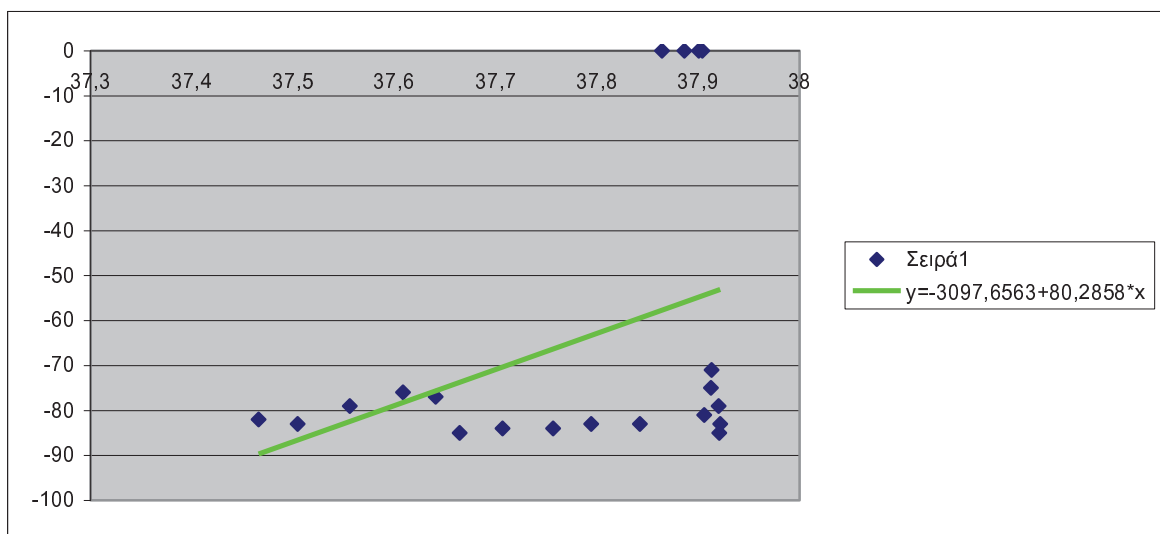
$$MSD = \frac{SSD}{DFD}$$

Το τυπικό λάθος του εμπειρικού συντελεστή  $se(b)$  και το αντίστοιχο  $se(a)$ :

$$se(b) = \sqrt{\frac{MSD}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$se(a) = \sqrt{MSD \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

Από την εκτέλεση του προγράμματος παίρνουμε τις στατικές τιμές που χρειαζόμαστε και πλέον μπορούμε να σχεδιάσουμε την ευθεία  $y = a + bx$



$$a = L_0 [dB] = -3097,6563$$

$$b = 80,2858$$

$$b = 10\kappa \Rightarrow \kappa = \frac{b}{10} = 8,02858$$

$$r = 0,373533068$$

$$SSD = 98044,12749773$$

$$DFD = 18$$

$$MSD = 5446,895972$$

$$se(b) = 0,208195832$$

$$se(a) = 18,28144553$$

Επομένως, όπως περιμέναμε, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση της κινητής μονάδας από τον σταθμό βάσης αυξάνονται και οι απώλειες της ζεύξης.

Καταλήγουμε λοιπόν ότι το μοντέλο μας το οποίο διατυπώνεται ως εξής:  
Η απόσβεση (Path Loss Lfs) δίδεται από τον τύπο:

$$L_{FS} [dB] = a + b \cdot \log_{10} d + 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right) \Rightarrow$$

$$L_{FS} [dB] = -3097,6563 + 80,2858 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right)$$

Η εκτίμηση της ισχύος λήψης σε [dBm] είναι:

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - L_{FS} [dB] \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = 50dBm - a - b \cdot \log_{10} d - 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right) \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = 50dBm + 3097,6563 - 80,2858 \cdot \log_{10} d - 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right)$$

Οπότε μένει να μας δώσει κάποιος την συχνότητα του δικτύου.  
Σε Watt θα ισχύει:

$$P_R [W] = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_0 \cdot \left( \frac{4\pi f}{c} \right) \cdot d^\kappa}$$

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *“ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ”*, Π. ΚΩΤΤΗΣ, Χ. ΚΑΨΑΛΗΣ
2. *“ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ”*, Π. ΚΩΤΤΗΣ
3. *“ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ”*, Φ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
4. *“ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ”*, Μ.Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ
5. *“ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΓΗΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”*, Ι. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ.
6. *“ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ” ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ*, G. MARAL&M. BOUSQUET
7. *“ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ GSM ”*, ΛΟΥΒΡΩΝ ΣΠΥΡΙΔΩΝ & ΚΟΥΓΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
8. *“ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ”*, Σ. ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΣ& Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ
9. *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ*, Φ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, ΑΘ. ΚΑΝΑΤΑΣ