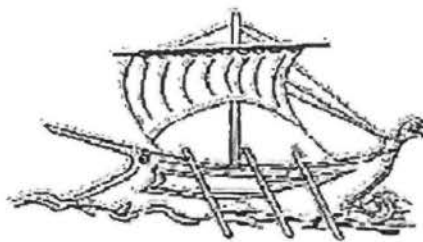


ΑΥΤ.
637

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ



Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ GSM ΔΙΚΤΥΟΥ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΜΑΝΟΥΣΟΓΙΑΝΝΗ ΚΑΤΕΡΙΝΑ
ΛΙΟΝΤΟΣ ΠΡΟΚΟΠΗΣ**

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014 (14/2/2014)

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π. Ραλλή & Θηβών 250, 12244 Αιγάλεω, Αθήνα – Ελλάδα

Τηλ. 210-5381488

TKA
FEB

Περιεχόμενα

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	5
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ GSM	5
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	7
1.2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΡΑΔΙΟ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	10
1.2.1 Ιδιωτικά συστήματα	10
1.2.2 Δημόσια συστήματα.....	10
1.2.3 Ασύρματα συστήματα.....	11
1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	11
1.4 ΑΡΧΕΣ ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ	12
1.4.1 Η κυψελωτή ορολογία.....	12
1.4.2 Βασικά στοιχεία ενός κυψελωτού κινητού συστήματος.....	17
1.4.3 Ραδιοηλεκτρική κάλυψη	19
1.4.4 Χαρακτηριστικά.....	19
1.4.5 Σχεδιασμός	21
1.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GSM	22
1.5.1 Εισαγωγή.....	22
1.5.2 Στόχοι του GSM	22
1.5.3 Αρχιτεκτονική του GSM.....	24
1.5.4 Η ραδιοεπαφή στο GSM	26
1.5.5 Λογικά κανάλια	28
1.5.6 Πηδήματα συχνότητας – Frequency Hopping.....	32
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	
ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ	34
2.1 ΣΤΟΧΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	35
2.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	35
2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	38
2.4 ΚΑΛΥΨΗ GSM	40
2.5 ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟ-ΣΗΜΑΤΟΣ	41
2.5.1 Χαρακτηριστικά της Διάδοσης μέσω κινητών καναλιών	41
2.5.2 Μοντέλα πρόβλεψης της διάδοσης σήματος.....	48
2.5.3 Σχεδιασμός διακύμανσης – ισορροπίας συνδέσεων	50

2.5.4	Διάδοση μέσω μικροκυψελών (micro-cells)	55
2.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΑΣΕΩΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL COVERAGE)	59
2.6.1	Έκταση κάλυψης της κυψέλης	59
2.6.2	Εξοπλισμός κυψελοειδούς σχεδιασμού	60
2.6.3	Μετρήσεις RF	61
2.7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ-ΒΑΣΗΣ , BTSs	63
2.8	ΔΟΜΗ ΚΕΛΙΟΥ	65
2.8.1	Δημιουργία και προσαρμογή της κυψελωτής δομής	65
2.8.2	Τμηματοποίηση (SECTORIZATION).....	66
2.8.3	Δίκτυο σε επίπεδα	69
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ	72
3.1	ΔΙΑΣΤΑΣΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	73
3.1.1	Βασική ορολογία κίνησης	73
3.1.2	Συστήματα απωλειών.....	74
3.1.3	Πρόβλεψη κίνησης.....	75
3.2	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	77
3.2.1	Ολική διαστασοποίηση του δικτύου PLMN/GSM.....	77
3.2.2	Μοντέλο του ολικού δικτύου.....	77
3.2.3	Μοντέλο Κίνησης (Κυκλοφορίας).....	78
3.2.4	Συμφόρηση του δικτύου.....	80
3.2.5	Παραδείγματα διαστασοποίησης των καναλιών	81
3.3	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	84
3.3.1	Εισαγωγή.....	84
3.3.2	Προτάσεις GSM.....	85
3.3.3	Όρια του FADING	86
3.3.4	Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης.....	86
3.3.5	Τμηματική επαναχρησιμοποίηση για BBCH και TCH.....	88
3.3.6	Φασματική ικανότητα	89
3.3.7	Εργαλεία Σχεδίασης.....	90

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ_ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ.....	95
4.1 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	96
4.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	96
4.2.1 Εισαγωγή.....	96
4.2.2 Φάσεις βελτίωσης.....	97
4.2.3 Στόχοι ποιότητας.....	99
4.2.4 Συστηματική εκτίμηση ποιότητας.....	99
4.2.5 Διαδικασία βελτίωσης.....	101
4.2.6 Τρόποι βελτίωσης.....	102
4.2.7 Τροποποίηση - διαμόρφωση κεραιών.....	102
4.2.8 Τροποποίηση παραμέτρων της κυψέλης.....	105
4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	112
4.3.1 Εισαγωγή.....	112
4.3.2 Βασικές τεχνικές.....	113
4.3.3 Αύξηση του φάσματος και λειτουργίας dual.....	114
4.3.4 Χαρακτηριστικά GSM.....	115
4.3.5 Κυψελοδείς Ιεραρχικές δομές.....	116
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ_ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	118
5.1 ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΦΑΣΕΙΣ.....	119
5.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	121
5.3 ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ OPERATOR – ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ.....	124
5.3.1 Σχεδιασμός κάλυψης πόλης.....	124
5.3.2 Σχεδιασμός κάλυψης εθνικού οδικού δικτύου.....	137
5.3.3 Σχεδιασμός indoor.....	140
5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	141
5.4.1 Προδιαγραφές.....	141
5.4.2 Διαδικασία ανάθεσης.....	142
5.5 FIRST TUNING.....	146
5.5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ.....	146
5.5.2 DRIVE TESTS.....	147
5.5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	148
5.6 ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	152

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ_ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ GSM.....	154
6.1 ΤΡΙΤΗ ΓΕΝΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ	155
6.1.1 Εισαγωγή.....	155
6.1.2 Υπηρεσίες.....	156
6.1.3 Υλοποίηση.....	157
6.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ GSM ΣΕ UMTS.....	157
6.2.1 Εξέλιξη της αγοράς και η τεχνολογία.....	159
6.2.2 Interface του ράδιο του UMTS.....	160
6.2.3 Κυψελοειδής δομή του UMTS	161
6.2.4 Ραδιοσχεδιασμός σε σύστημα 3G.....	162
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	165
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	167

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ GSM



1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Η πρώτη επιτυχημένη ραδιοεπικοινωνία χρονολογείται το 1900 όταν ο M.G. Marconi πέτυχε την ραδιοσύνδεση ενός επίγειου σταθμού με ένα σκάφος που απείχε 18 μίλια. Από τότε τα κινητά συστήματα επικοινωνιών άρχισαν να αναπτύσσονται και να διαδίδονται με ταχείς ρυθμούς. Η χρησιμότητα των κινητών επικοινωνιών αναγνωρίστηκε πρώτα από τους οργανισμούς που παρείχαν δημόσια ασφάλεια όπως πυροσβεστική, αστυνομία, δασοπροστασία κλπ. Επεκτάθηκε και στον ιδιωτικό τομέα όπως εταιρίες πετρελαίου, ταξί, κινηματογράφου κλπ. Ο ρυθμός ανάπτυξης των υπηρεσιών αυτών στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1950 (όταν ο αριθμός των συνδρομητών ήταν μόλις μερικές χιλιάδες) ήταν μεγαλύτερος του 20% ανά χρόνο. Αργότερα περί το 1963 ο αριθμός των χρηστών ξεπερνούσε τα 1.3 εκατομμύρια αν και μόλις 12 κανάλια ήταν διαθέσιμα.

Αυτά τα πρώτα συστήματα (Conventional Mobile Systems CMS) αποτελούντο από ένα σταθμό βάσης του οποίου ο μεταδότης και ο δέκτης ήταν προσαρμοσμένα στην κορυφή κάποιου λόφου. Η περιοχή κάλυψης ήταν πολύ μεγάλη, όμοια με αυτή του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης. Ο πομπός λειτουργούσε με μεγάλη ισχύ (200-250W) και η περιοχή κάλυψης είχε μια ακτίνα 25 μιλίων.

Τα συμβατικά κινητά τηλέφωνα (CMS) ήταν απομονωμένα το ένα με το άλλο και μόνο μερικά από αυτά είχαν πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο τηλεφωνίας. Το όνομα που δόθηκε στα τελευταία ήταν MTS (Mobile Telephone Systems).

Πριν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, τα συστήματα κινητής επικοινωνίας ήταν αφιερωμένα κυρίως σε στρατιωτικούς σκοπούς και γι' αυτό το λόγο η εξέλιξή τους υποστηριζόταν από απαιτήσεις, στάνταρς και ανάγκες που ήταν στενά συνδεδεμένα με στρατιωτικές εφαρμογές. Πρόσφατα όμως αυτή η τάση έχει αλλάξει και οι υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας έχουν προσανατολιστεί σε πολιτικές εφαρμογές. Έτσι όσον αφορά το σχεδιασμό και την τεχνολογία τα εμπορικά κινητά συστήματα έχουν πάρει το προβάδισμα.

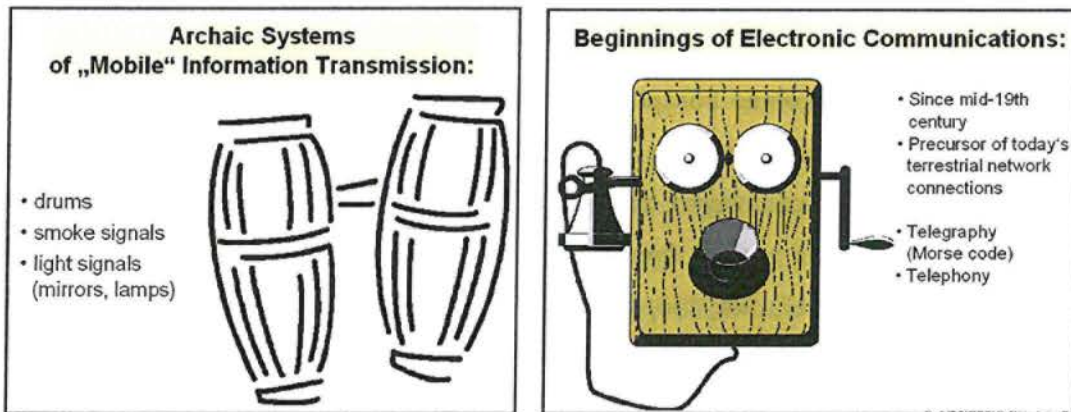
Το 1946, τα εργαστήρια Bell Telephone εγκαινίασαν το πρώτο κινητό σύστημα για το κοινό στο St. Louis. Καθώς οι απαιτήσεις αυξάνονταν όλο και περισσότερα κανάλια προστίθενται και αυξάνονταν συγχρόνως η συχνότητα λειτουργίας. Έτσι το 1977, η Bell System πρότεινε μια νέα αρχιτεκτονική για την κινητή επικοινωνία που είναι γνωστή ως κυψελωτή ραδιοτηλεφωνία. Το 1981 το FCC έδωσε ένα εύρος 40MHz στην περιοχή των 800-900MHz

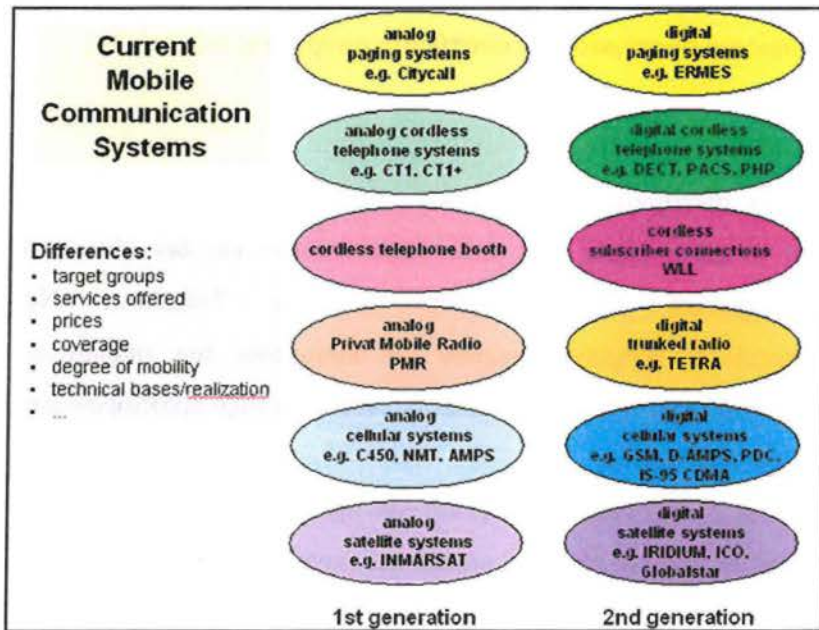
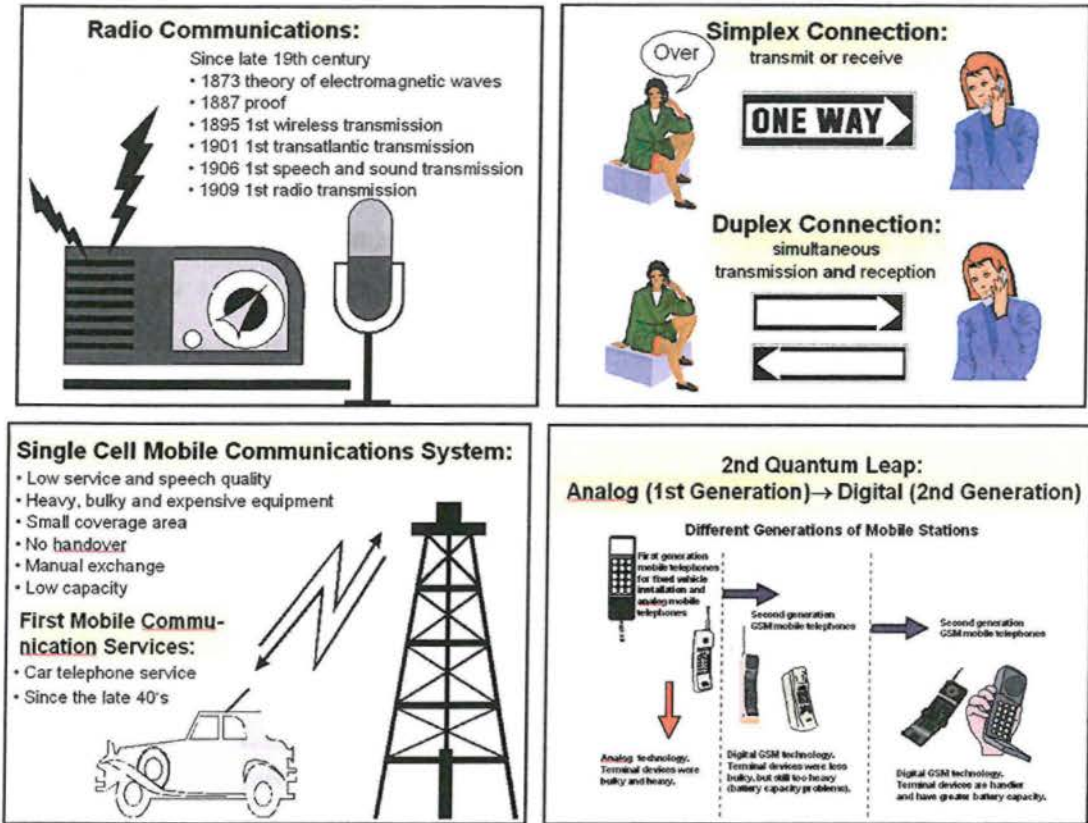
για την κυψελωτή ραδιοτηλεφωνία. Το πρώτο αυτόματο σύστημα τέθηκε σε λειτουργία το 1965 στα 150 MHz. Ακολούθως ένα αυτόματο σύστημα στα 450 MHz εγκαινιάστηκε το 1969. Το πρώτο κυψελωτό σύστημα λειτούργησε στην περιοχή του Chicago τον Οκτώβριο του 1983.

Ένα κυψελωτό σύστημα, μεγαλύτερης χωρητικότητας μπορεί να επιτευχθεί διαλέγοντας έναν αποτελεσματικό τύπο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης φωνής, καθώς και με την υιοθέτηση της μικροκυψελωτής επικοινωνίας. Έτσι διαλέχτηκε η διαμόρφωση GMSK και η TDMA πρόσβαση, που αυξάνουν την αποδοτικότητα του GSM σε σχέση με το αναλογικό FM σύστημα. Στο πρόσφατο μέλλον, περισσότερη αύξηση στην φασματική αποτελεσματικότητα είναι πιθανή χρησιμοποιώντας CDMA διαμόρφωση και μικροκυψελωτή αρχιτεκτονική.

Μελλοντική πρόοδος στο πεδίο της κινητής τηλεφωνίας θα έρθει πραγματικά από το PCS. Το PCS είναι μια έννοια δικτύου το οποίο θα παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να δέχεται και να στέλνει κλήσεις βασισμένες σε ένα μοναδικό προσωπικό αριθμό αναγνώρισης (PIN) από οποιοδήποτε σημείο εισόδου του δικτύου, με πρόσβαση περιορισμένη μόνο από τις δυνατότητες του τερματικού και του σημείου πρόσβασης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η παράλληλη εξέλιξη στους διάφορους τηλεπικοινωνιακούς τομείς με στόχο την κινητή τηλεφωνία.

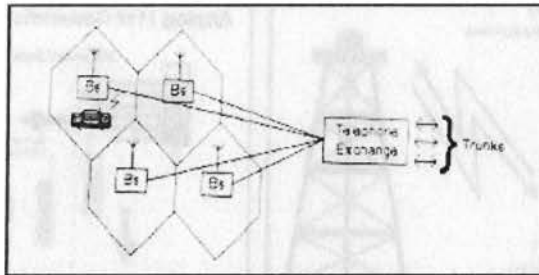




Σχήμα 1.1 Εξέλιξη σε διάφορους τηλεπικοινωνιακούς τομείς

1.2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΡΑΔΙΟ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε ένα κυψελωτό σύστημα η περιοχή εξυπηρέτησης χωρίζεται σε περιοχές (κυψέλες – cells) και κάθε περιοχή περιέχει ένα υποσύνολο από το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων καναλιών. Τα κανάλια που χρησιμοποιούνται σε μία κυψέλη μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε μια κυψέλη αρκετά απομακρυσμένη από την πρώτη ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Οι κυψέλες μπορούν να τοποθετηθούν με σπονδυλωτό (modular) τρόπο και θεωρητικά το σύστημα μπορεί να επεκτείνεται απεριόριστα. Το σχήμα 1.2 δείχνει την αρχή της κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 1.2 Βασική δομή ενός κυψελωτού συστήματος

Τα κυψελωτά κινητά ράδιο-συστήματα χωρίζονται σύμφωνα με τον τομέα τους σε ιδιωτικά συστήματα, δημόσια συστήματα και συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας.

1.2.1 Ιδιωτικά συστήματα

Ονομάζονται τα συστήματα ιδιωτικής κινητής ραδιοτηλεφωνίας (Private Mobile Radio, PMR) επειδή το ράδιο-εύρος τους είναι περιορισμένο και δεν είναι συνδεδεμένα με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network, PSTN). Χρησιμοποιούνται σε οχήματα εταιριών και ιδρυμάτων των οποίων οι δραστηριότητες απαιτούν την ανταλλαγή εντολών και επιβεβαιώσεων μεταξύ πρακτόρων και τεχνικών.

1.2.2 Δημόσια συστήματα

Είναι τα δημόσια κινητά ραδιοτηλεφωνικά συστήματα (Public Mobile Telephony, PMT) και βασίζονται στην εσωτερική σύνδεση μεταξύ των κινητών δικτύων και του PSTN. Επιτρέπουν μια γενική ανταπόκριση και μια σφαιρική κάλυψη σε ένα έθνος ή ακόμα και σε μία ήπειρο. Πρέπει να παρέχουν υπηρεσίες με πιστότητα, διαθεσιμότητα και ποιότητα, παρόμοιες με αυτές του σταθερού δικτύου.

1.2.3 Ασύρματα συστήματα

Μαζί με τα PMT και PMR έχουν αναπτυχθεί τα επικοινωνιακά συστήματα με ασύρματο (Cordless Telephony, CT) για την πρόσβαση στο PSTN από ασύρματα τερματικά. Σε αυτό το πεδίο ανήκουν επίσης τα συστήματα WT (Wireless Telecommunications) που αναφέρονται σε δίκτυα ασυρμάτων.

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Αν και η χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων περιορίζει τις κινητές επικοινωνίες σε μερικούς τύπους υπηρεσιών, η σύνδεση των κινητών με τα σταθερά τηλεφωνικά δίκτυα παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία για τη υποστήριξη κάθε είδους υπηρεσίας. Από την άλλη πλευρά, η σχεδίαση ενός τέτοιου δικτύου περιπλέκεται λόγω των διαφορετικών στοιχείων που πρέπει να ολοκληρωθούν. Η σχεδίαση ενός κινητού συστήματος συμπεριλαμβάνει τις περισσότερες περιοχές τηλεπικοινωνιών όπως :

- Μετάδοση: Η μορφολογία του εδάφους πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά. Τα αποτελέσματα της μελέτης χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό της ράδιο-κάλυψης.
- Διευθέτηση συχνοτήτων και σχεδιασμός: Κάθε ραδιο-υπηρεσία χρησιμοποιεί το δικό της κομμάτι, από το φάσμα συχνοτήτων. Δεδομένου ότι το διαθέσιμο εύρος φάσματος είναι περιορισμένο πρέπει η κατανομή των διαθέσιμων συχνοτήτων να γίνει προσεκτικά ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές και να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις κίνησης.
- Διαμόρφωση: Όσον αφορά τη φωνή σε ένα αναλογικό σύστημα η πλειοψηφία των συστημάτων χρησιμοποιεί FM στενής ζώνης. Με την άφιξη των ψηφιακών συστημάτων υπάρχει μια πληθώρα δυνατοτήτων και η επιλογή του καταλληλότερου τρόπου διαμόρφωσης δεν είναι προφανής.
- Σχεδιασμός κεραιών: Στα πρώτα συστήματα οι κεραιές ήταν καθολικής λήψης και εκπομπής (omni directional). Με την αύξηση σε απαιτήσεις κίνησης οι κυψέλες χωρίζονται σε τμήματα για τα οποία απαιτούνται κεραιές με ορισμένη κατευθυντικότητα. Το ίδιο ισχύει και για κυψέλες ειδικών σχημάτων, όπως π.χ. μια κυψέλη που καλύπτει έναν αυτοκινητόδρομο.
- Σχεδιασμός συστημάτων μεταγωγής: Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό σημαίνει την προσαρμογή των υπάρχοντων δικτύων μεταγωγής για την υποστήριξη των κινητών.
- Τηλεκίνηση (Tele-traffic): Ένας από τους τρόπους μελέτης της απόδοσης ενός συστήματος είναι η εκτίμηση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος (blocking probability) μιας κλήσης. Οι ακόλουθες ερωτήσεις είναι σχετικές με την κίνηση του συστήματος και

οι απαντήσεις βοηθούν στο σωστό σχεδιασμό. Για ένα δεδομένο βαθμό υπηρεσίας και αριθμό διαθέσιμων καναλιών, πόσοι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν? Ποια στρατηγική δρομολόγησης πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η απόδοση? Πόσα κανάλια πρέπει να χρησιμοποιηθούν για φωνή και πόσα για σηματοδότηση?

- Software σχεδιασμός: Με τη χρήση των μικροεπεξεργαστών στο σύστημα, υπάρχουν εφαρμογές software στο κινητό, σταθμό βάσης και exchange που πρέπει να προσαρμοστούν στην εκάστοτε υπηρεσία.

1.4 ΑΡΧΕΣ ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Τα πρώτα συμβατικά κινητά συστήματα αποτελούνται από έναν σταθμό βάσης με τον πομπό και δέκτη στην κορυφή κάποιου λόφου. Η περιοχή κάλυψης ήταν μεγάλη και εν γένει μόνο λίγα κανάλια ήταν διαθέσιμα. Στην αρχή τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν χειρωνακτικά και κάθε κλήση έπρεπε να διεκπεραιωθεί με τη μεσολάβηση ενός τηλεφωνητή. Τα αυτόματα συστήματα εμφανίστηκαν το 1960 αλλά ήτανε πολύ περιορισμένα, για παράδειγμα, αν ένας χρήστης ήταν στη μέση μιας κλήσης και εκινείτο σε μια απομακρυσμένη περιοχή τότε η κλήση διεκόπτετο και καινούργια κλήση έπρεπε να αρχικοποιηθεί.

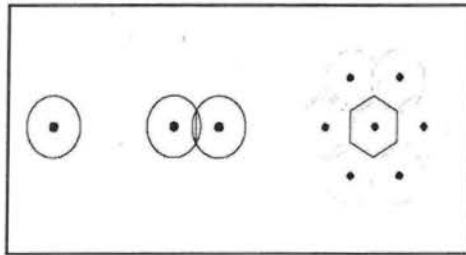
Νέες ιδέες για ένα ευέλικτο σύστημα όπου οι συνδρομητές θα μπορούσαν να περιάγονται (roam) με τα τηλεφώνά τους σε ένα διεθνές ολοκληρωμένο δίκτυο άρχισαν να γίνονται πραγματικότητα. Ο ακρογωνιαίος λίθος τέθηκε με την ιδέα ενός κυψελωτού συστήματος. Η επέκταση ενός συμβατικού κινητού συστήματος στηριζόταν στη διαθέσιμότητα φάσματος. Η κατανομή των ράδιο-συχνοτήτων δεν είναι εύκολη υπόθεση καθ'όσον πολλές διαφορετικές υπηρεσίες μοιράζονται το φάσμα. Υπάρχει αρκετό φάσμα διαθέσιμο σε υψηλές συχνότητες, αλλά η τεχνολογία δεν είναι ακόμη στο σημείο εκείνο που θα επέτρεπε την λειτουργία σ'αυτές τις συχνότητες.

1.4.1 Η κυψελωτή ορολογία

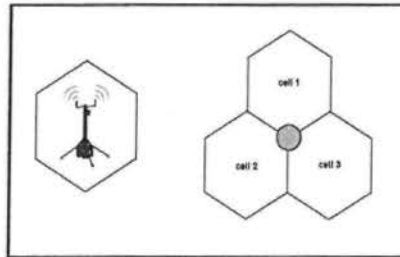
Οι νέες ιδέες που σήμερα βρίσκουν εφαρμογή στα κινητά συστήματα προτάθηκαν από τα Bell Telephone Laboratories κατά τα μέσα αυτού του αιώνα. Η βασική έννοια είναι αυτής της **επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων (frequency reuse)**: Εάν ένα κανάλι μιας συγκεκριμένης συχνότητας καλύπτει μια περιοχή με ακτίνα R, τότε η ίδια συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για να καλύψει μια άλλη απομακρυσμένη περιοχή. Κάθε μία από τις περιοχές αποτελεί μια κυψέλη (cell). Κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα ονομάζονται co-cells. Τα co-cells τοποθετούνται σχετικά μακριά το ένα από το άλλο ώστε η παρεμβολή (co-channel interference) να είναι σε ανεκτά όρια. Με αυτή την καινούργια ιδέα,

μια περιοχή που αρχικά εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης, τμηματίζεται σε πολλές κυψέλες κάθε ένα από τα οποία έχει το δικό του σταθμό βάσης και εξυπηρετείται από δικό του σύνολο καναλιών.

Εάν ισοτροπικές (omni directional) κεραιές εκπομπής χρησιμοποιούνται, τότε η καλυπτόμενη περιοχή θα ήταν κυκλική επομένως, εάν για λόγους μοντελοποίησης θα έπρεπε να διαλέξουμε ένα σχήμα για τις κυψέλες, ο κύκλος θα ήταν η πρώτη επιλογή μας. Όμως μια περιοχή που καλύπτεται από κύκλους είτε εμφανίζει επικαλυπτόμενες περιοχές ή εμφανίζει κενά σημεία τα οποία δεν καλύπτονται από κανέναν κύκλο με συνέπεια ο σχεδιασμός της κατανομής συχνοτήτων να είναι δύσκολος. Τα κανονικά πολύγωνα όπως το ισόπλευρο τρίγωνο, τετράγωνο, και εξάγωνο δεν εμφανίζουν τέτοιες δυσκολίες. Το κανονικό εξάγωνο έχει την πιο βολική μορφή καθώς το σχήμα του προσεγγίζει αυτό του κύκλου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



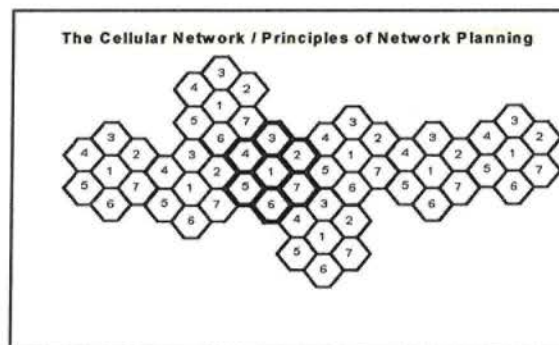
Σχήμα 1.3



Σχήμα 1.4

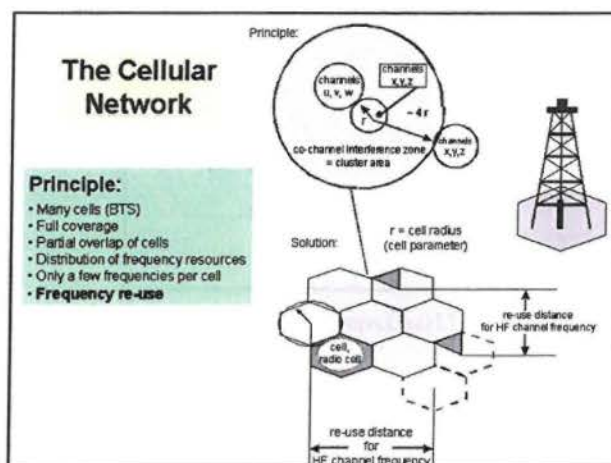
Για να καταλάβουμε τα προηγούμενα σε μια ποσοτική βάση, θεωρήστε τρία κυψελωτά συστήματα, το πρώτο στηρίζεται σε τριγωνικής μορφής κυψέλες, το δεύτερο σε τετραγωνικής μορφής κυψέλες και το τρίτο σε εξαγωνικής μορφής. Επιπλέον θεωρούμε ότι οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται στα κέντρα των κυψελών, σε ίση δηλαδή απόσταση από τις κορυφές. Έστω R αυτή η απόσταση. Τότε η καλυπτόμενη περιοχή από τα αντίστοιχα τρίγωνα, τετράγωνα και εξάγωνα είναι $3\sqrt{3}R^2/4$, $2R$ και $3\sqrt{3}R^2/2$. Για δεδομένη απόσταση (ακτίνα) R ,

το εξάγωνο (και μετά το τετράγωνο ακολουθούμενο από το τρίγωνο) καλύπτει τη μεγαλύτερη περιοχή. Άρα ένα πλέγμα από εξάγωνα χρειάζεται λιγότερες κυψέλες και επομένως λιγότερους σταθμούς βάσης, για να καλύψει μια δεδομένη περιοχή. Το σύνολο των καναλιών που είναι διαθέσιμα σε ένα σύστημα δίδεται σε μια ομάδα από κυψέλες που ονομάζεται cluster. Το ίδιο σετ καναλιών μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μόνο σε διαφορετικά συγκροτήματα (clusters). Ο αριθμός των κυψελών ανά συγκρότημα (cluster) καθορίζει το **πρότυπο επανάληψης (repeat pattern)**. Δεδομένων των γεωμετρικών περιορισμών μόνο ορισμένα πρότυπα επανάληψης μπορούν να πλακοστρώσουν το επίπεδο και τα πιο συνήθη είναι αυτά των 4, 7 και 12 κυψελών ανά συγκρότημα. Η περίπτωση των συγκροτημάτων με 7 κυψέλες φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.5 7 – cells cluster

Όσο μικρότερο είναι το πρότυπο επανάληψης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη και αυτό σημαίνει μεγαλύτερη χωρητικότητα κίνησης στο σύστημα. Από την άλλη πλευρά όσο μικρότερο είναι το πρότυπο επανάληψης τόσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των γειτονικών κυψελών (co-cells) και αυτό σημαίνει μεγαλύτερη παρεμβολή (cochannel interference).



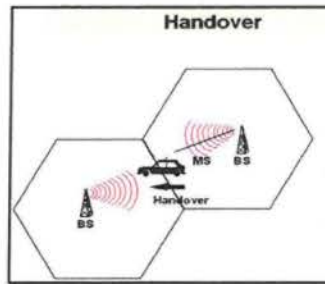
Σχήμα 1.6

Η κατανομή των καναλιών παίζει σπουδαίο ρόλο όσον αφορά την παρεμβολή μεταξύ διαδοχικών καναλιών (adjacent-channel interference). Αν ο εξοπλισμός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιλέγεται μόνο το επιθυμητό κανάλι και να αποκόπτονται οι γειτονικές συχνότητες, υπάρχει περίπτωση τα γειτονικά κανάλια να προκαλούν παρεμβολή. Αυτό μπορεί να συμβεί για παράδειγμα όταν επικοινωνούν με το σταθμό βάσης σε διαδοχικά κανάλια και το ένα να βρίσκεται κοντά στο σταθμό ενώ το άλλο μακριά. Το πρόβλημα της παρεμβολής επιδεινώνεται παρουσία διαλείψεων. Το μέγεθος των κυψελών ποικίλει ανάλογα με το σχεδιασμό του δικτύου έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις κίνησης. Πάντως η περιοχή κάλυψης είναι πολύ μικρότερη απ'αυτήν των συμβατικών συστημάτων. Πρόσφατες μελέτες προτείνουν ακόμη και χρήση των pico-cells (90m ακτίνα) με συχνότητες κοντά στα 60 GHz . Αν και τα κινητά μπορούν να ταξιδεύουν από κυψέλη σε κυψέλη είναι απαραίτητη μια κλήση που έχει ήδη αρχίσει να μην διακοπεί. Επομένως αλλαγή καναλιών (από κυψέλη σε κυψέλη) μπορεί να συμβεί χωρίς την επέμβαση του συνδρομητή. Αυτή η ενέργεια αλλαγής καναλιών είναι γνωστή ως **μεταβίβαση (handover)**.

Handover συμβαίνει όταν η ισχύς του σήματος, που λαμβάνει το κινητό από κάποιο σταθμό βάσης, πέσει κάτω από κάποιο κατώφλι, ενώ λαμβάνουμε ισχυρό σήμα από κάποιον άλλον σταθμό βάσης.

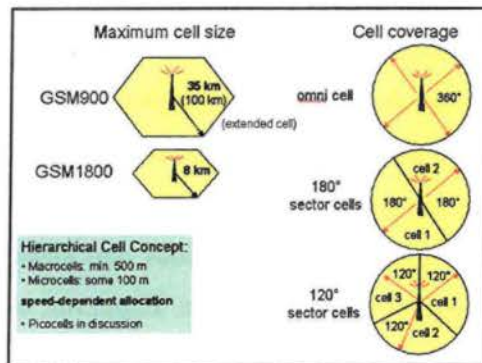
Η διεργασία καθορισμού της διαθεσιμότητας ενός κινητού να απαντήσει σε κάποια εισερχόμενη κλήση καλείται paging.

Η λειτουργία εκκίνησης μιας κλήσης από το κινητό καλείται πρόσβαση (access).



Σχήμα 1.7 Handover μεταξύ δύο γειτονικών κυψελών

Σε δύσκολες περιοχές όπως οι αστικές ή το εσωτερικό κτιρίων χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραιές στους σταθμούς βάσης. Ο συνήθης τρόπος τοποθέτησης είναι τρεις κεραιές ανά σταθμό με οριζόντιο άνοιγμα 60° και ιδανικό διαχωρισμό ανά 120° . Η περιοχή που καλύπτεται από μια κεραιά ονομάζεται “τομέας” ή sector, οπότε κάθε κυψέλη έχει τρεις sectors. Ο κάθε sector έχει τις δικές του συχνότητες και μονάδες εκπομπής και λήψης, οπότε λειτουργεί σαν μια πραγματική κυψέλη. Η δομή που έχουν οι διάφοροι sectors ισοδυναμεί με μία υποδιαίρεση της σφαιρικής κατεύθυνσης, έχοντας το πλεονέκτημα ότι μειώνουν την παρεμβολή και επιτρέπουν μια μεγαλύτερη σφαιρική χωρητικότητα.



Σχήμα 1.8

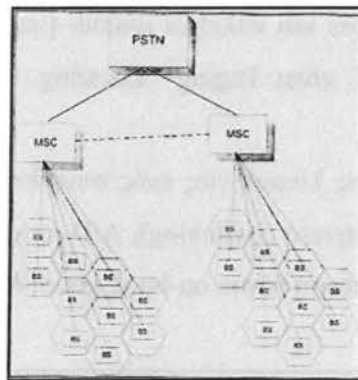
Η κυψελοειδής δομή εξασφαλίζει μόνο τη λειτουργία πρόσβασης σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο, επομένως όλα τα BTSs, πρέπει να είναι συνδεδεμένα με αυτό με συνδέσεις σημείο προς σημείο (point to point). Αυτό το σύνολο ονομάζεται “σταθερό δίκτυο” και είναι συνδεδεμένο με το κυψελοειδές σύστημα PMT.

1.4.2 Βασικά στοιχεία ενός κυψελωτού κινητού συστήματος

Τα διάφορα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι έτσι οργανωμένα ώστε τα εγκατεστημένα κέντρα με τους συνδεδεμένους σ' αυτά σταθμούς βάσεως να αποτελούν δίκτυο.

Από λειτουργικής πλευράς το πλήρες δίκτυο αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία:

1. Κινητός σταθμός – κινητό τηλέφωνο (Mobile Station, MS)
2. Σταθμός βάσης (Base Station , BS ή BTS)
3. Κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Center , MSC)
4. Δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network, PSTN)



Σχήμα 1.9 Γενική άποψη κυψελωτού συστήματος

1. Κινητός Σταθμός (MS)

Ο κινητός σταθμός αποτελεί την διεπαφή μεταξύ του συνδρομητή και του σταθμού βάσης. Εκτός από επικοινωνία φωνής, ο κινητός σταθμός παρέχει λειτουργίες ελέγχου και σηματοδότησης, που συνήθως εκτελούνται με κάποιο μικροεπεξεργαστή.



Σχήμα 1.10 Κινητό τηλέφωνο

2. Σταθμός βάσης (Base Station , BS ή BTS)

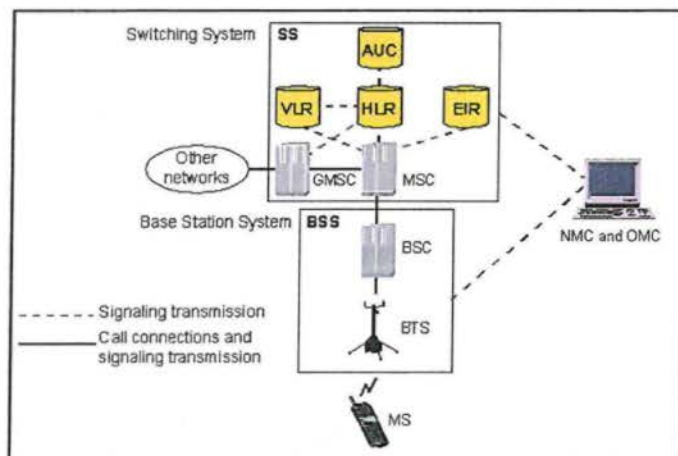
Οι σταθμοί βάσης είναι υπεύθυνοι στο να εξυπηρετούν τις κλήσεις από και προς τους κινητούς σταθμούς που βρίσκονται στις κυψέλες τους. Είναι συνδεδεμένοι με τα κέντρα μεταγωγής (MSC). Οι σταθμοί βάσης αποτελούνται από δύο στοιχεία: το ράδιο και τον

έλεγχο. Το ράδιο-σύστημα αποτελείται από πομπούς, δέκτες, κεραίες κλπ. Ο έλεγχος υλοποιείται με κάποιο επεξεργαστή και είναι υπεύθυνος για την επίβλεψη των κλήσεων.

3. Κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Center , MSC)

Τα MSC είναι κέντρα δρομολόγησης κλήσεων ειδικά σχεδιασμένα για κινητές επικοινωνίες. Λειτουργεί ως κεντρικός ελεγκτής και παρέχει την διεπαφή μεταξύ κινητών χρηστών και του σταθερού δικτύου. Ο αριθμός κυβελών που ελέγχονται από ένα MSC ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες. Η περιοχή που εξυπηρετείται από ένα MSC καλείται περιοχή υπηρεσίας (service area). Ένας κινητός συνδρομητής εγγεγραμμένος και κινούμενος στην περιοχή υπηρεσίας καλείται home συνδρομητής. Είναι δυνατόν όμως ένας συνδρομητής να κινηθεί σε μια διαφορετική service area οπότε και καλείται roamer (περιαγόμενος). Οι κύριες λειτουργίες που εκτελούνται από ένα MSC είναι: Paging – Locating – Handover.

Επιπλέον το MSC εκτελεί τις λειτουργίες ενός συνηθισμένου ψηφιακού μεταγωγέα όπως σηματοδότηση (signaling), μεταγωγή (switching), A/D μετατροπή, για κλήσεις από αναλογικά συστήματα σε ψηφιακά, ανίχνευση τόνου on-hook και of-hook κτλ.



Σχήμα 1.11 Κέντρο μεταγωγής

4. Δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network, PSTN)

Το δημόσιο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο, χειρίζεται τα MSC σαν συνηθισμένα σταθερά τηλεφωνικά δίκτυα.

1.4.3 Ραδιοηλεκτρική κάλυψη

Ζώνη κάλυψης θεωρείται, η επιφάνεια γύρω από ένα σταθμό βάσης όπου το σήμα που δίδεται για τα κινητά τηλέφωνα έχει μεγαλύτερη ισχύ από ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

Το σήμα που φτάνει σε οποιοδήποτε σημείο αυτής της επιφάνειας, προέρχεται από πολλαπλές διαδρομές που ξεκινάνε από τον σταθμό βάσης και στο καθένα αντιστοιχεί μια διαφορετική κατάσταση διάδοσης. Έτσι λοιπόν η πρόβλεψη της ζώνης κάλυψης δεν είναι κάτι απλό, αλλά μια πρωταρχική ανάγκη. Γι' αυτό το λόγο έχει αναπτυχθεί και αναπτύσσεται ένα προηγμένο σύστημα software πρόβλεψης σε PC ή workstation που χρησιμοποιεί την ψηφιακή χαρτογράφηση του εδάφους.

Η διαφορά ανάμεσα στην περιμετρική κάλυψη και στην κάλυψη ζώνης είναι ότι η πρώτη αναφέρεται σε όλη την περιοχή γύρω από το σταθμό βάσης και η δεύτερη αντιστοιχεί σε μια οριακή ζώνη κάλυψης. Οι κεραιές των κινητών είναι μειωμένου ύψους, γι' αυτό πολλές φορές δεν είναι ορατές από τους σταθμούς βάσης. Παρά ταύτα η επικοινωνία γίνεται χάρη στην αντανάκλαση, την διαπεραστικότητα και την διεισδυτικότητα. Αυτό το είδος διάδοσης ονομάζεται “πολυδιαδρομική” (multipath).

1.4.4 Χαρακτηριστικά

Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας είναι: μεγάλη χωρητικότητα, αποδοτική χρήση του φάσματος συχνοτήτων, εθνική κάλυψη, προσαρμογή στην πυκνότητα της κίνησης, παροχή υπηρεσιών με κινητά τηλέφωνα, μεγάλη γκάμα άλλων υπηρεσιών, όλα αυτά παρέχοντας ποιότητα παρόμοια με αυτή της σταθερής τηλεφωνίας.

Από όλα τα χαρακτηριστικά το πιο καθοριστικό είναι η ποιότητα εξυπηρέτησης. Είναι αναμφισβήτητο ότι στον ανταγωνισμό ανάμεσα στις εταιρίες, η ποιότητα αποτελεί βασικό παράγοντα αγοράς που προσελκύει και διατηρεί τους συνδρομητές. Η ποιότητα είναι ένας γενικός όρος που όμως πρέπει να τον χωρίσουμε σε: κάλυψη, χωρητικότητα, πιστότητα και κινητικότητα.

Ποιότητα κάλυψης: Συνήθως εκφράζεται με ποσοστά παροχών υπηρεσιών ανά περιοχές και ανά συνδρομητές. Επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση κυψελών, μεγέθους και διαμόρφωσης σύμφωνα με το περιβάλλον και το είδος της κίνησης.

Κατά τον σχεδιασμό ενός κυψελωτού δικτύου λαμβάνουμε υπόψη δύο είδη περιβάλλοντος, αγροτικό-ανοικτό (Rural) και αστικό (Urban).

- Αγροτική - Ανοικτή περιοχή (Rural area)

Χαρακτηρίζεται από μικρή κίνηση και μια υψηλή ταχύτητα μετακίνησης του κινητού, μια και αυτά είναι μέσα σε οχήματα. Από την άλλη η διάδοση του σήματος είναι σημαντική, παρουσιάζοντας log-normal fading και - μερικές φορές - φαινόμενα απορρόφησης εξαιτίας των δέντρων, και της ηχούς με μεγάλη καθυστέρηση λόγω αντανάκλασης στα βουνά.

- Αστική περιοχή (Urban area)

Εδώ η κίνηση είναι μεγάλη, ενώ η ταχύτητα κίνησης των χρηστών είναι αργή. Η διάδοση επηρεάζεται πολύ από τα κτίρια με την ύπαρξη multi-path fading και μεγάλη εξασθένηση.

Ποιότητα Χωρητικότητας: Δείχνει πόσο κατάλληλο είναι το δίκτυο για να ανταπεξέλθει στην μεγάλη κίνηση και ζήτηση κάθε περιοχής, με συγκεκριμένο βαθμό εξυπηρέτησης και πιθανότητα μπλοκαρίσματος. Η διαθεσιμότητα συχνοτήτων περιορίζει την πυκνότητα της κίνησης που εξυπηρετεί η κυψέλη και συνεπώς, περιορίζει επίσης και το μέγεθός της.

Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι η κάλυψη και η χωρητικότητα καθορίζονται από το μέγεθος των κυψελών. Σύμφωνα με την θεωρητική ακτίνα δράσεως τους, αυτές χωρίζονται σε:

- Μακροκυψέλες (Macro-cells). Με ακτίνα δράσης μεταξύ 1,5 και 20 χμ για κάλυψη σε αγροτική περιοχή, εθνικούς δρόμους και κοντινά χωριά.
- Μινικυψέλες (Mini-cells). Με ακτίνα δράσης από 0,7 έως 1,5 χμ για κάλυψη σε μεγάλες αστικές περιοχές.
- Μικροκυψέλες (Micro-cells). Διατίθενται με ακτίνα δράσης μεταξύ 0,3 και 0,7 χμ για πόλεις με υψηλή κίνηση και για την βελτίωση της διείσδυσης στο εσωτερικό κτιρίων.
- Πικοκυψέλες (Pico-cells). Με ακτίνα δράσης από 30 σε 200 μ για κάλυψη indoor: εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια κλπ.

Ποιότητα Πιστότητας: Εκφράζεται με δύο τρόπους, πρώτα σαν *ποιότητα του μεταδότη* μέσω του BER (Bit Error Rate) και δεύτερο σαν *τελική ποιότητα* από την σχέση σήματος – θορύβου που λαμβάνεται από τον χρήστη (φωνή) ή μέσω του τελικού BER (data).

Ποιότητα Κινητικότητας: Εκφράζει την δυσκολία του κινητού να καταγραφεί ή να εντοπισθεί από το δίκτυο.

1.4.5 Σχεδιασμός

Εκ των ανωτέρων είναι σαφές ότι η σχεδίαση ενός κυψελοειδούς συστήματος δεν είναι κάτι απλό, αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες που εξαρτώνται ο ένας από τον άλλον: στόχοι κάλυψης, περιορισμένο εύρος φάσματος, κινητικότητα, προσαρμογή στην κίνηση, υπηρεσίες στον χρήστη. Και φυσικά σε όλα αυτά πρέπει να προσθέσουμε τον οικονομικό παράγοντα που επηρεάζει όλους τους άλλους παράγοντες.

Με τον σχεδιασμό του δικτύου πρέπει να καταφέρουμε ώστε ο συνδυασμός ποιότητα και κόστος να είναι ο καλύτερος δυνατός. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σταθμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποιότητα, αλλά και το κόστος επίσης είναι μεγαλύτερο. Επομένως πρέπει να βρεθεί μια λύση. Έτσι το κυριότερο στον σχεδιασμό του συστήματος είναι η κυψελοειδής σχεδίαση.

Αναφέρουμε τα κύρια σημεία.

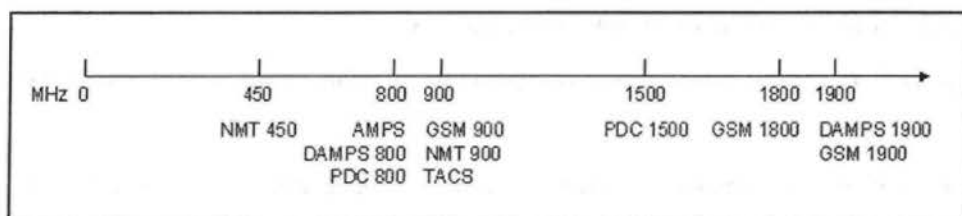
- Ανάπτυξη ενός μοντέλου κίνησης και κινητικότητας των πελατών σύμφωνα με την περιοχή.
- Επιλογή του είδους και μεγέθους των κυψελών
- Σχέδιο του κυψελωτού δικτύου σύμφωνα με τα είδη κυψελών, με την κατεύθυνση και κλίση των κεραιών.
- Επιλογή των συστημάτων radiation, τόσο σε οριζόντιο πλάνο (κεραίες περιμετρικής κάλυψης ή κατευθυντικές, εύρος οριζόντιου ανοίγματος) όσο σε κάθετο πλάνο (εύρος κάθετου ανοίγματος και κλίση).
- Προσαρμογή του αρχικού σχεδιασμού στις πραγματικές θέσεις των σταθμών-βάσης.
- Ανάθεση των συχνοτήτων στα BTSs.
- Αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ του επιθυμητού σήματος και του σήματος παρεμβολής και αναπροσαρμογή αυτής εάν δεν είναι καλή.
- Καθορισμός των σχεδίων των διασυνδέσεων μεταξύ BTSs, κέντρα ελέγχου και ανταλλαγής.

Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ένα κυψελωτό δίκτυο πρέπει να είναι μια οντότητα σε συνεχή εξέλιξη και προσαρμογή. Συνεπώς ένας σχεδιασμός ποτέ δεν μπορεί να θεωρηθεί τελειωμένος και ολοκληρωμένος, αλλά θα πρέπει να αναπροσαρμόζεται και να τροποποιείται για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στην ανάπτυξη και να διατηρήσει την ποιότητα.

1.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GSM

1.5.1 Εισαγωγή

Η κυψελωτή ιδέα εισήχθη από τα Bell Labs, και μελετήθηκε σε διάφορα μέρη σε όλο τον κόσμο κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70. Στην Αμερική, το πρώτο κυψελωτό σύστημα, το AMPS (Advanced Mobile Phone Telephone) έγινε πραγματικότητα το 1979. Στην Ευρώπη το NMT (Nordic Mobile Telephone) System λειτούργησε στη Σουηδία το Σεπτέμβριο του 1981. Τα δίκτυα που βασίζονται στα δύο αυτά σύνολα προδιαγραφών αποτελούσαν την πλειοψηφία των δικτύων σε όλο τον κόσμο στην αρχή του '90. Για παράδειγμα το TACS, που προέρχεται από το AMPS, λειτούργησε στην Αγγλία το 1985. Όλα αυτά τα κυψελωτά συστήματα βασίζονται σε αναλογική μετάδοση φωνής με διαμόρφωση συχνότητας. Όλα χρησιμοποιούσαν μπάντες συχνοτήτων είτε γύρω στα 450MHz είτε γύρω στα 900MHz. Η κάλυψη τους ήταν συνήθως εθνική και η χωρητικότητα τους έφτανε σε μερικούς εκατοντάδες χιλιάδες συνδρομητές.



Σχήμα 1.12

Η ασυμβατότητα όμως των παραπάνω συστημάτων με τον προφανή περιορισμό της χρήσης τους σε εθνικό επίπεδο δημιούργησε την ανάγκη για τη δημιουργία ενός Πανευρωπαϊκού συστήματος κινητής τηλεφωνίας, του GSM από το όνομα της ειδικής υποεπιτροπής Group Special Mobile του Ευρωπαϊκού οργανισμού ETSI η οποία θα αναλάμβανε να αναπτύξει το απαραίτητο πρότυπο υπό την αιγίδα του CEPT.

1.5.2 Στόχοι του GSM

Οι βασικότεροι στόχοι του συστήματος ήταν ξεκάθαροι από την αρχή και ήταν αυτοί που οδήγησαν στην δημιουργία του GSM με τη μορφή που έχει σήμερα. Ένας από τους κυριότερους στόχους είναι το ότι το σύστημα έπρεπε να είναι πανευρωπαϊκό, έτσι ώστε να δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη του να έχει πρόσβαση στο δίκτυο από κάθε χώρα της Ευρώπης.

Οι βασικές απαιτήσεις για το GSM που τέθηκαν το 1985 από επιτροπή εμπειρογνομόνων, όσον αφορά τις υπηρεσίες που θα πρόσφερε το σύστημα είναι οι εξής :

- Το σύστημα θα είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε ο κινητός σταθμός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις χώρες που συμμετέχουν σε αυτό.
- Το σύστημα θα παρέχει μέγιστη προσαρμοστικότητα και για άλλους τύπους υπηρεσιών π.χ. υπηρεσίες που έχουν σχέση με το ISDN.
- Υπηρεσίες και διευκολύνσεις που παρέχονται στα PSTN/ISDN και άλλα δημόσια δίκτυα θα πρέπει να είναι διαθέσιμες και στο κινητό σύστημα. Το σύστημα θα προσφέρει πρόσθετες διευκολύνσεις λαμβάνοντας υπόψη την ειδική φύση της κινητής επικοινωνίας.
- Θα είναι δυνατόν για τους κινητούς σταθμούς που ανήκουν στο σύστημα να χρησιμοποιούνται σε πλοία σαν επέκταση των ηπειρωτικών κινητών υπηρεσιών.
- Πέρα από τον προσαρμοσμένο σε όχημα κινητό σταθμό, το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να προσφέρει φορητούς σταθμούς και άλλες κατηγορίες κινητών σταθμών.

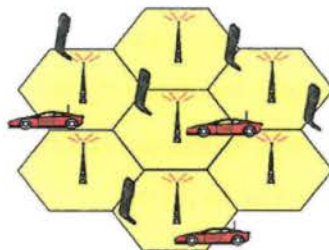
Οι προδιαγραφές αυτές που τέθηκαν από την επιτροπή είναι ενδεικτικές για το τι προσφέρει σήμερα το GSM. Όσον αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών και την ασφάλεια η επιτροπή έθεσε τις εξής προδιαγραφές.

- Από την μεριά του συνδρομητή η ποιότητα της επικοινωνίας στο GSM σύστημα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον το ίδιο καλή όσο αυτή που είχε επιτευχθεί με τα αναλογικά συστήματα πρώτης γενιάς κάτω από συνθήκες πραγματικής λειτουργίας.
- Το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να προσφέρει κρυπτογράφηση της πληροφορίας του χρήστη, αλλά οποιαδήποτε τέτοια διευκόλυνση, δεν θα πρέπει να έχει σημαντική επίδραση στο κόστος εκείνων των μερών του συστήματος που χρησιμοποιούνται από τους κινητούς συνδρομητές που δεν απαιτούν τέτοια διευκόλυνση.

Η επιτροπή καθόρισε επίσης ως περιοχή συχνοτήτων στην οποία θα λειτουργήσει το σύστημα την μπάνα των 890 – 915 MHz και 935 – 960 MHz. Καθορίστηκε επίσης ότι το σύστημα θα επιτρέπει υψηλό επίπεδο επάρκειας φάσματος και διευκολύνσεις συνδρομητή με λογικό κόστος συνυπολογίζοντας αστικές και αγροτικές περιοχές και εξελίξεις νέων υπηρεσιών.

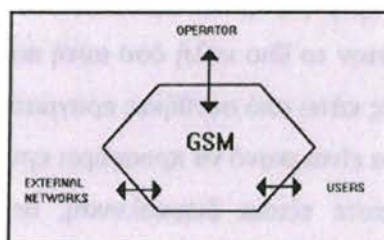
Τέλος για τη χρέωση των κλήσεων έθεσε ως στόχο ότι οι παράμετροι του συστήματος θα πρέπει να διαλεχτούν με σκοπό να περιοριστεί το κόστος του ολοκληρωμένου συστήματος.

1.5.3 Αρχιτεκτονική του GSM



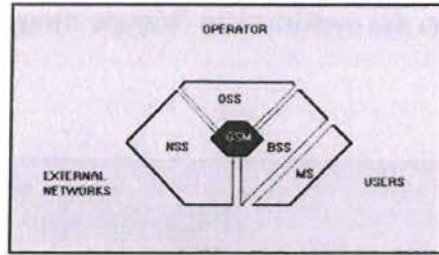
Σχήμα 1.13 Η αρχιτεκτονική ενός GSM δικτύου

Πρέπει να εξακριβωθεί η έκταση του GSM ως σύνολο, και επίσης πρέπει να εξακριβώσουμε τις εξωτερικές του διεπαφές (interfaces) δηλαδή τις διεπαφές με τον υπόλοιπο κόσμο. Όταν το παρατηρούμε από μακριά, το GSM φαίνεται σαν ένα μέρος του Γενικού Τηλεπικοινωνιακού Δικτύου, το οποίο με την σειρά του είναι ένα κομμάτι του ανθρώπινου οργανισμού. Συνεπάγεται επομένως, ότι το GSM είναι σε απευθείας επαφή με τους χρήστες, με τα άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και με το προσωπικό των εταιρειών που έχουν αναλάβει την διαχείριση του δικτύου. Αυτές είναι οι κύριες εξωτερικές διεπαφές του GSM και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

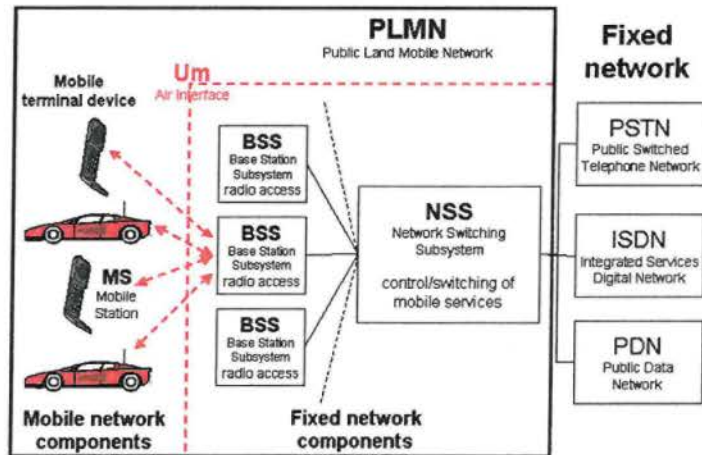


Σχήμα 1.14 Τα τρία βασικά εξωτερικά περιβάλλοντα με τα οποία καλείται να επικοινωνήσει το GSM

Η οργάνωση των υπηρεσιών σε απλούστερες υπηρεσίες ονομάζεται αρχιτεκτονική δικτύου. Η κανονική αρχιτεκτονική του GSM χωρίζει το σύστημα σε 4 κομμάτια: τον κινητό σταθμό (MS – Mobile Station), το υποσύστημα διαχείρισης και λειτουργίας (OSS – Operation Sub-system), το υποσύστημα σταθμού βάσης (BSS – Base Station Sub-system) και το υποσύστημα μεταγωγής και δικτύου (NSS – Network Switching Sub-system).



Σχήμα 1.15

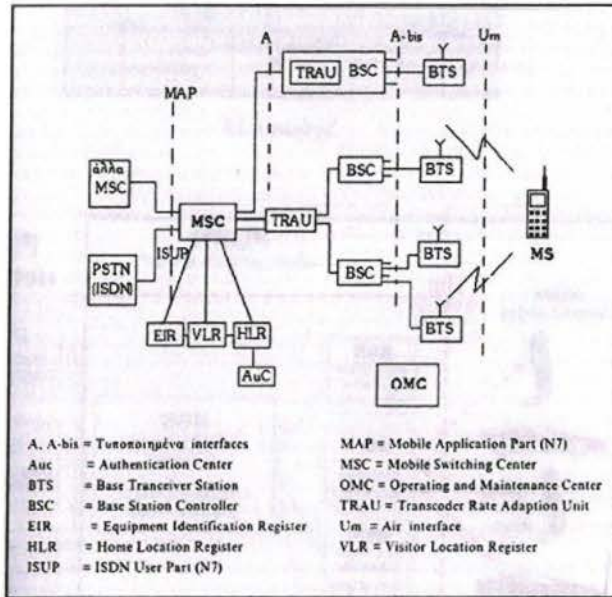


Σχήμα 1.16

Ο κινητός σταθμός αναλαμβάνει να κάνει δυνατή την πρόσβαση του χρήστη στο δίκτυο, ενώ το υποσύστημα διαχείρισης και λειτουργίας (OSS) δίνει τη δυνατότητα στο διαχειριστή του δικτύου να κάνει ομαλή διαχείριση και συντήρηση του. Από την άλλη το υποσύστημα σταθμού βάσης είναι υπεύθυνο για την παροχή και διαχείριση της μετάδοσης μεταξύ του κινητού σταθμού και των NSS μηχανών και ειδικότερα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της ραδιοεπαφής.

Τέλος το υποσύστημα δικτύου και μεταγωγής (NSS) διαχειρίζεται την επικοινωνία και συνδέει τους κινητούς σταθμούς με άλλα δίκτυα ή άλλους κινητούς σταθμούς. Το NSS δεν είναι σε απευθείας επαφή με τους κινητούς σταθμούς και ούτε επίσης το BSS δεν είναι σε απευθείας επαφή με τα εξωτερικά δίκτυα. Η διεπαφή μεταξύ BSS και κινητών σταθμών ονομάζεται ραδιοεπαφή, ενώ παράλληλα η διεπαφή BSS και NSS έχει ονομαστεί A διεπαφή (A-Interface). Το MS BS και NSS σχηματίζουν το λειτουργικό κομμάτι του συστήματος, ενώ το OSS παρέχει στον διαχειριστή τα μέσα έτσι ώστε να τα ελέγχει.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει πιο αναλυτικά τα διάφορα στοιχεία και interfaces από τα οποία αποτελείται το GSM.

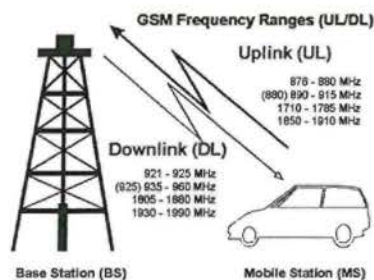


Σχήμα 1.17 Λειτουργικά στοιχεία και interfaces του GSM

1.5.4 Η ραδιοεπαφή στο GSM

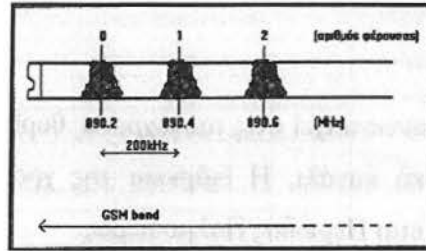
Στο GSM τα ραδιοκανάλια βασίζονται σε μία μίξη Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Συχνότητας και Διαίρεσης Χρόνου (FDMA/TDMA). Κάθε σταθμός βάσης είναι εφοδιασμένος με έναν καθορισμένο αριθμό καναλιών, ανάλογα με την ζήτηση για κινητές επικοινωνίες που υπάρχει στην περιοχή που καλύπτει ο σταθμός.

Για χρήση από το GSM έχουν διατεθεί δύο ζώνες συχνοτήτων. Από 890-915 MHz για μετάδοση από τον κινητό σταθμό στο σταθμό βάσης (uplink) και από 935-960 MHz για μετάδοση από το σταθμό βάσης προς τον σταθμό (downlink).



Σχήμα 1.18 Uplink και Downlink

Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων διαιρούνται σε 124 ζευγάρια από φέρουσες, κάθε μία από τις οποίες απασχολεί ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων 200 KHz, και το πρώτο ζευγάρι αρχίζει από τα 890,2 MHz.

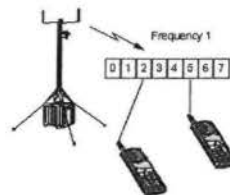


Σχήμα 1.19 Φέρουσες στα όρια της GSM ζώνης

Οι κεντρικές συχνότητες των παραθύρων συχνοτήτων είναι κατανομημένες όμοια κάθε 200 KHz μέσα σ'αυτές τις ζώνες, αρχίζοντας 200 KHz ύστερα από τα όρια της ζώνης. Με αυτό τον τρόπο ορίζονται 124 διαφορετικά παράθυρα συχνοτήτων στη ζώνη των 25 MHz και 374 σ'αυτή των 75 MHz. Το φάσμα διαμόρφωσης είναι κατά λίγο μεγαλύτερο από το εύρος των 200 KHz, αποτέλεσμα κάποιου επιπέδου παρεμβολής μεταξύ των παλμοσειρών σε ταυτόχρονες χρονοθυρίδες ή σε γειτονικά παράθυρα συχνοτήτων. Αυτός είναι θόρυβος κυρίως κοντά στα όρια της ζώνης. Γι'αυτό το λόγο οι συχνότητες των ορίων της ζώνης δεν χρησιμοποιούνται συνήθως. Σαν αποτέλεσμα αυτού, είναι ότι τα παράθυρα συχνοτήτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ζώνη των 25 MHz είναι 122 αντί 124.

Κάθε κυψέλη απασχολεί ένα πλήθος από φέρουσες οι οποίες κυμαίνονται από μία και συνήθως δεν ξεπερνούν τις 15. Επίσης κάθε κυψέλη καλύπτει μια περιοχή ακτίνας μερικών χιλιομέτρων.

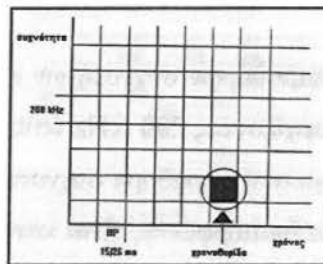
Το καθορισμένο φάσμα συχνοτήτων των 200 KHz για κάθε κανάλι χωρίζεται σε θυρίδες με τη χρήση της μεθόδου TDMA. Ο άξονας των χρόνων χωρίζεται σε οκτώ θυρίδες εύρους 0,577 ms η κάθε μία. Οι θυρίδες αριθμούνται από 0 έως 7 και έχουν ένα συνολικό εύρος 4,615 ms. Η επανάληψη μιας συγκεκριμένης θυρίδας σε κάθε TDMA πλαίσιο δημιουργεί ένα φυσικό κανάλι.



Σχήμα 1.20 TDMA

Η μέθοδος TDMA χρησιμοποιεί χονδρικά μια ταχύτητα των 270 Kbits/sec και απαιτεί ειδικές τεχνικές διαμόρφωσης, έτσι ώστε να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της πολλαπλής παρεμβολής. Ο TDMA παράγοντας των οκτώ θυρίδων σε συνδυασμό με το εύρος ζώνης των 200 KHz ανά κανάλι μας οδηγεί σε ένα εύρος ζώνης των 25 KHz ($200:8=25\text{KHz}$) ανά φυσικό κανάλι.

Το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στις ταυτόχρονες θυρίδες ονομάζεται χρονοθυρίδα και αντιπροσωπεύει ένα φυσικό κανάλι. Η διάρκεια της χρονοθυρίδας χρησιμοποιείται σαν μονάδα χρόνου και ονομάζεται Περίοδος Παλμοσειράς.

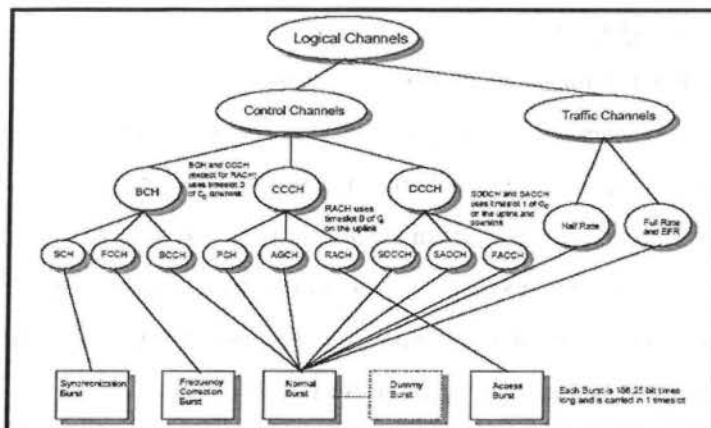


Σχήμα 1.21 Μια χρονοθυρίδα στις διαστάσεις του χρόνου και των συχνοτήτων

Χρησιμοποίηση ενός φυσικού καναλιού σημαίνει την εκπομπή bits σε συγκεκριμένες χρονικές και συγκεκριμένες συχνότητες, δηλαδή σε συγκεκριμένες χρονοθυρίδες. Κατά συνέπεια, ο ορισμός ενός καναλιού σημαίνει τον καθορισμό των χρονοθυρίδων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή αποτελούν μέρος ενός φυσικού καναλιού.

1.5.5 Λογικά κανάλια

Μια μεγάλη ποικιλία πληροφορίας εκπέμπεται ανάμεσα στο σταθμό βάσης και στον κινητό σταθμό, όπως για παράδειγμα δεδομένα του χρήστη και σηματοδότηση ελέγχου. Ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που θέλουμε να μεταδώσουμε υπάρχει και αντίστοιχο λογικό κανάλι που μοντελοποιεί την όλη διαδικασία και την ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες.



Σχήμα 1.22 Τα λογικά κανάλια

Τα λογικά κανάλια μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες :

- Κανάλια κίνησης, τα οποία μεταφέρουν δεδομένα του χρήστη και
- Κανάλια ελέγχου που μεταφέρουν τη σηματοδότηση του συστήματος.

1.5.5.1 Κανάλια κίνησης (TCH – Traffic Channels)

Τα TCH κανάλια αποσκοπούν στην μεταφορά, είτε κωδικοποιημένης ομιλίας είτε δεδομένων του χρήστη και προς τις δύο κατευθύνσεις (άνοδος και κάθοδος). Έχουμε δύο τύπους TCH, οι οποίοι προσφέρουν επτά διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών :

- ♦ Τα TCH/Full Rate κανάλια κίνησης πλήρους ρυθμού, που επιτρέπουν εκπομπή φωνής στα 13 Kbits/sec και δεδομένων στα 12 στα 6 και 3,6 Kbits/sec
- ♦ Τα TCH/Half Rate κανάλια κίνησης μισού ρυθμού, που επιτρέπουν εκπομπή φωνής στα 7 Kbits/sec και δεδομένων στα 6 και 3,6 Kbits/sec

Με σκοπό να αυξηθεί η επάρκεια του συστήματος παρουσιάστηκε ένας επιπλέον τύπος καναλιού. Ο ρυθμός του είναι πολύ χαμηλός και η μόνη μέχρι σήμερα χρήση του είναι η σηματοδότηση και η εκπομπή μικρών μηνυμάτων. Το κανάλι αυτό αναφέρεται με τον όρο TCH/8 και είναι το ένα όγδοο ενός TCH/Full Rate. Αυτό το κανάλι ονομάζεται Αποκλειστικό Κανάλι Ελέγχου (SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel) και κατατάσσεται στα κανάλια ελέγχου.

1.5.5.2 Κανάλια Ελέγχου

Τα κανάλια ελέγχου έχουν σκοπό την μεταφορά δεδομένων ελέγχου της σηματοδότησης και συγχρονισμού.

Broadcast Κανάλια (BCCH)

BCCH – Broadcast Control Channel. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται στο BSS στο downlink για να μεταδώσει πληροφορίες συστήματος, όπως τις παραμέτρους συγχρονισμού και την ταυτότητα της κυψέλης, BSIC. Είναι συνεχώς ενεργό, με εικονικές ριπές να στέλνονται όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία για μετάδοση. Η ισχύς του σήματος του BCCH χρησιμοποιείται από τα κινητά για την λήψη της απόφασης της μεταβίβασης.

FCCH – Frequency Control Channel ή κανάλι διόρθωσης της συχνότητας. Μεταφέρει πληροφορίες από το BSS για τον συγχρονισμό των φέρουσων.

SCH – Synchronization Channel. Μεταφέρει πληροφορίες από το BSS για τον συγχρονισμό των TDMA πλαισίων, δηλαδή, τον αριθμό του πλαισίου και την ταυτότητα του σταθμού βάσης.

Αφιερωμένα Κανάλια Ελέγχου DCCH

SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel. Το SDCCH χρησιμοποιείται για την μεταφορά των σημάτων ελέγχου της κλήσης από και προς τον κινητό σταθμό κατά τη διάρκεια της εγκαθίδρυσης της κλήσης. Απελευθερώνεται όταν η εγκαθίδρυση κλήσης ολοκληρώνεται.

SACCH – Slow Associated Control Channel. Χρησιμοποιείται για μη επείγουσες διαδικασίες, κυρίως για εκπομπή δεδομένων ραδιομετρήσεων που χρειάζονται για αποφάσεις που αφορούν την διαδικασία της μεταβίβασης. Επίσης χρησιμοποιείται για την ρύθμιση ισχύος του κινητού σταθμού, έτσι ώστε να μειωθούν οι παρεμβολές.

FACCH – Fast Associated Control Channel. Συνδέεται πάντοτε με ένα κανάλι κίνησης. Όταν είναι αναγκαία η ανταλλαγή πληροφορίας σηματοδοσίας με το σύστημα, που απαιτεί έναν ρυθμό υψηλότερο από αυτόν που το SACCH μπορεί να χειριστεί, τότε 20 msec, ριπές ομιλίας “κλέβονται” για σκοπούς σηματοδοσίας. Η διακοπή δεν γίνεται αντιληπτή από τον συνδρομητή γιατί το σύστημα αντικαθιστά τα χαμένα msec ομιλίας με μια παρεμβαλλόμενη ακολουθία. Είναι κανάλι διπλής κατεύθυνσης.

Κοινά Κανάλια Ελέγχου CCCH

PCH – Paging Channel. Το PCH χρησιμοποιείται για να ειδοποιηθεί ένα κινητό από το σύστημα για μια εισερχόμενη κλήση.

RACH – Random Access Channel. Το RACH χρησιμοποιείται από τα κινητά για να μεταδώσουν τις αιτήσεις πρόσβασης τους προς το δίκτυο.

AGCH – Access Grant Channel χρησιμοποιείται από το σύστημα για να διατεθεί στο κινητό ένα SDCCH ή κατευθείαν ένα TCH.

Παράδειγμα Χρήσης Λογικών Καναλιών

Την στιγμή που θα ανοίξουμε το κινητό, αυτό περνάει στην φάση αδράνειας (idle mode). Στην φάση αυτή το κινητό ανιχνεύει τα 124 φέροντα του GSM και υπολογίζει τις μέσες στάθμες της ισχύος για το καθένα. Στην συνέχεια με την βοήθεια ενός αλγόριθμου συγχρονίζεται στο πιο ισχυρό από τα 124 και εξετάζει κατά πόσο είναι BCCH φέρον.

Αν διαπιστωθεί ότι είναι BCCH φέρον, τότε το κινητό διαβάζει τα δεδομένα, διαφορετικά συγχρονίζεται στο δεύτερο δυνατότερο φέρον. Μια εναλλακτική λύση είναι αυτή κατά την οποία το κινητό κρατάει στην μνήμη του έναν αριθμό από BCCH κανάλια, έτσι ώστε να αρχίσει από αυτά το ψάξιμο για να συγχρονιστεί στο δυνατότερο φέρον.

Κατά την διάρκεια μιας κλήσης, το κινητό χρησιμοποιεί το SACCH, για να αναφέρει στο σύστημα πόσο ισχυρό είναι το λαμβανόμενο σήμα από τον σταθμό βάσης. Παράλληλα το κινητό παρακολουθεί και την ένταση του σήματος των γειτονικών κυψελών, έτσι ώστε όταν κριθεί απαραίτητο ένα handover από το σύστημα αυτό να γίνει γρήγορα και χωρίς περιττές χρονοτριβές.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούνται στην χρήση των λογικών καναλιών, στην περίπτωση που ένας συνδρομητής ενεργοποιεί το κινητό του και θέλει να κάνει κλήση.

Ενεργοποίηση του Κινητού

- Το κινητό αναζητεί ένα BCCH. Αφού υπολογίσει την μέση ισχύ για το καθένα διαλέγει το ισχυρότερο. Στη συνέχεια συγχρονίζεται με αυτό διαβάζοντας το FCCH του συγκεκριμένου σταθμού βάσης.
- Το κινητό μέσω του SCH διαβάζει την ταυτότητα του σταθμού βάσης
- Το κινητό διαβάζει το BCCH για να αποκτήσει κάποιες γενικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα αν η κυψέλη είναι του ίδιου PLMN, συχνότητες που χρησιμοποιεί η παρούσα κυψέλη.

Πρόσβαση για καταγραφή του κινητού

- Το κινητό μέσω του RACH κάνει αίτηση για καταγραφή

- Το δίκτυο παρέχει ένα SDCCH και το SACCH, αφού το ενημερώσει πρώτα μέσω του AGCH
- Το SDCCH χρησιμοποιείται για να γίνει η καταγραφή του κινητού. Το κινητό περνάει σε κατάσταση αναμονής

Πρόσβαση για κλήση

- Το κινητό στέλνει μέσω του RACH μια αίτηση για κλήση
- Το σύστημα αποδέχεται την αίτηση κλήσης μέσω του AGCH και στην συνέχεια διαθέτει ένα SDCCH για να γίνει η εγκαθίδρυση της κλήσης μαζί με το SACCH
- Η κλήση έχει φτάσει στη φάση όπου μπορεί να γίνει ανταλλαγή φωνής.

Όταν το κινητό δεν κάνει αίτηση για κλήση, αλλά δέχεται μια εισερχόμενη κλήση, όταν βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, τότε θα ειδοποιηθεί για την εισερχόμενη κλήση μέσω του PCH. Στη συνέχεια στέλνει ένα μήνυμα απάντησης στο RACH. Τα βήματα που ακολουθούνται στην συνέχεια είναι όμοια με αυτά της πρόσβασης για κλήση με την παροχή από το δίκτυο ενός SDCCH μέσω του AGCH κ.τ.λ.

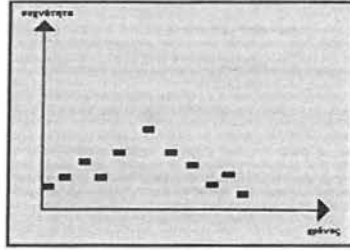
1.5.6 Πηδήματα συχνότητας – Frequency Hopping

Το GSM χρησιμοποιεί τα Αργά Πηδήματα Συχνότητας, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία μετάδοσης. Τα πηδήματα συχνότητας είναι οι αλλαγές στη συχνότητα που επιχειρεί ένα λογικό κανάλι σε τακτά χρονικά διαστήματα, βασιζόμενο σε ένα αλγόριθμο παραγωγής διαφορετικών συχνοτήτων.

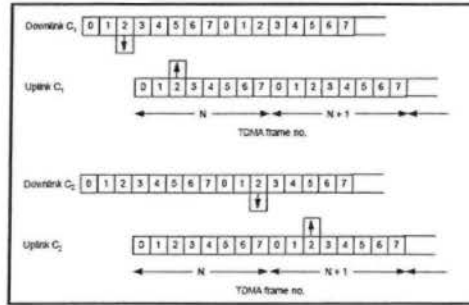
Είναι ένα από τα αρκετά τεχνικά κόλπα που χρησιμοποιεί το σύστημα για να αυξήσει την επάρκεια του φάσματος, κάτι το οποίο συνεπάγεται ανάλογα οικονομικά οφέλη, αλλά και αύξηση της πολυπλοκότητας.

Ο έλεγχος της ισχύς μετάδοσης είναι ένα ακόμα τεχνικό κόλπο, σύμφωνα με το οποίο ελαχιστοποιείται η μέση ισχύς εκπομπής από τα κινητά και τον σταθμό βάσης, ενώ το κρατούν πάνω από ένα κατώφλι για διατήρηση της ποιότητας του σήματος. Αυτό έχει σαν συνέπεια να μειωθεί το επίπεδο παρεμβολής που προκαλείται σε άλλες επικοινωνίες.

Τα Πηδήματα Συχνότητας χαρακτηρίζονται αργά γιατί η συχνότητα αλλάζει πιο αργά από τον ρυθμό διαμόρφωσης, με αποτέλεσμα η συχνότητα μετάδοσης να παραμένει ίδια κατά τη διάρκεια της μετάδοσης μια ολόκληρης παλμοσειράς. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα διαγράμματος χρόνου-συχνότητας για κανάλι με πηδήματα συχνότητας.



Σχήμα 1.23 Αργά πηδήματα συχνότητας στις διαστάσεις χρόνου, συχνότητας



Σχήμα 1.24

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

2.1 ΣΤΟΧΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο σκοπός κάθε δικτύου κινητής τηλεφωνίας GSM είναι να γίνουν πραγματικότητα οι παρακάτω τρεις βασικοί στόχοι :

ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΒΟΛΩΝ

ΑΥΞΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Παρά ταύτα, τούτο δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί, αφενός διότι υπάρχουν περιορισμοί και αφετέρου διότι οι στόχοι είναι αλληλοεξαρτώμενοι, γεγονός που υποχρεώνει τη λήψη δύσκολων αποφάσεων.

Για να μειωθεί ο αριθμός των σταθμών και κατ'επέκταση το κόστος, συμφέρει κάθε σταθμός-βάση να καλύπτει όσο γίνεται ευρύτερη περιοχή. Σκοπός όμως είναι να υπάρχει μια βαθύτερη κάλυψη για να επιτευχθεί έτσι μια καλή εσωτερική (indoor) κάλυψη και μια καλή ποιότητα δικτύου, πράγμα που επιτυγχάνεται μειώνοντας το μέγεθος των κυψελών. Από την άλλη πλευρά, εάν ο στόχος είναι η κάλυψη μεγάλης περιοχής με έναν σταθμό βάσης (site) τότε θα πρέπει να επιλεγεί τοποθεσία σε μεγάλο υψόμετρο ώστε το σήμα να έχει τη δυνατότητα να καλύψει την επιθυμητή ζώνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλεί παρεμβολές τις οποίες θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε.

Εξάλλου, η προσφερόμενη χωρητικότητα από το δίκτυο συμφέρει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη και ο πιο εύκολος τρόπος είναι να εξυπηρετούνται πολλά κανάλια, αλλά το φάσμα είναι περιορισμένο και αναγκάζει έτσι την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Εάν το ζητούμενο είναι η αύξηση της χωρητικότητας τότε πρέπει να μειωθεί το μέγεθος των κυψελών, γεγονός που προϋποθέτει μία χρήση συχνοτήτων πιο κοντινή και πιο συχνή, με συνέπεια την αύξηση των παρεμβολών.

2.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το σημείο αναφοράς του σχεδιασμού είναι το επονομαζόμενο Marketing Plan, δηλ., πωο είναι το ζητούμενο και πως το θέλουμε (τι θέλουμε και πως το θέλουμε). Δυστυχώς υπάρχουν περιορισμοί και αδυναμίες που εμποδίζουν την επίτευξη των επιθυμητών στόχων.



Σχήμα 2.1 Marketing Plan

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ MARKETING

Προβλέπει τον προσδιορισμό των προς επίτευξη στόχων με υπολογισμό κόστους και χρόνου. Προφανώς, οι στόχοι πρέπει να είναι ανάλογοι των μέσων που προτίθενται να εφοδιάσουν το σχεδιασμό και καθώς τα μέσα αυτά θα βασίζονται σε προηγηθείσες μελέτες, είναι απαραίτητο αυτές οι μελέτες να λάβουν υπόψη τους περιορισμούς και να προβλέπουν όσο γίνεται καλύτερα τα προβλήματα που θα προκύψουν. Τα βασικά σημεία του Marketing Plan είναι :

1. Σχέδιο απαιτούμενης κάλυψης

- Ποσοστό πληθυσμού ή περιοχής που θέλουμε να καλύψουμε (πολλές φορές είναι όρος για την παροχή αδείας)
- Στρατηγική εξόδου (που – πότε)

2. Προδιαγραφές της ποιότητας υπηρεσιών

Καθορίζεται ένα σφαιρικό κέρδος υπηρεσίας (GOS, Gain Of Service) του δικτύου, δηλ, πρέπει να επιτευχθεί η μείωση πιθανότητας μπλοκαρίσματος μέχρι να εκπληρωθούν οι προδιαγραφές. Οι απαιτήσεις της ποιότητας δικτύου συνήθως προσαρμόζονται στο είδος της ζώνης π.χ. για μεγάλες πόλεις, απαιτείται υψηλή ποιότητα, για μικρές πόλεις, αυτοκινητόδρομους, εθνικές οδούς απαιτείται πολύ καλή ποιότητα, ενώ για αγροτικές ζώνες συνήθως απαιτείται “μόνο” καλή ποιότητα δικτύου.

3. Πρόβλεψη κίνησης

Είναι βασικό να προβλεφθεί σωστά η κίνηση που θα έχει το δίκτυο από συνδρομητές. Είναι πολύπλοκο να υπολογιστεί, αφού εξαρτάται από εξωγενείς παράγοντες, π.χ. το βαθμό διεύθυνσης που θα έχει το δίκτυο.

4. Προϋπολογισμός

Θα πρέπει να αποδειχθεί ότι τα αναμενόμενα έσοδα θα ξεπεράσουν τις επενδύσεις και το κόστος των προβλεπόμενων εγκαταστάσεων.

ΟΡΟΙ ΑΔΕΙΑΣ

Η χορήγηση άδειας από μία κυβέρνηση συνήθως γίνεται μέσω διαγωνισμού, στον οποίο συμμετέχουν διάφοροι φορείς και όποιος παρουσιάσει την καλύτερη πρόταση, την χορηγείται. Μετά τη χορήγηση, ο φορέας κινητής τηλεφωνίας (operator) δεσμεύεται να καλύψει κάποιες περιοχές ή κάποιο ποσοστό πληθυσμού, με συμφωνημένη ποιότητα σε συγκεκριμένη προθεσμία.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ GSM

Είναι οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις του ίδιου του συστήματος. Οι ορισθέντες όροι από τα στάνταρτς πρέπει να εκπληρωθούν χωρίς αποκλίσεις. Κάποιοι από αυτούς είναι: περιορισμένη ζώνη συχνότητας, σταθερό διάστημα μεταξύ καναλιών των 200KHz, δεδομένα μεγέθη ισχύς εξόδου και ευαισθησίες στα κινητά τηλέφωνα (classes), σχέση C/I (Coverage/Interference) μικρότερη των 9dB και άλλα.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ

Η εγκατάσταση και ο εξοπλισμός συνήθως δεν γίνεται από τον φορέα της άδειας (Operator) αλλά ανατίθενται σε κάποιο προμηθευτή (Provider), δηλ, σε κάποια εταιρεία η οποία διαθέτει τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που θα εφοδιάσει το δίκτυο και έχει την υποδομή και την απαραίτητη εμπειρία ώστε να μπορεί να πραγματοποιήσει την ανάπτυξη ενός σχεδιασμού αυτού του μεγέθους. Οπότε ο φορέας (Operator) ασχολείται μόνο με την επίβλεψη.

Οι περιορισμοί που σε αυτή την φάση προκύπτουν οφείλονται στην τεχνολογία του εξοπλισμού του προμηθευτή: ισχύς των MS (mobile station) (κινητά τηλέφωνα) και BTS (base station transceiver) (σταθμός βάσης), προοπτικές τροποποίησης του hardware (TRX ανά κυψέλη/site, είδη μικτών (combiners) κλπ.), διάθεση ειδικών χαρακτηριστικών (frequency hopping, έλεγχος ισχύς, αλγόριθμοι του handover κλπ.), χαρακτηριστικά κεραιών κλπ.

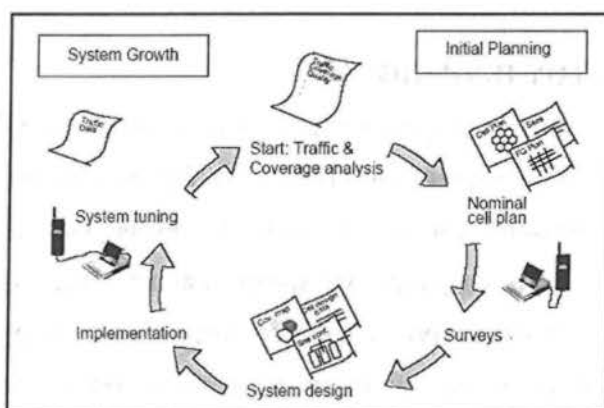
ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ-ΒΑΣΗΣ

Είναι ένα από τα δύσκολα σημεία εξάπλωσης του δικτύου. Αυτό που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι δεν επιτυγχάνεται πάντα η εγκατάσταση ενός σταθμού βάσης στο καλύτερο σημείο ή κτίριο της περιοχής. Επίσης, ότι η κατασκευή του BTS σε αυτό το σημείο ή κτίριο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες : αποδοχή από την ιδιοκτήτη, εκπλήρωση των κατασκευαστικών απαιτήσεων, ρυθμίσεις και άδειες από τους Δήμους, κόστος σε σύγκριση με την επιλογή άλλων υποψηφίων κτιρίων, ύπαρξη “φιλικών” υποψηφίων π.χ. ιδιοκτησίες αλυσίδας εταιριών οι οποίες δέχονται την εγκατάσταση BTS στους χώρους τους.

2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η σχεδίαση του δικτύου εμπεριέχει όλες τις απαιτούμενες ενέργειες για τον καθορισμό των θέσεων που θα εγκατασταθούν οι σταθμοί βάσης, των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν, και της διαμόρφωσης των μηχανημάτων για κάθε σταθμό βάσης.

Για την εξασφάλιση της κάλυψης και την αποφυγή παρεμβολών, κάθε κυψελωτό δίκτυο χρειάζεται σχεδίαση. Οι βασικότερες ενέργειες για την σχεδίαση δικτύου φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2 Οι βασικότερες ενέργειες για την σχεδίαση δικτύου

Αρχικά οι δύο βασικές φάσεις : εικονικό σχέδιο (nominal plan) και πραγματικό σχέδιο.

1. ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ (NOMINAL PLAN)

Προτείνεται ένα αρχικό δίκτυο το οποίο υπολογίζεται ότι θα πληρεί τις απαιτήσεις που αφορούν την κάλυψη, την χωρητικότητα και την ποιότητα με τον υπάρχοντα προϋπολογισμό.

Ο φορέας (operator) προτείνει τις καλύτερες περιοχές και την ποιότητα που θέλει και ταυτόχρονα επιβάλλει ένα όριο σταθμών για να το πετύχει.

Γίνεται ένα θεωρητικό σχέδιο των διαθέσιμων χώρων με την προβλεπόμενη διαμόρφωση, εξοπλισμό πληροφορικής πρόβλεψης και μερικές φορές γίνονται μετρήσεις, οι οποίες βοηθούν στη πρόβλεψη της κάλυψης.

Σε αυτό το πρώτο πακέτο του δικτύου άμεσα διαπλεκόμενοι είναι τα τμήματα σχεδιασμού, marketing και εμπορίας.

2. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Τίθεται σε εφαρμογή το θεωρητικό σχέδιο που προτάθηκε από τον εικονικό σχεδιασμό. Είναι μια πολύπλοκη διαδικασία της οποίας τα βασικά βήματα είναι :

- Αναζήτηση του χώρου εγκατάστασης των σταθμών βάσης και επιλογή των καλύτερων σημείων σαν υποψηφίων.
- Επαφή με τους υποψήφιους (στην ουσία επαφή με τους ιδιοκτήτες των σημείων).
- Σχεδίαση της διαρρύθμισης των εγκαταστάσεων (σταθμούς περιμετρικής κάλυψης ή κατευθυντικής κάλυψης, αριθμός των sectors, διάθεση και τύπος κεραιών, αριθμός TRX και άλλα).
- Μελέτη λειτουργικότητας των κατασκευών.
- Σχεδιασμός των συχνοτήτων.

Η διαδικασία αυτή δεν είναι τελική αφού το υποψήφιο σημείο μπορεί να απορριφθεί και η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί ή τουλάχιστον θα πρέπει να επαναληφθούν κάποια βήματα. Σ' αυτή την περίπτωση χρήσιμη είναι η υποστήριξη από μηχανήματα/προγράμματα πληροφορικής, τα οποία βοηθάνε στον σχεδιασμό των συχνοτήτων και την πρόβλεψη κάλυψης κάθε σημείου υποψηφίου, που διαφορετικά θα ήταν αδύνατος.

Για να είναι δυνατή η ανάπτυξη του δικτύου, είναι απαραίτητο να υπάρχει καλή συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων ράδιο-σχεδίασης (radio-planning), αναζήτησης θέσεων σταθμών βάσης (site acquisition), κατασκευής (construction), και προγραμματισμού του σταθερού δικτύου (fix network planning). Στην περίπτωση που η επικοινωνία μεταξύ των σταθμών γίνεται μέσω ραδιοεπικοινωνίας, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες του τμήματος μικροκυματικών (microwave).

2.4 ΚΑΛΥΨΗ GSM

Στις υποδείξεις GSM, οι ειδικές προδιαγραφές κάλυψης δεν παρουσιάζονται ως μία μεμονωμένη παράμετρος που πρέπει να επιτευχθεί αλλά δίνονται σε συνάρτηση, με κάποια επίπεδα ελάχιστης ποιότητας που πρέπει να υπάρχουν κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Το GSM ορίζει ως επίπεδα ευαισθησίας λήψης σήματος :

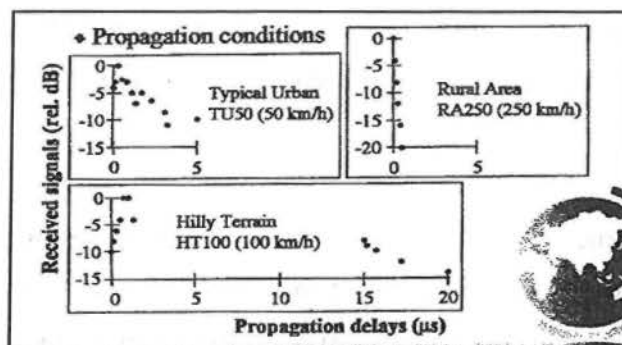
- -104 dBm, για κάθε BS (base station) και για τις κατηγορίες (classes) 1 έως 3 του MS (mobile station) GSM900
- -102 dBm, για τις κατηγορίες 4 και 5 του MS σε δίκτυο GSM900
- -100 dBm, για όλα τα MS σε δίκτυο GSM1800

Θα πρέπει να υπάρχουν ® BER (Residual) Bit Error Rate και FER, Frame Error Rate για διαφορετικές συνθήκες διάδοσης. Οι προδιαγραφές λαμβάνουν επίσης υπόψη τους την ταχύτητα του MS και την χρήση του FH, frequency hopping.

Channel		Propagation Conditions				
		Static	TU50 no FH	TU50 ideal FH	RA250 no FH	HT100 ideal FH
SDCC1	FER	0.1%	9%	9%	8%	13%
RACH	FER	0.5%	13%	13%	12%	13%
SCH	FER	1%	19%	19%	15%	25%
TCH/F9.6k/14.4	BER	10 ⁻³	0.4%	0.4%	0.1%	0.7%
TCH/F4.8	BER		10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
TCH/F2.4	BER		10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
TCH/H2.4	FER		10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
TCH/FS	FER	0.1α%	4α%	3α%	2α%	7α%
class I5	RBBER	(0.4/α)%	(0.3/α)%	(0.3/α)%	(0.2/α)%	(0.5/α)%
class II	RBBER	2%	8%	8.1%	7%	9%

Σχήμα 2.3

Οι διαφορές στην λήψη της έντασης του σήματος που οφείλονται στο περιβάλλον μετάδοσης είναι χαρακτηρισμένες, με ένα γενικό τρόπο, στο επίπεδο του λαμβανομένου σήματος σε σχέση με την καθυστέρηση της μετάδοσης εν' όψη των πολλών διαδρομών, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4

Τα αποτελέσματα της κάλυψης και της ποιότητας πρέπει να είναι εξαγωγή των απαιτήσεων του προγραμματισμού του marketing.

Οι προδιαγραφές εκφράζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και είναι οι παρακάτω :

ΑΡΙΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ : 95%

ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ : 90%

ΚΑΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ : 75%

2.5 ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟ-ΣΗΜΑΤΟΣ

Η εντυπωσιακή εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας και η εξάπλωση της σε πολλές εφαρμογές, δημιούργησε παράλληλα μια ανάπτυξη των μεθόδων περιγραφής και πρόβλεψης της διάδοσης του σήματος.

Τρία είναι τα βασικά γνωρίσματα που χαρακτηρίζουν τη διάδοση του σήματος:

1. Η κάλυψη περιοχών, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη πρόβλεψης της διάδοσης μεταξύ αναμεταδότη και πλήθος χρηστών.
2. Πολυμορφία διαδρομών μεταξύ αναμεταδότη και χρήστη, εξαιτίας των γεωγραφικών παρεμβολών και των υπάρχοντων εμποδίων.
3. Ποικιλία διαδρομών, λόγω της κινητικότητας των κινητών, γεγονός που προϋποθέτει μια προσαρμοστικότητα ανάλογα με την απόσταση και το χρόνο των συνηθών διάδοσης και κατά συνέπεια, του επιπέδου εντάσεως του σήματος της λήψης.

2.5.1 Χαρακτηριστικά της Διάδοσης μέσω κινητών καναλιών

Το κυριότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η πολυμορφία της διάδοσης η οποία εξαρτάται από την περιοχή που καλύπτεται και από την μετακίνηση των κινητών τηλεφώνων, γεγονός

που οδηγεί στην μετατροπή της έντασης του σήματος ανάλογα με τον καιρό και τις αποστάσεις. Οπότε όταν υπάρχει μια σταθερή ισχύς μετάδοσης, η λαμβανόμενη ισχύς είναι μία τυχαία μεταβλητή .

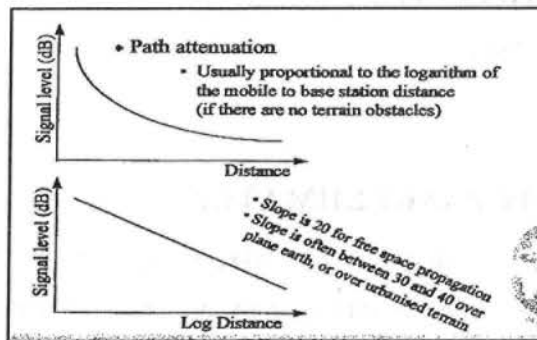
Η απώλεια διάδοσης ποικίλει ανάλογα την απόσταση αναμεταδότη-λήπτη και την μορφολογία του εδάφους, τα υπάρχοντα εμπόδια, τη συχνότητα και το ύψος των κεραιών.

Η διάδοση του σήματος σε χώρο χωρίς εμπόδια υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο.

$$P_r = [P_t + G_t] + 20 \log \lambda / 4\pi - 20 \log r$$

P_r : Received power
 P_t : Transmitted power
 G_t : Antenna gain
 r : Range between the antennas
 λ : Wavelength

Σχήμα 2.4 Τύπος υπολογισμού διάδοσης του σήματος σε χώρο χωρίς εμπόδια

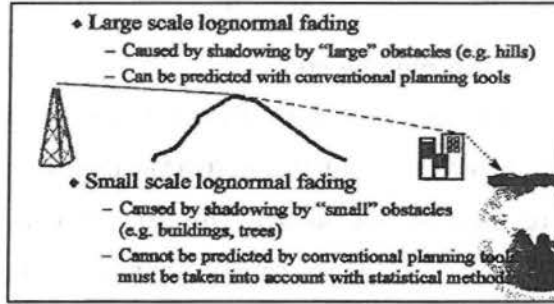


Σχήμα 2.5

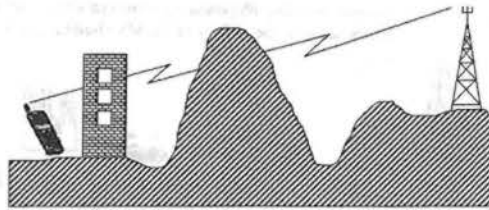
2.5.1.1 Διαμόρφωση διάδοσης

Η μορφολογία του εδάφους προκαλεί μία ποικίλη διαμόρφωση γύρω από το προβλεπόμενο από το νόμο μέσο όρο, που ονομάζεται Slow (Shadow Longnormal) Fading.

Σημειώνουμε ότι υπάρχουν δύο είδη απώλειας διάδοσης σήματος “Large Scale” και “Small Scale”. Το πρώτο οφείλεται σε μεγάλα εμπόδια, π.χ. βουνά, ενώ το δεύτερο οφείλεται σε μικρά εμπόδια, π.χ. δένδρα, κτίρια.



Σχήμα 2.6 Large scale & Small scale lognormal Fading



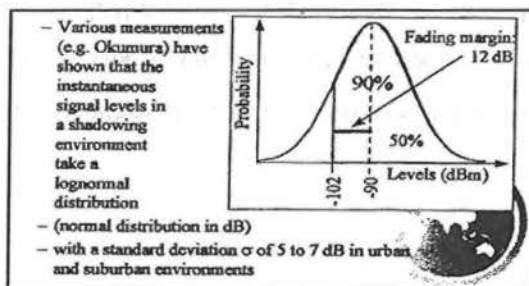
Το δεύτερο είδος είναι πιο δύσκολο να υπολογιστεί και υπάρχει δυσκολία να προβλεφθεί με τα συμβατικά μηχανήματα (εξοπλισμό) πρόβλεψης και γι'αυτό γίνεται χρήση μεθόδων στατιστικής. Έτσι, το Slow Fading εμφανίζεται σαν μεταβλητή (offset) (Lognormal Fading Margin), ανάλογα με το περιβάλλον (σ) και τη ζώνη κάλυψης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δείκτες του Slow Fading για την πόλη, όπου η παρέκκλιση είναι περίπου της τάξης των 7dB.

- to take the effects of small scale lognormal fading into account

Cell edge probability	Cell area probability	Margin for $\sigma = 7\text{dB}$
50 %	77 %	0
75 %	91 %	5 dB
90 %	97 %	9 dB
95 %	99 %	12 dB

◆ Add 3 dB for additional safety (e.g. prediction errors)

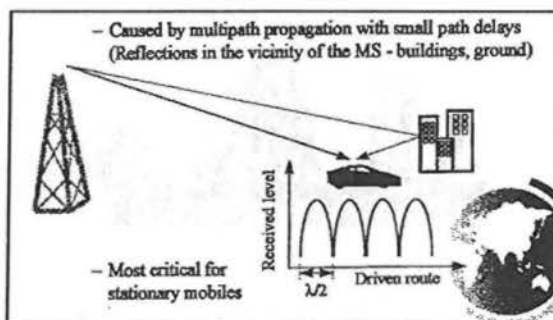
Σχήμα 2.7



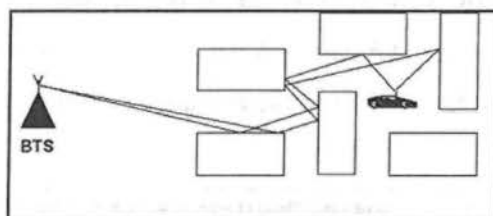
Σχήμα 2.8

2.5.1.2 Διάδοση μέσω πολλών διαδρομών

Στα κινητά κανάλια, κυρίως στην πόλη, εμφανίζεται ένας νέος παράγοντας διαφοροποίησης εξαιτίας της παρουσίας εμποδίων πλησίον του κινητού τηλεφώνου: κτίρια, έδαφος, δένδρα κλπ. Τα εμπόδια αυτά δημιουργούν πολλές έμμεσες διαδρομές διάδοσης εξαιτίας των διαθλάσεων και αντανακλάσεων με αποτέλεσμα να φτάνει το σήμα στον λήπτη με διάφορες καθυστερήσεις.



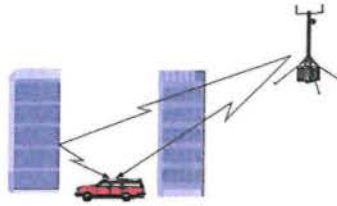
Σχήμα 2.9 Διάδοση μέσω πολλών διαδρομών



Σχήμα 2.10 Διάδοση μέσω πολλών διαδρομών

Αυτό το είδος διάδοσης ονομάζεται “πολυδιαδρομικό” και είναι ο βασικός μηχανισμός για να φτάσει η ραδιοηλεκτρική ενέργεια σε τηλέφωνα που περιβάλλονται από εμπόδια. Εν τούτοις και με το πλεονέκτημα αυτό, υπάρχουν προβλήματα.

Αποτέλεσμα αυτού του τρόπου διάδοσης είναι να φθάνουν στον λήπτη διάφορα σήματα, από διαφορετικά κανάλια, σε διαφορετικό χρόνο. Το άθροισμα αυτών των δεδομένων δίνει ένα κύμα του οποίου το εύρος παρουσιάζει μεγάλες και γρήγορες διακυμάνσεις επιπέδου κατά τη διαδρομή του κινητού τηλεφώνου, με μin των 40dB σε σχέση με το μέσο όρο. Ο διαχωρισμός μεταξύ αυτών των ελαχίστων είναι της τάξης των $\lambda/2$. Αυτό ονομάζεται Fast (ή Rayleigh) Fading.



Σχήμα 2.11

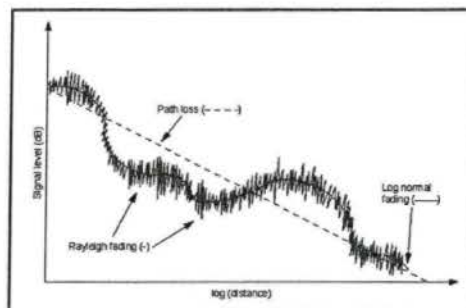
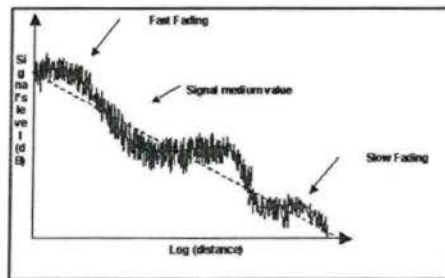
Το φαινόμενο Fast Fading εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητού τηλεφώνου και είναι περισσότερο αρνητικό σε μικρότερη ταχύτητα. Το κρίσιμο σημείο είναι όταν το κινητό μένει ακίνητο σε ένα από τα minimum.

♦ required for stationary mobiles

Cell edge probability	Cell area probability	Margin for $\sigma = 8.5\text{dB}$
50 %	77 %	0
75 %	91 %	3 dB
90 %	97 %	5 dB
95 %	99 %	7 dB

(Rayleigh distribution)

Σχήμα 2.12



Σχήμα 2.13 Rx signal strength versus distance

Το αποτέλεσμα του Fast Fading μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με δύο τρόπους: Κεραία Πολλαπλής λήψης (Antenna Diversity) και Frequency Hopping.

1. Κεραία πολλαπλής λήψης (Antenna diversity)

Μία από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπισθεί η απώλεια σήματος είναι η λήψη σήματος από διάφορες κεραίες, με αποτέλεσμα τα σήματα να αλληλοεπηρεάζονται. Έτσι, οι συνέπειες του Slow Fading είναι διαφορετικές στους δύο λήπτες και η πιθανότητα ταυτόχρονης απώλειας είναι ελάχιστη.

Εκτός αυτού, η λήψη μέσω διαφορετικών κεραιών, δίνει ένα όφελος στο S/N του uplink, το οποίο είναι περισσότερο ευαίσθητο εξαιτίας των περιορισμών του PIRE των κινητών.

Η βελτίωση που οφείλεται στην πολλαπλή λήψη είναι αποτέλεσμα του βαθμού αλληλεπίδρασης των σημάτων και αυτό εξαρτάται επίσης από το βαθμό διαχωρισμού που επιτυγχάνεται μεταξύ αυτών. Ο διαχωρισμός μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους οι οποίοι δημιουργούν διάφορα συστήματα πολλαπλής λήψης:

A. Πολλαπλή λήψη στο χώρο (Space Diversity): Η λήψη γίνεται μέσω διαφορετικών και χωριστών κεραιών.

B. Πολλαπλή λήψη πόλωσης (Diversity of polarization): Η λήψη χρησιμοποιεί κεραίες διαφορετικής πόλωσης.

Γ. Πολλαπλή λήψη στη συχνότητα (Frequency diversity): Η ίδια πληροφορία μεταδίδεται και λαμβάνεται χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες.

Δ. Πολλαπλή λήψη στο χρόνο (Time diversity): Το σήμα τεμαχίζεται και μεταδίδεται όχι συνεχόμενα αλλά με κάποιο κενό διάστημα χρόνου.

Εκ των ανωτέρω, χρησιμοποιούνται περισσότερο η πολλαπλή λήψη στο χώρο και η πολλαπλή λήψη πόλωσης. Η πολλαπλή λήψη πόλωσης έχει το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να πετύχουμε τη πολλαπλή λήψη με μία μόνο κεραία λήψης.

Στις πιο μοντέρνες εκδόσεις χρησιμοποιείται μία μόνο κεραία ανά sector. Η ίδια κεραία μεταδίδει, και λαμβάνει από διαφορετικούς πόλους (Diversity of polarization). Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητος ένας duplexer ο οποίος επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη.

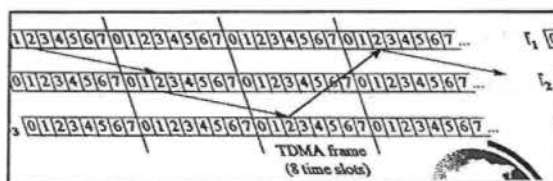


Σχήμα 2.14 Duplexer

2. Frequency Hopping

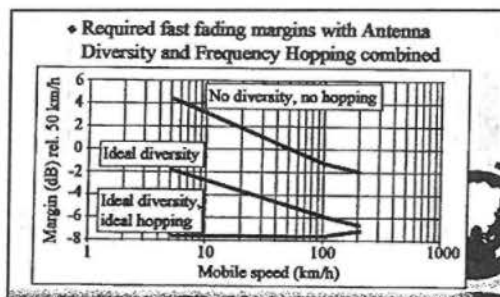
Ένας άλλος τρόπος για να επιλυθεί το Fast Fading αποδείχθηκε ότι ήταν μέσω της Frequency Diversity. Στα δίκτυα GSM η diversity συνδυάζεται με το TDMA από την άποψη ότι διάφορα κενά στην ομιλία χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες, με αποτέλεσμα τα συνεχόμενα σήματα του καναλιού TCH εκπέμπονται σε συχνότητες f_1, \dots, f_n , κυκλικά.

Αυτός ο τρόπος μετάδοσης λέγεται Frequency Hopping ή αλλιώς “πήδημα της συχνότητας”. Άλλο πλεονέκτημα του FH είναι ότι εξαλείφει την ενδοκαναλική παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών κινητών. Πχ. Ένα κινητό εκπέμπει σε f_1 και βρίσκεται κοντά σε ένα BTS, το οποίο επίσης εκπέμπει σε f_1 μπορεί να προκαλέσει έντονες παρεμβολές. Χρησιμοποιώντας FH η συχνότητα f_1 δεν θα χρησιμοποιείται μόνιμα από το κινητό, αλλά θα χρησιμοποιείται από άλλα που θα βρίσκονται σε αποστάσεις διαφορετικές από αυτές των BTS με τις παρεμβολές, οπότε, οι παρεμβολές θα μειωθούν.



Σχήμα 2.15 Frequency Hopping

Στο σχήμα 2.16 μπορούμε να δούμε τη μείωση του Fast Fading χρησιμοποιώντας την Antenna Diversity και Frequency Hopping, η οποία μεταφράζεται σε μία ελάττωση του επιθυμητού Fast Fading Margin



Σχήμα 2.16

2.5.2 Μοντέλα πρόβλεψης της διάδοσης σήματος

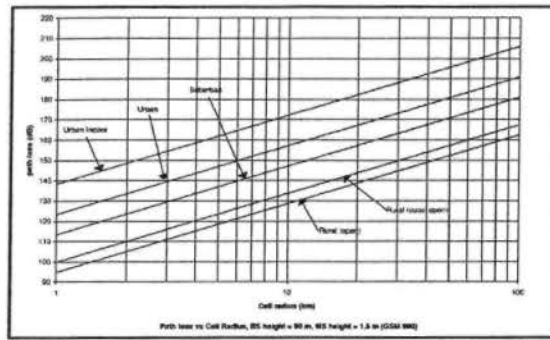
Τα μοντέλα πρόβλεψης της έντασης του πεδίου βασίζονται συνήθως σε κάποια μοντέλα απώλειας που έχουν ήδη περιγραφεί και τροποποιούνται από παραμέτρους που παίρνονται από μετρήσεις πεδίου. Τα μοντέλα πρόβλεψης περιλαμβάνουν πληροφορίες για την τοπογραφία του χώρου, συμπεριλαμβανομένης και της μορφολογίας (περιγραφή των λόφων) και την κατηγορία της χρήσης του εδάφους (αν είναι αστική περιοχή, δασώδης ή θαλάσσια).

Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης συνήθως συμφωνούν με ένα σημαντικό ποσοστό δεδομένων και απαιτούν ένα Η/Υ για την επεξεργασία των δεδομένων. Η επιλογή του μοντέλου βασίζεται κυρίως στο τι χρειάζεται: ένα πρόχειρο υπολογισμό ή μια ακριβή πρόβλεψη. Επιπλέον η διαθεσιμότητα των δεδομένων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι αλγόριθμοι μπορούν να επιλεγθούν ιεραρχικά, από μία ασήμαντη εξίσωση ως ένα πολύπλοκο (και ακριβό) πακέτο προγραμμάτων Η/Υ. Μετά την πρόβλεψη των υπολογισμών, οι μετρήσεις του πεδίου πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να επικυρώσουν το μοντέλο. Αυτό το βήμα είναι πιθανό να απαιτεί την επαναπροσαρμογή των παραμέτρων.

Παρακάτω περιγράφονται μερικά κύρια μοντέλα πρόβλεψης.

2.5.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ OKUMURA-HATA

Ο Okumura πέτυχε κάποιες σπάνιες καμπύλες διάδοσης, βασισμένες πάνω σε ένα μεγάλο νούμερο μετρήσεων που έγιναν στην Ιαπωνία, στην περιοχή του Τόκιο. Οι καμπύλες αυτές δείχνουν την πυκνότητα του χώρου, όταν πρόκειται για μια πόλη, τα διαφορετικά ύψη κεραιών, ζώνες των 150, 450 και 900 MHz και μια PRA του 1KW, το ύψος λήψης είναι 1,5μ, το οποίο είναι το κλασσικό σε εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 2.17 Καμπύλες Okumura

Τις καμπύλες συνοδεύουν διορθωτικές κινήσεις, ώστε να υπολογιστεί και ο κυματισμός, η κλίση του εδάφους και η ανομοιογένεια αυτού, η παρουσία σημαντικών εμποδίων, το ύψος λήψης, PIRE, η κατεύθυνση των οδών και η κτιριακή πυκνότητα.

Η πεποίθηση ότι πρέπει να μηχανογραφηθεί η μέθοδος, οδήγησε τον HATA να αναπτύξει νουμερικές εκφράσεις για τις καμπύλες του OKUMURA. Η βασική φόρμουλα του Hata, υπολογίζει την απώλεια του σήματος στο αστικό περιβάλλον καθώς και μια εκτίμηση για άλλου είδους περιβάλλον.

2.5.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ COST 231 – HATA

Ο τύπος του HATA ισχύει για συχνότητες κάτω των 1500 MHz. Εν τούτοις, στην Ευρώπη έχει ομαλοποιηθεί η λειτουργία των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας DECT (ψηφιακές ασύρματες τηλεπικοινωνίες) και DCS1800 (ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα στα 1800MHz). Η GRUPO COST231, για να διαθέτει ένα μοντέλο, επίσης έγκυρο, σε αυτή τη ζώνη, πρότεινε μια επέκταση του συστήματος HATA για την μέτρηση του σήματος.

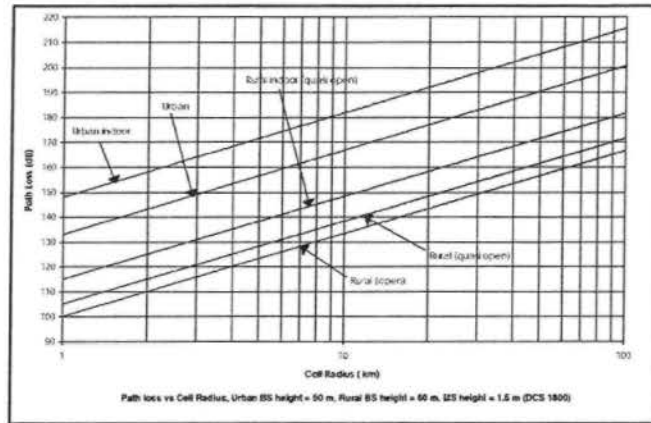
Η επονομαζόμενη μέθοδος COST231-HATA υπολογίζει την παρακάτω σχέση που αφορά την βασική απώλεια διάδοσης.

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_r) \log d + c_m \quad (3.8.14)$$

donde c_m es una constante cuyos valores son:

$$c_m = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{ciudad de tipo medio y áreas suburbanas con densidad de arbolado moderada.} \\ 3 \text{ dB} & \text{grandes centros metropolitanos.} \end{cases}$$

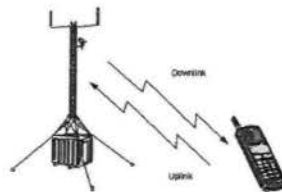
Σχήμα 2.18 Βασική απώλεια διάδοσης



Σχήμα 2.19

2.5.3 Σχεδιασμός διακύμανσης – ισορροπίας συνδέσεων

Πρόκειται για τον υπολογισμό διακύμανσης ισχύος μεταξύ MS-BS και BS-MS, δηλ. Πρόκειται για έναν έλεγχο της ισχύος που θα υπάρχει στα διάφορα σημεία διάδοσης.



Σχήμα 2.20

1. Υπολογισμός του Uplink

Μας επιτρέπει να γνωρίζουμε

- Τη μέγιστη απώλεια επιτρεπόμενης διάδοσης
- Το μέγεθος των κυψελών

2. Υπολογισμός του Downlink

Μας επιτρέπει να γνωρίζουμε

- Την ισχύ εκπομπής του σταθμού που απαιτείται για να επιτευχθεί ισορροπημένη σύνδεση uplink-downlink.
- Τα όρια για το σχεδιασμό κάλυψης.

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται παραδείγματα υπολογισμού της ισορροπίας της ραδιο-ζεύξης.

Uplink			Downlink		
	Unit	dBm cum.		Unit	dBm cum.
MS transmit power (DCS class 1):	30 dBm	30	BS transmit power (incl. duplexer/combiner losses):	36 dBm	36
MS cable losses:	0 dB	30	BS cable losses:	-3 dB	33
MS antenna gain:	0 dBi	30	BS antenna gain:	18 dBi	51 EIRP
Body loss:	-2 dB	28	Max. allowable path loss:	-120 dB	-89 Threshh.
Indoor penetration loss:	-17 dB	11	Lognormal fading margin:	-12 dB	-81
Max. allowable path loss:	-120 dB	-109	Fast fading margin:	0 dB	-81
Lognormal fading margin:	-12 dB	-121	Indoor penetration loss:	-17 dB	-98
Fast fading margin:	0 dB	-121	Body loss:	-2 dB	-100
BS antenna gain:	18 dBi	-103	MS antenna gain:	0 dBi	-100
Mast pre-amplifier gain:	0 dB	-103	MS cable losses:	0 dB	-100
BS cable losses:	-3 dB	-106	MS RX sensitivity (class 1):	-100 dBm	
Duplexer loss:	-1 dB	-107			
Diversity gain:	3 dB	-104			
BS RX sensitivity:	-104 dBm		Example link budget: DCS MS class 1, Indoor		

Σχήμα 2.21

Uplink			Downlink		
	Unit	dBm cum.		Unit	dBm cum.
MS transmit power (GSM class 4):	33 dBm	33	BS transmit power (incl. duplexer/combiner losses):	37 dBm	37
MS cable losses:	0 dB	33	BS cable losses:	-3 dB	34
MS antenna gain:	0 dBi	33	BS antenna gain:	16 dBi	50 EIRP
Body loss:	-2 dB	31	Max. allowable path loss:	-138 dB	-88 Threshh.
Indoor penetration loss:	0 dB	31	Lognormal fading margin:	-12 dB	-100
Max. allowable path loss:	-138 dB	-107	Fast fading margin:	0 dB	-100
Lognormal fading margin:	-12 dB	-119	Indoor penetration loss:	0 dB	-100
Fast fading margin:	0 dB	-119	Body loss:	-2 dB	-102
BS antenna gain:	16 dBi	-103	MS antenna gain:	0 dBi	-102
Mast pre-amplifier gain:	0 dB	-103	MS cable losses:	0 dB	-102
BS cable losses:	-3 dB	-106	MS RX sensitivity (class 4):	-102 dBm	
Duplexer loss:	-1 dB	-107			
Diversity gain:	3 dB	-104			
BS RX sensitivity:	-104 dBm		Example link budget: GSM MS class 4, outdoor		

Σχήμα 2.22

2.5.3.1 Περιθώρια του Fading

Με τα περιθώρια του Fading προσδιορίζεται η ποιότητα επικοινωνίας. Τα περιθώρια αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της διαδρομής της διάδοσης του σήματος. Το Fast Fading απαιτείται μόνο για αργά κινητά τηλέφωνα ή σταθερά τηλέφωνα χωρίς Frequency Hopping. Επιπλέον, προστίθενται 3dB στα περιθώρια του Fading Lognormal για επιπλέον ασφάλεια: σφάλματα στον εξοπλισμό πρόβλεψης, σφάλματα στην απόκτηση κτιριακών εγκαταστάσεων κλπ.

Quality	Coverage probability (cell edge)	Coverage probability (cell area)	Lognormal fading margin ($\sigma=7\text{dB}$) +3dB	Fast fading margin
Excellent	95 %	99 %	15 dB	7 dB
Very good	90 %	97 %	12 dB	5 dB
"Good"	75 %	91 %	8 dB	3 dB

Σχήμα 2.23

2.5.3.2 Απώλειες διείσδυσης

Η απώλεια διείσδυσης για indoor κάλυψη, δηλ, η απώλεια μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού ενός κτιρίου, υπολογίζεται από δύο στοιχεία :

- ο ΜΕΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ : Συνήθως λαμβάνονται 13dB
- ο ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΥ FADING ΓΙΑ INDOOR ΚΑΛΥΨΗ : κατ'εκτίμηση 4dB παραπάνω

Shed in open area:	0.4 (wood) ... 29 (corrugated iron, metal-screened windows)
Suburban house:	3 (wood) ... 12 (vynil cladding over foil insulation)
Suburban commercial buildings	13 (various)
Urban commercial buildings	11 (various) ... 18 (concrete and glass)
(COST231: 900 MHz measurement results from various sources) Similar results were found for 1800 MHz	

Σχήμα 2.24

Η απώλεια διείσδυσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί είναι: η συχνότητα, το υλικό κατασκευής του κτιρίου, το πάχος του τοίχου, η ύπαρξη παραθύρων, συγκλίνουσα γωνία, αριθμός τοίχων που παρεμβάλλονται, εσωτερικός χώρος, το περιβάλλον γύρω από το κτίριο. Επίσης επηρεάζει το ύψος (σε πιο όροφο του κτιρίου βρίσκεται το κινητό). Η απώλεια είναι μεγαλύτερη σε χαμηλότερους ορόφους: συνήθως υπάρχει μια αύξηση των 2dB ανά όροφο. Τέλος, για το εσωτερικό των αυτοκινήτων, η απώλεια είναι της τάξεως των 7dB.

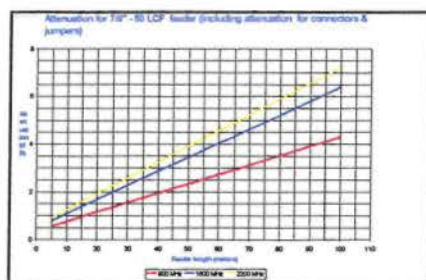
2.5.3.3 Απώλειες καλωδίων

Οι απώλειες στο ομοαξονικό καλώδιο, εξαρτώνται από τη διατομή του και από το μήκος του, καθώς και από την συχνότητα. Εκτός από τις απώλειες στο κεντρικό καλώδιο, πρέπει να

έχουμε υπόψη μας τις απώλειες στις συνδέσεις και στα “λαστιχάκια” που ενώνουν το κυρίως καλώδιο με την κεραία και τον εξοπλισμό μεταφοράς.

Όσο πιο παχύ είναι το καλώδιο υπάρχουν λιγότερες απώλειες, αλλά αυτό σημαίνει αύξηση κόστους και δυσκολία στην τοποθέτηση.

Παρακάτω παρουσιάζεται διάγραμμα εξασθένησης σε σχέση με το μήκος καλωδίου και για τα τρία συστήματα κυβελώτης τηλεφωνίας GSM 900, GSM 1800, UMTS.



TYPE OF CABLE	LOSS (dB/m)		MAXIMUM LENGTH (m)	
	GSM900	DCS1800	GSM900	DCS1800
LATIGUILLO EQUIPO A CABLE	0.11500	0.15900	1.75 (FIJA)	1.75 (FIJA)
2"	0.07510	0.10300	36.00	27.00
7/8"	0.04200	0.05870	64.00	44.00
1 1/4"	0.03100	0.04310	87.00	60.00
1 5/8"	0.02620	0.03720	103.00	69.00
LATIGUILLO CABLE A ANTENA	0.07510	0.10300	1.50 (FIJA)	1.50 (FIJA)

Σχήμα 2.20

Feeder length (meters)	7/8 LCF - 50			1 1/4" LCF - 50			1 5/8" LCF - 50		
	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz
5	0.547	0.794	0.9315	0.494	0.718	0.847	0.468	0.6825	0.8075
10	0.744	1.088	1.263	0.638	0.936	1.094	0.586	0.865	1.015
15	0.941	1.382	1.5945	0.782	1.154	1.341	0.704	1.0475	1.2225
20	1.138	1.676	1.926	0.926	1.372	1.588	0.822	1.23	1.43
25	1.335	1.97	2.2575	1.07	1.59	1.835	0.94	1.4125	1.6375
30	1.532	2.264	2.589	1.214	1.808	2.082	1.058	1.595	1.845
35	1.729	2.558	2.9205	1.358	2.026	2.329	1.176	1.7775	2.0525
40	1.926	2.852	3.252	1.502	2.244	2.576	1.294	1.96	2.26
45	2.123	3.146	3.5835	1.646	2.462	2.823	1.412	2.1425	2.4675
50	2.32	3.44	3.915	1.79	2.68	3.07	1.53	2.325	2.675
55	2.517	3.734	4.2465	1.934	2.898	3.317	1.648	2.5075	2.8825
60	2.714	4.028	4.578	2.078	3.116	3.564	1.766	2.69	3.09
65	2.911	4.322	4.9095	2.222	3.334	3.811	1.884	2.8725	3.2975
70	3.108	4.616	5.241	2.366	3.552	4.058	2.002	3.055	3.505
75	3.305	4.91	5.5725	2.51	3.77	4.305	2.12	3.2375	3.7125
80	3.502	5.204	5.904	2.654	3.988	4.552	2.238	3.42	3.92
85	3.699	5.498	6.2355	2.798	4.206	4.799	2.356	3.6025	4.1275
90	3.896	5.792	6.567	2.942	4.424	5.046	2.474	3.785	4.335
95	4.093	6.086	6.8985	3.086	4.642	5.293	2.592	3.9675	4.5425
100	4.29	6.38	7.23	3.23	4.86	5.54	2.71	4.15	4.75

Οι απώλειες στα σημεία σύνδεσης είναι της τάξης του 0,1dB αν και αυτό εξαρτάται και από τον τύπο των ζευκτών.

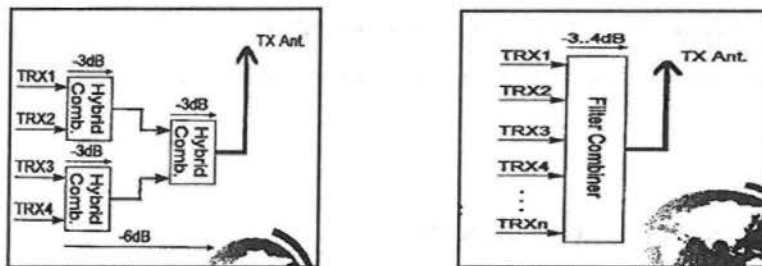
2.5.3.4 Ενισχυτές του στύλου

Ο στόχος τους είναι να βελτιώσουν τη σύνδεση από 5 σε 7 dB και χρησιμοποιούνται κυρίως για να επιτευχθεί κυμαινόμενη δίοδος απωλειών μεταξύ uplink και downlink. Είναι ενισχυτές χαμηλού θορύβου (Low Noise Amplifier, LNA) και τοποθετούνται ακριβώς στην έξοδο της κεραίας λήψης του BTS, πάνω στον στύλο.

2.5.3.5 Μείκτες (Combiners)

Είναι συσκευές του RF που επιτρέπουν συνδέσεις συχνοτήτων που βρίσκονται πλησίον μιας κοινής κεραίας και ταυτόχρονα εξασφαλίζουν μια υψηλή μόνωση μεταξύ των μεταδοτών οπότε ελαχιστοποιείται η δημιουργία παράσιτων μεταξύ των συχνοτήτων. Επίσης, καταλαμβάνει μικρότερο χώρο στο σταθμό-βάση αφού πολλά TRX μπορούν να μοιράζονται την ίδια κεραία. Εν πάση περιπτώσει, προκαλούν απώλειες στη σύνδεση, οι οποίες

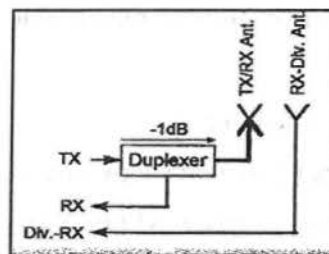
εξαρτώνται από τον τύπο του μείκτη που χρησιμοποιείται. Ο πιο κοινός είναι ο υβριδικός (η απώλεια εξαρτάται από το νούμερο των TRX) και ο τύπος με το κοίλο φίλτρο (απώλεια ανεξάρτητη από τον αριθμό των TRX, αλλά είναι ακριβότερος και πιο περίπλοκος).



Σχήμα 2.25

2.5.3.6 Duplexers (Συσκευές αμφίδρομης επικοινωνίας)

Επιτρέπουν την μετάδοση και την λήψη σήματος μέσω μόνο μιας κεραίας. Με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιώντας κεραίες διασταυρωμένων πόλων, χρειάζεται μόνο μια κεραία ανά sector. Η απώλεια που υπάρχει είναι της τάξης του 1dB.



Σχήμα 2.26 Duplexer

2.5.4 Διάδοση μέσω μικροκυψελών (micro-cells)

Στις πόλεις, για λόγους κίνησης και χωρητικότητας, οι ζώνες κάλυψης των σταθμών-βάσης είναι όλο και πιο περιορισμένες, με δυνατότητα επικοινωνίας μέχρι κάποιες εκατοντάδες μέτρα. Αυτές οι ζώνες κάλυψης αντικαθίστανται από τις ονομαζόμενες μικροκυψέλες (micro-cells). Η περιορισμένη κάλυψη απαιτεί μικρή ισχύ RF στο κινητό τηλέφωνο, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση μπαταριών μικρού μεγέθους και ελάχιστου βάρους, που διευκολύνει έτσι τη μεταφορά του.

Για την κάλυψη με micro-cells, οι κεραίες του BTS τοποθετούνται κάτω από τις μαρκίζες των κτιρίων, σε ένα ύψος 10μ από το έδαφος. Έτσι, έχουμε δύο είδη διάδοσης:

➤ ΔΙΑΔΟΣΗ LOS, Line Of Sight

Στην περίπτωση αυτή της απευθείας διάδοσης, το σήμα διαδίδεται μέσω των οδών που ενεργούν σαν οδηγοί-σήματος, μέσω πολλαπλών διαθλάσεων στις γωνίες και μέσω πλευρικών αντανάκλασεων στην πρόσοψη των κτιρίων.

Με τον τρόπο αυτό το σήμα φθάνει σε σημεία όπου δεν υπάρχει απ'ευθείας οπτική επαφή με τις κεραίες του BTS.

➤ ΔΙΑΔΟΣΗ NLOS, No Line Of Sight

Στις ζώνες αυτές, το σήμα εξασθενεί γρήγορα, με το που φθάνει σε αυτές (μόλις στρίψει στη γωνία) και συνεχίζει να εξασθενεί αλλά με πιο αργό ρυθμό.

Στη μικροκυψελωτή διάδοση επηρεάζουν κυρίως, η κατάσταση και η κατεύθυνση των κινητών σε σχέση με τους δρόμους και τα κτίρια, καθώς και το αστικό περιβάλλον : φάρδος των δρόμων, υλικό κτιρίων, εμφάνιση κτιριακών σχηματισμών κλπ.

Για την μικροκυψελωτή πρόβλεψη υπάρχουν ειδικά μοντέλα, που βασίζονται σε εμπειρικές μεθόδους οι οποίες μεταφέρθηκαν σε μαθηματικές φόρμουλες.

2.5.5 Διάδοση σε εσωτερικού χώρους

Η διάδοση σε εσωτερικούς χώρους είναι σύνθετο φαινόμενο. Μερικές φορές υπάρχουν τροχιές LOS, αλλά γενικώς είναι του τύπου NLOS, διότι μπλοκάρει η απ'ευθείας διάδοση από τους τοίχους, το έδαφος, και άλλα αντικείμενα, όπου το σήμα μεταδίδεται μέχρι τον λήπτη μέσω διαφόρων διαδρομών, διάχυσης, διάθλασης και αντανάκλασης. Τα μοντέλα πρόβλεψης της διάδοσης που υπάρχουν έχουν κατασκευαστεί ύστερα από πειραματικές μετρήσεις, αφού το κλασικό μοντέλο μέσω ακτινών είναι ακατάλληλο λόγω της πολυπλοκότητας του.

ΜΟΝΤΕΛΟ 2 COST231

Είναι το πιο πλήρες μοντέλο με τη μεγαλύτερη ακρίβεια αν και ακόμη βρίσκεται στο στάδιο της μελέτης. Υπολογίζει αναλυτικά την ελάττωση του σήματος που προκαλείται εξ'αιτίας των τοίχων και του ταβανιού. Αυτό το κάνει να είναι κάπως πιο πολύπλοκο στην χρήση του, αφού χρειάζεται να διαθέτει κανείς τα σχέδια του κτιρίου και πληροφορίες όσον αφορά το υλικό κατασκευής του.

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η απώλεια σήματος σε εσωτερικούς χώρους δίδεται από την εξίσωση του παρακάτω σχήματος.

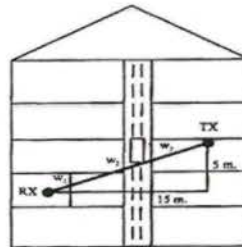
$$L = L_0 + 10n \log d + \sum_{i=1}^I k_{fi} L_{fi} + \sum_{j=1}^J k_{wj} L_{wj}$$

Donde:

- d : Distancia (m).
- n : Índice de variación de la potencia con la distancia.
- L_0 : Pérdidas en un punto de referencia (1 m de distancia).
- L_{fi} : Factor de pérdidas para el piso de tipo i .
- L_{wj} : Factor de pérdidas para una pared de tipo j .
- k_{fi} : Número de pisos de tipo i atravesados.
- k_{wj} : Número de paredes de tipo j atravesadas.
- I : Número de tipos de pisos.
- J : Número de tipos de paredes.

Σχήμα 2.227

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται το απλό σχήμα ενός κτιρίου και η θέση του μεταδότη και του λήπτη καθώς και οι αποστάσεις, τα διαμερίσματα και οι τοίχοι που πρέπει να υπολογιστούν για την εφαρμογή του μοντέλου.



Σχήμα 2.28



Propagation table, RACE model								
Frequency f (MHz):	1800	BS Ant. height h _b (m):			25	MS Ant. height h _m (m):		
Cluster class:	U2	U1	S3	S2	S1	F2	O2	W
Corr. factor L _c (dB):	0	3	8	5	11	0	10	20
Path loss L (dB)	Range							
	d (km)							
120	0,37	0,45	0,62	0,51	0,78	0,68	1,27	2,41
121	0,40	0,48	0,68	0,55	0,81	0,71	1,35	2,57
122	0,42	0,51	0,71	0,58	0,88	0,78	1,44	2,74
123	0,45	0,55	0,78	0,62	0,92	0,81	1,54	2,92
124	0,48	0,58	0,81	0,68	0,98	0,88	1,64	3,12
125	0,51	0,62	0,88	0,71	1,04	0,92	1,75	3,33
126	0,55	0,68	0,92	0,78	1,11	0,98	1,88	3,55
127	0,58	0,71	0,98	0,81	1,19	1,04	1,99	3,78
128	0,62	0,78	1,04	0,88	1,27	1,11	2,12	4,03
129	0,68	0,81	1,11	0,92	1,35	1,19	2,28	4,30
130	0,71	0,88	1,19	0,98	1,44	1,27	2,41	4,59
131	0,78	0,92	1,27	1,04	1,54	1,35	2,57	4,89
132	0,81	0,98	1,35	1,11	1,64	1,44	2,74	5,22
133	0,88	1,04	1,44	1,19	1,75	1,54	2,92	5,57
134	0,92	1,11	1,54	1,27	1,88	1,64	3,12	5,94
135	0,98	1,19	1,64	1,35	1,99	1,75	3,33	6,33
136	1,04	1,27	1,75	1,44	2,12	1,88	3,55	6,76
137	1,11	1,35	1,88	1,54	2,28	1,99	3,78	7,20
138	1,19	1,44	1,99	1,64	2,41	2,12	4,03	7,68
139	1,27	1,54	2,12	1,75	2,57	2,28	4,30	8,20
140	1,35	1,64	2,28	1,88	2,74	2,41	4,59	8,74

Σχήμα 2.32

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται καθαρά ότι η έκταση κάθε cell είναι πολύ μικρότερη για GSM1800, γεγονός που σημαίνει ότι η πυκνότητα των sites θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη.

2.6.2 Εξοπλισμός κυψελοειδούς σχεδιασμού

Επιτρέπει ένα πιο λεπτομερή και πιο ακριβή σχεδιασμό μετά το πρώτο nominal plan, το οποίο έγινε στην ουσία “στο πόδι” και ήταν ιδιαίτερα υποκειμενικό. Ο πιο κοινός εξοπλισμός βασίζεται σε στατιστικά μοντέλα διάδοσης και συγκεκριμένα, προέρχεται από το εμπειρικό μοντέλο Okumura-Hata. Επίσης, υπάρχουν μοντέλα ορισμένου τύπου, τα οποία υπολογίζουν τα μεμονωμένα κτίρια και χρησιμοποιούν τεχνικές τηλεμέτρησης και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην μικροκυψελωτή πρόβλεψη.

Ο εξοπλισμός αυτός προβλέπει το βεληνεκές κάθε σταθμού-βάσης ώστε να επιτευχθεί κάλυψη indoor, incar, outdoor, και τούτο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο συνυπολογιζόμενο πάνω στο clutter. Επίσης, δείχνει ποιο είναι το cell από το οποίο εξυπηρετείται κάθε σημείο ξεχωρίζοντας ποιος είναι ο καλύτερος “παροχέας”. Επιτρέπει επίσης να γνωρίζουμε τα όρια του βεληνεκούς κάθε κυψέλης, πράγμα χρήσιμο κατά την επεξεργασία της λίστας των “γειτόνων” (γειτονικών cells), για τα Handover και για το σχεδιασμό των συχνοτήτων.

Παρά ταύτα, η μορφολογία του εδάφους και τα χαρακτηριστικά των clutters μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα και να επηρεάζουν την ράδιο-διάδοση. Γι' αυτό, είναι αναγκαίο ο εξοπλισμός να είναι ρυθμισμένος για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης. Η ρύθμιση γίνεται συγκεντρώνοντας ένα επαρκή αριθμό μετρήσεων με διαφορετικά ύψη κεραιών και συχνοτήτων, για όλα τα είδη περιβάλλοντος, διαφορετικές αποστάσεις, κλπ.

2.6.3 Μετρήσεις RF

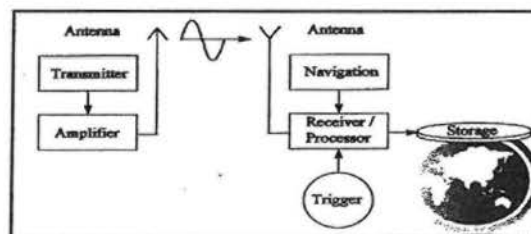
Βασικά γίνονται τριών ειδών μετρήσεις του RF στα συστήματα του GSM: μετρήσεις CW, μετρήσεις TMS και μετρήσεις Channel Sounder.

1. Μετρήσεις CW ,Carrier Wave Measurements

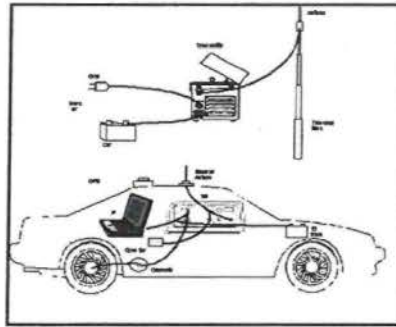
Χρησιμοποιούνται κυρίως για εξακρίβωση των επίμαχων σημείων κάλυψης και των περιοχών που βρίσκονται στα όρια των δυνατοτήτων κάλυψης, εξακρίβωση της βιωσιμότητας της μετάδοσης για την οποία υπάρχουν αμφιβολίες, ρύθμιση του εξοπλισμού και για τον σχεδιασμό των μικροκυβελών όταν δεν υπάρχει μοντέλο πρόβλεψης για αυτές.

Πριν γίνει η εγκατάσταση ενός νέου σταθμού βάσης στο δίκτυο GSM είναι απαραίτητο εκτός από την θεωρητική κάλυψη που παίρνουμε από διάφορα προγράμματα προσομοίωσης να γίνουν και μετρήσεις κάτω από κανονικές συνθήκες εκπομπής. Έτσι χρησιμοποιούμε κατάλληλο εξοπλισμό που μας επιτρέπει να δούμε τα όρια κάλυψης του νέου σταθμού χωρίς να έχει γίνει εγκατάσταση αυτού.

Η ιδέα είναι να τοποθετηθεί ένας μεταδότης με μια κεραία, μιμούμενη την κεραία του BTS. Αρχίζουμε τη εκπομπή σε μια συχνότητα που δεν δημιουργεί πρόβλημα στο δίκτυο και με το αυτοκίνητο κινούμαστε και καταγράφουμε την ένταση του λαμβανομένου σήματος, με διαστήματα τέτοια που να έχουμε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Το σύστημα διαθέτει ένα GPS (Σύστημα εντοπισμού θέσεως), κινητό τηλέφωνο, οδόμετρο και ένα φορητό υπολογιστή το οποίο έχει το κατάλληλο software με το οποίο είναι δυνατή η εισαγωγή και η αποθήκευση των μετρήσεων.



Σχήμα 2.33



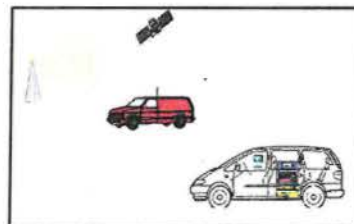
Σχήμα 2.34

2. Μετρήσεις TMS, Test Mobile System Measurements

Οι μετρήσεις TMS ή αλλιώς Tuning Measurements, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των παραμέτρων του συστήματος και της συμπεριφοράς των Handover, κυρίως κατά τη διάρκεια της φάσης της βελτιστοποίησης του δικτύου. Επίσης χρησιμοποιούνται για την αποδοχή του δικτύου από τον πελάτη. Πραγματοποιούνται όταν το δίκτυο ή τμήμα αυτού είναι σε λειτουργία.

Είναι μια διαδικασία μετρήσεων σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή, της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου καθώς και της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος GSM. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τις εξής δραστηριότητες: αναγνώριση σκιασμένων ζωνών και προβλημάτων ποιότητας του δικτύου, συνεχείς κλήσεις με σκοπό τον έλεγχο πρόσβασης σε κάθε κυψέλη, εξαναγκασμένες κλήσεις με σκοπό τον προσδιορισμό προβλημάτων κατά το Handover και βελτιστοποίηση κάποιων παραμέτρων του δικτύου.

Ο εξοπλισμός αυτού του είδους μετρήσεων αποτελείται από ρυθμισμένα κινητά τηλεφωνικά κέντρα, κεραίες λήψης, PCs με κατάλληλο software μετάφρασης και αποθήκευσης μετρήσεων καθώς και από ένα σύστημα πλοήγησης.



Σχήμα 2.35

3. Μετρήσεις Channel Sounder

Οι μετρήσεις αυτές αναλύουν την πολυδιαδρομική μετάδοση και την καθυστέρηση της μετάδοσης του σήματος.

2.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ-ΒΑΣΗΣ , BTSs

Όπως είναι φυσικό, όχι μόνο πρέπει να δημιουργηθεί το καλύτερο δίκτυο με την καλύτερη δυνατή κάλυψη και μέγιστη δυνατή ποιότητα, αλλά αυτό πρέπει να γίνει σε ελάχιστο χρονικό διάστημα και με το μικρότερο δυνατό κόστος. Συνήθως τα ζητήματα αυτά είναι συμπληρωματικά, και γι' αυτό, πολλές φορές πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη σημασία σε ένα από αυτά, επιλογή ενός υποψηφίου ο οποίος εξασφαλίζει όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά για την άριστη λειτουργία του δικτύου με υψηλό, όμως κόστος και συνεπώς καθυστέρηση σύναψης των συμβολαίων ή επιλογή ενός υποψηφίου, με εύκολους όρους σύμβασης και ελάχιστο κόστος όμως με όχι τόσο καλές προδιαγραφές για το δίκτυο. Εν πάση περιπτώσει, η καλύτερη λύση συνήθως είναι η ανάληψη της υποχρέωσης σε γενικότερο επίπεδο και που αφορά ολόκληρο το δίκτυο. Η επιλογή του χώρου και των υποψηφίων σταθμών είναι σημαντικός παράγοντας για την υλοποίηση του δικτύου.

Οι πιο σημαντικοί, λοιπόν, παράγοντες για την επιλογή του χώρου εγκατάστασης των BTSs είναι ένας συνδυασμός μεταξύ εκπλήρωσης των στόχων σχετικά με την ποιότητα του δικτύου και της κοινής λογικής.

• ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

Θα πρέπει να εκπληρωθούν στο μέγιστο οι προβλεπόμενοι στόχοι, όσον αφορά τους χώρους εγκατάστασης, δηλ, δεν θα πρέπει να υπάρχουν εμπόδια, κυρίως, στην κατεύθυνση προς τους επιθυμητούς χώρους κάλυψης. Επίσης, καλό είναι το σημείο εγκατάστασης να είναι λίγο ψηλότερο από την γύρω περιοχή ώστε το σήμα να διαδίδεται με μεγαλύτερη ευκολία, κυρίως όταν πρόκειται για μια πόλη.

Βέβαια αυτό δεν σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγεί το ψηλότερο κτίριο της περιοχής. Καλό υποψήφιο σημείο ή κτίριο (για την εγκατάσταση ενός σταθμού) είναι εκείνο το οποίο προσφέρει την κάλυψη για την οποία έχει σχεδιαστεί ο συγκεκριμένος σταθμός και όχι το σημείο που προσπαθεί να καλύψει μεγαλύτερη περιοχή από αυτή που έχει προγραμματιστεί. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αστικές περιοχές π.χ. πόλεις.

• ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Το υποψήφιο σημείο πρέπει να επιτρέπει την κάλυψη κυρίως εκείνων των περιοχών με το μεγαλύτερο αριθμό συνδρομητών, δηλ. των περιοχών εκείνων με την μεγαλύτερη κίνηση και που θα επιφέρουν τα μεγαλύτερα κέρδη.

Παρά ταύτα, η περιοχή που θέλουμε να καλύψουμε, θα πρέπει να είναι ανάλογη των δυνατοτήτων των εγκαταστάσεων. Π.χ. αν επιλεγεί ένα κτίριο πολύ ψηλό, μπορεί να καλύπτει περιοχές μεγαλύτερες του προβλεπόμενου με αποτέλεσμα να συντονίζονται πολλά κινητά σε έναν σταθμό και συνεπώς να επέλθει κορεσμός.

Επίσης, κατά την επιλογή, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και να εκτιμηθεί η ύπαρξη επιπλέον χώρου για την εγκατάσταση των μηχανημάτων σε περίπτωση ανάγκης διεύρυνσης λόγω αύξησης χωρητικότητας.

• ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Κατά την υπογραφή της σύμβασης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- Κρατικά κτίρια, κτίρια στρατού και εκκλησίες είναι αδύνατον να δοθούν για την εγκατάσταση κάποιου σταθμού ή σε αντίθετη περίπτωση, καθυστερεί πολύ η σύναψη συμφωνίας.
- Περιοχές υπό καθεστώς προστασίας, όπως δάση, πάρκα, καλύτερα να τις ξεχάσετε ή να διαπραγματευτείτε κατ'ευθείαν με τον αρμόδιο ώστε να προτείνουν αυτοί κάποιο εναλλακτικό σημείο.
- Κτίρια εταιριών, ξενοδοχικά συγκροτήματα κλπ. Η σύναψη συμβολαίου μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει δυνατότητα συμφωνίας όχι μόνο για το συγκεκριμένο σημείο αλλά και για άλλα σημεία τα οποία ανήκουν στον ίδιο όμιλο. Εκτός βέβαια αν έχουν συμβόλαια αποκλειστικότητας με άλλον operator ή ότι τέτοιου είδους συμφωνίες δεν είναι στην φιλοσοφία της εταιρίας.
- Τοποθεσίες όπου συνυπάρχουν και άλλες εταιρίες, συνήθως είναι εύκολες δεδομένου ότι οι κάτοχοί τους γνωρίζουν το θέμα ή ήδη έχουν πει το ναι σε κάποια άλλη φάση.
- Χρησιμοποίηση του χώρου κάποιου "φίλου" ίσως, τελικά, έχει πολλές γραφειοκρατικές διαδικασίες.
- Κτίρια υψηλού επιπέδου, συνήθως είναι δύσκολα για συμφωνία, αφού το χρήμα στις περιπτώσεις αυτές δεν μετράει.

Την πιθανότητα και την δυνατότητα κατασκευής δεν θα πρέπει να την αποκλείουμε. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες :

- Κατάσταση και παλαιότητα του κτιρίου, π.χ. θα πρέπει να αντέχει το βάρος του εξοπλισμού, των κεραιών, των στύλων και των υπόλοιπων μηχανημάτων.
- Ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος. Αν δεν έχει, η παροχή να μην είναι πολύ μακριά.
- Διάθεση όλων των στάνταρς που προβλέπονται στο σχεδιασμό, στύλους, πύργους, προστατευτικά κατασκευάσματα για τον εξοπλισμό.
- Ελαχιστοποίηση χρήσης των στύλων, της διαδρομής καλωδίων κλπ.
- Να υπάρχει ευκολία εξάπλωσης του εξοπλισμού, δυνατότητα αλλαγής. Και δεν πρέπει να ξεχνάμε τη συντήρηση του δικτύου.

Συνεπώς είναι αυτονόητο ότι χωρίς να υπάρχει συνεχής επικοινωνία μεταξύ των τομέων σχεδιασμού, απόκτησης χώρου και κατασκευής, δεν είναι δυνατόν το πρόγραμμα να λειτουργήσει.

2.8 ΔΟΜΗ ΚΕΛΙΟΥ

2.8.1 Δημιουργία και προσαρμογή της κυψελωτής δομής

Στην αρχική φάση τοποθέτησης του κυψελωτού συστήματος, επειδή η ζήτηση είναι μικρή, συμφέρει να υπερισχύει η κάλυψη (Coverage Driven) οπότε τοποθετούνται κυψέλες μεγαλύτερου μεγέθους και ένας αριθμός BTS όχι ιδιαίτερα μεγάλος. Σ'αυτή τη φάση είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η ακτίνα δράσης της κυψέλης, η οποία θα είναι η μέγιστη του συστήματος, αφού αυτό αποτελεί όρο μεταξύ κόστους και ποιότητας του συστήματος.

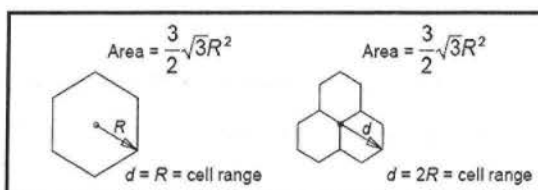
Αλλά όσο το σύστημα θα εξελίσσεται, θα αρχίσουν να εμφανίζονται οι ανάγκες για μεγαλύτερη χωρητικότητα λόγω της αύξησης των πελατών και σε κάποιες κυψέλες, κυρίως στα αστικά κέντρα, επέρχεται ο κορεσμός στην κίνηση, με αποτέλεσμα η πιθανότητα μπλοκαρίσματος να αυξάνεται. Τότε, θα πρέπει να εφοδιαστούν αυτές οι κυψέλες με περισσότερη ενέργεια, αυξάνοντας τον αριθμό των καναλιών και/ή δημιουργώντας κυψέλες μικρότερου μεγέθους.

Η αύξηση των κυψελών σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων επιτρέπει τα κυψελωτά δίκτυα να προσαρμόζονται στην αύξηση της ζήτησης χρησιμοποιώντας μια ζώνη φάσματος σχετικά περιορισμένη.

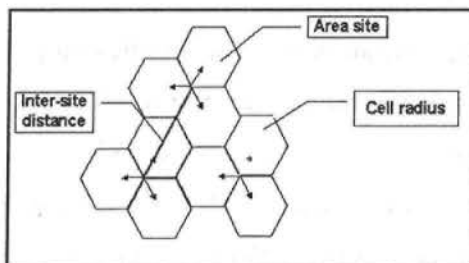
Η τμηματοποίηση μιας κυψέλης σφαιρικής κατεύθυνσης, είναι από μόνη της μια υποδιαίρεση και συνήθως είναι η πρώτη που γίνεται και σε κάποιες περιπτώσεις ξεκινάει από αυτή την υποδιαίρεση.

2.8.2 Τμηματοποίηση (SECTORIZATION)

Η τμηματοποίηση επιτρέπει την αύξηση της κάλυψης ανά site χάρη στην υψηλή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων κατευθύνσεων που παρέχει. Τρεις τομείς (sectors) με κεραίες των 60° και 18dBι κέρδος μπορούν να καλύψουν την διπλή έκταση από μία κυψέλη με κεραία omni των 10dBι κέρδος.



Σχήμα 2.36



Σχήμα 2.37

FINAL COVERAGE DIMENSIONING
 inter-site distance = 1,5 * R = 1,125 km
 Site area = 1,948 * R² = 1,096 km²
 Sites number = Total area / Site Area = 44,3 / 1,096 = 40

Οι σταθμοί σφαιρικής κατεύθυνσης, χρειάζονται μόνο όταν υπάρχουν οι παρακάτω συνθήκες:

- Η έκταση κάλυψης είναι περιορισμένη, π.χ. λόγω της ιδιομορφίας του εδάφους, αν και η ακτίνα της κεραίας omni είναι μεγαλύτερη.

- Σε περιπτώσεις όπου οι τομείς δεν παρέχουν αρκετή κάλυψη, π.χ. σ'ένα σταυροδρόμι εθνικών δρόμων.
- Όταν η ογκώδης τμηματοποιημένη κατασκευή δεν είναι δυνατόν να γίνει, π.χ. για λόγους αισθητικής.

Τα μειονεκτήματα της κεραίας σφαιρικής κατεύθυνσης σε σχέση με την τμηματοποίηση είναι, δυσκολία στο διαχωρισμό μεταξύ μετάδοσης και λήψης, αλλοίωση της κατεύθυνσης με αλλαγή της κατεύθυνσης της κεραίας και μείωση της ελαστικότητας κατά την βελτίωση του σήματος.

1) ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ Tx/Rx

Μεταξύ της κεραίας μετάδοσης και της κεραίας λήψης πρέπει να υπάρχει ένα κενό 40dB. Για να επιτευχθεί αυτό με κεραίες omni, η οριζόντια απόσταση μεταξύ των κεραιών συνήθως είναι αρκετά μεγάλη. Ο λόγος είναι ότι κάθε κεραία βρίσκεται στην ακτίνα δράσης της άλλης.

GAIN (dBd)	SEPARACION TX-RX (m) (40dB)	SEPARACION TX-TX (m) (20dB)
0	3.00	1.00
3	5.50	1.00
6	11.0	1.00
9	22.0	2.50
10	28.0	3.00

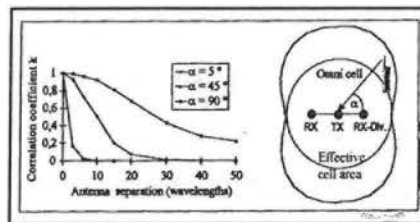
Σχήμα 2.30

Επειδή η απόσταση μεταξύ των κεραιών είναι μεγάλη, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί χρησιμοποιώντας κάθετα επίπεδα.

Ένα άλλο πρόβλημα των κεραιών σφαιρικής κατεύθυνσης είναι ότι δεν μπορούν να τοποθετηθούν στην πρόσοψη ενός κτιρίου.

2) ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Το διάγραμμα εκπομπής αντί να είναι κυκλικό, τείνει να έχει σχήμα οκτώ.

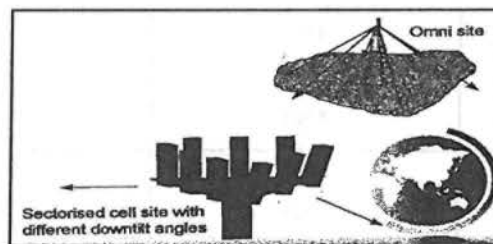


Σχήμα 2.38

3) ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

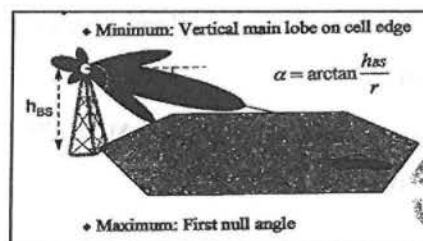
Αυτό είναι το κυριότερο πρόβλημα της χρήσης σφαιρικής κατεύθυνσης site :

- Υπάρχει μόνο ένα downtilt ηλεκτρικό και είναι το ίδιο για όλο το cell
- Υπάρχει μόνο ένα πακέτο παραμέτρων Handover και ισχύς για τις 360° στα όρια του cell
- Δεν μπορεί να μοιραστεί η κίνηση μεταξύ των sectors



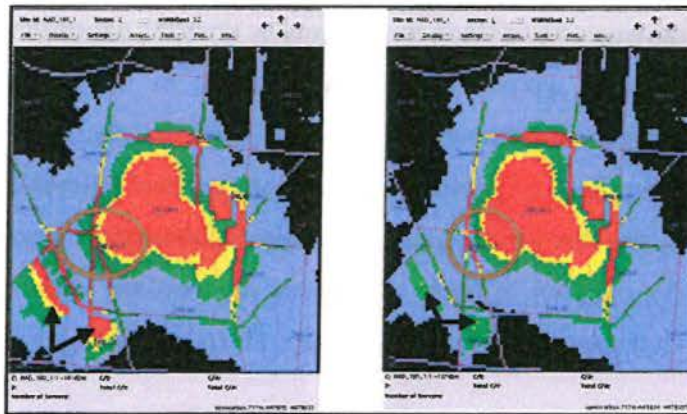
Σχήμα 2.39

Η δυνατότητα προσθήκης μηχανικού tilt επιτρέπει την καλύτερη κάλυψη της περιοχής που θέλουμε με την κεραία, οπότε, βελτιώνεται η κάλυψη και μειώνονται οι παρεμβολές.



Σχήμα 2.40

Εν πάσει περιπτώσει, το μηχανικό tilt προκαλεί μια παραμόρφωση του διαγράμματος της ακτίνας δράσης της κεραίας (radiation), η οποία είναι ανάλογη των βαθμών κλίσης που έχει. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν κεραίες με διαφορετικά ηλεκτρικά tilt, 0, 2, 4, 6°.... Στην πραγματικότητα η αντανάκλαστικότητα βοηθάει στο να επιλυθούν αυτές οι παραμορφώσεις και επιτρέπει την πλήρωση των κενών και των περιοχών που καλύπτει η ακτίνα δράσης της κεραίας με τη βοήθεια πλευρικών προεξοχών.



Σχήμα 2.41

2.8.3 Δίκτυο σε επίπεδα

Η αύξηση της κίνησης υποχρέωσε τους operators να μειώσουν το μέγεθος των κυψελών στις πόλεις σε ακτίνες μικρότερες του 1Km. Οι κυψέλες αυτές μπορούν να θεωρηθούν συμβατικές με τις κεραίες των σταθμών βάσης στο επάνω μέρος των κτιρίων. Ονομάζονται δε μακρο-κυψέλες (macro-cells).

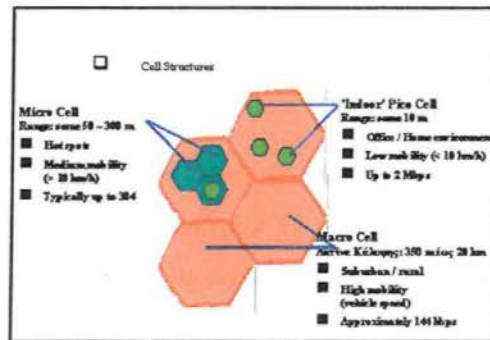
Όμως, σε κάποιες περιοχές, που βρίσκονται στο όριο κορεσμού, η περαιτέρω μείωση της ακτίνας δράσης δεν είναι καλή λύση για δύο βασικούς λόγους:

1. Προβλήματα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων. Το φαινόμενο του κυματοδηγού μπορεί να μεταφέρει το σήμα σε πιο απομακρυσμένα μέρη από ότι επιτρέπει η επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας.
2. Προβλήματα του handover με τα κινητά που κινούνται γρήγορα π.χ. εκείνα που βρίσκονται μέσα σε αυτοκίνητα, δεν προλαβαίνουν να κάνουν την αλλαγή κυψέλης.

Η λύση είναι η μετατροπή του δικτύου σε δίκτυο πολλαπλών στρωμάτων όπου είναι δυνατή η συνύπαρξη διαφορετικών δομών κυψέλης.

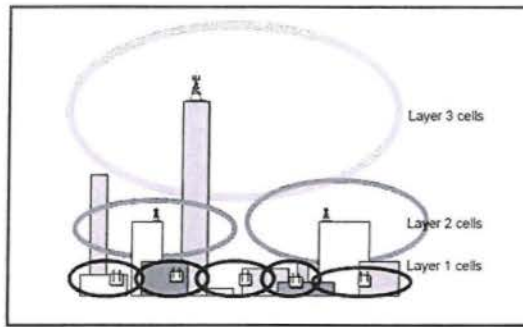
Στις περιοχές που βρίσκονται στα όρια κορεσμού είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν νέοι σταθμοί-βάσης. Εάν δεν είναι εφικτό να αυξηθεί η πυκνότητα των μακροκυψελών, οι νέοι σταθμοί-βάσης τοποθετούν τις κεραιές τους σε χαμηλό ύψος, στις προσόψεις των κτιρίων σε στύλους της ΔΕΗ, εκπέμποντας σε χαμηλή ισχύ, και με τέτοιο τρόπο ώστε η περιοχή που καλύπτει να είναι πολύ περιορισμένη και να μπορεί να απορροφά όλη την κίνηση, ελαχιστοποιώντας τις παρεμβολές. Τα κτίρια “εγκλωβίζουν” την ενέργεια και έτσι επιτυγχάνεται η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κοντινές αποστάσεις.

Δημιουργούνται έτσι οι μικρο-κυψέλες (micro-cells), οι οποίες χρησιμοποιούνται από σταθερά τηλέφωνα ή από τηλέφωνα που κινούνται αργά (πεζοί). Το πέρασμα της ενέργειας σε κάθετους δρόμους, δίνει το χρονικό περιθώριο για να γίνει η μεταβίβαση (handover). Εάν τοποθετηθεί πάνω από ένα σύνολο μικρο-κυψελών δημιουργείται η μακρο-κυψέλη, η οποία ονομάζεται κυψέλη-ομπρέλα, η οποία εξυπηρετεί την επιπλέον κίνηση των μικρο-κυψελών καθώς και τα πιο γρήγορα κινητά, και εξασφαλίζει την μεταβίβαση χωρίς διακοπές.



Σχήμα 2.42

Η κάλυψη μπορεί να είναι ακόμη πιο συγκεκριμένη. Στην περίπτωση αυτή έχουμε τις ονομαζόμενες πικο-κυψέλες (pico-cells). Με αυτές και με τη βοήθεια κεραιών indoor καλύπτεται ένα κτίριο ή τμήμα αυτού, π.χ. αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα κλπ

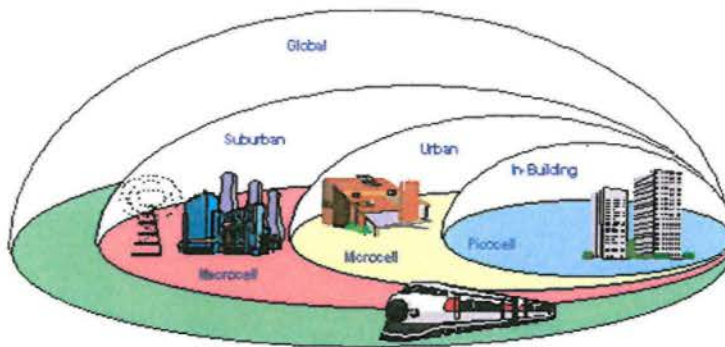


Σχήμα 2.43

Το σύστημα των πολλών επιπέδων εφαρμόζεται επίσης σε αγροτικές-ανοιχτές περιοχές. Στην περίπτωση αυτή, επιτρέπει την μείωση του αριθμού των BTS και εξυπηρετεί απόλυτα τα κινητά τα οποία έχουν υψηλές ταχύτητες, όπως οι χρήστες σε εθνικές οδούς. Η ιδέα είναι να υπάρχουν εγκαταστάσεις στο κέντρο των αγροτικών περιοχών ή των μεγάλων χωριών ώστε να υπάρχει μια καλή indoor λήψη και ψηλά μια κυψέλη-ομπρέλα, τοποθετημένη σ'ένα βουνό, για να καλύπτει τις περιοχές που είναι σε σκιά, μικρότερα χωριά και περιφερειακούς δρόμους.

Μ'αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η κάλυψη περιοχών που βρίσκονται στη σκιά των μικρών κυψελών, χωρίς να είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός BTS.

Εκτός αυτού, η κυψέλη-ομπρέλα, καλύπτει τα κινητά εκείνα που είναι ιδιαίτερα γρήγορα, αποφεύγοντας έτσι άσκοπες μεταβιβάσεις.



Σχήμα 2.44

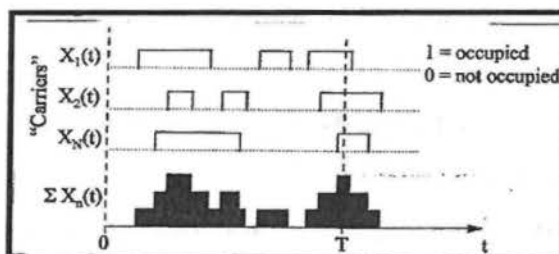
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

3.1 ΔΙΑΣΤΑΣΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

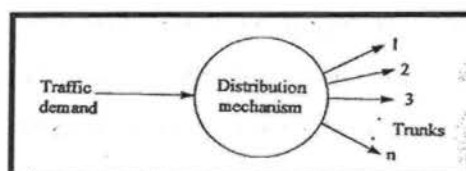
3.1.1 Βασική ορολογία κίνησης

- Οι τηλεφωνικές κλήσεις είναι μια διαδικασία τυχαία, στην οποία δεν γνωρίζουμε πότε θα γίνει η κλήση και πόση θα είναι η διάρκεια αυτής.



Σχήμα 3.1

- Trunk (κανάλι-μεταφορέας): είναι το μέσον το οποίο μπορεί να μεταφέρει μια τηλεφωνική κλήση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στο GSM είναι το TCH (traffic-channel).
- Ομάδα Trunks: μια ομάδα καναλιών (μεταφορέων) που μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση εισερχομένων κλήσεων.



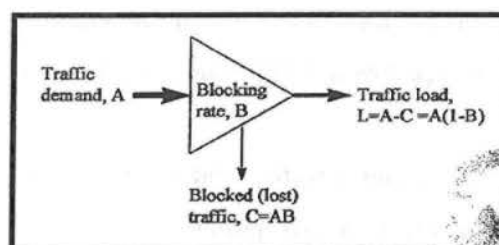
Σχήμα 3.2

- Τυχαία κλήση, όταν γίνεται προσπάθεια για τηλεφώνημα.
- Χρονικό διάστημα μεταξύ τυχαίων κλήσεων, T_A . Είναι το αντίστοιχο του δείκτη άφιξης, λ .
- Μέσος όρος του χρονικού διαστήματος holding, T_H . Είναι ο μέσος χρόνος διάρκειας της κλήσης, συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα τ .
- Δείκτης μπλοκαρίσματος, B (GOS, Grade Of Service). Είναι το σύνολο των κλήσεων που μπλοκάρονται λόγω του ότι τα κανάλια ήταν κατειλημένα τη στιγμή εκείνη.
- Ζητούμενη κίνηση (προσφερόμενη κίνηση, A). Η κίνηση που ζητά να μπει στο δίκτυο για να διοχετευθεί.

- Διοχετευμένη κίνηση (Traffic Load, L). Ο όγκος κυκλοφορίας που προκύπτει από τις κλήσεις που απαντήθηκαν.
- Η ολική διάρκεια της κυκλοφορίας (traffic) δίδεται σε Erlang-ώρες και είναι το άθροισμα όλων των χρόνων διάρκειας των κλήσεων κατά μία περίοδο παρακολούθησης T.
- Η κυκλοφορία (ή η πυκνότητα της κυκλοφορίας) υπολογίζεται σε Erlang, ο οποίος είναι ένας όρος χωρίς διάσταση και ισοδυναμεί με τη διάρκεια της κυκλοφορίας δια του χρόνου παρακολούθησης.
- Ωρα απασχόλησης (Busy Hour, BH), είναι το διάστημα μιας ώρας με την υψηλότερη κυκλοφορία της ημέρας.
- Κυκλοφορία του BH είναι αυτή που γίνεται κατά την ώρα περισσότερης απασχόλησης. Συνήθως, παίρνουμε το μέσο όρο της κυκλοφορίας που υπήρχε κατά τη διάρκεια της απασχόλησης για διάστημα 30 ημερών.
- Λαμβάνουμε επίσης υπόψη μας, a: το μέσο όρο κυκλοφορίας που σημειώθηκε, η: το ποσοστό των κλήσεων που πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία, m: το ποσοστό κλήσεων MS στο δίκτυο, PT, PD την πιθανότητα μπλοκαρίσματος για το TCH και για το SDCCH και αντίστοιχα a_t, a_s : την κυκλοφορία στο TCH και SDCCH.

3.1.2 Συστήματα απωλειών

Τα συστήματα απωλειών - Blocking Systems - είναι τα συστήματα εκείνα όπου οι ανεπιτυχείς προσπάθειες κλήσεων μπλοκάρονται και χάνονται. Εάν θέλουμε να γίνει η κλήση θα πρέπει να ξαναπροσπαθήσουμε. Απέναντι σε αυτά τα συστήματα, υπάρχουν τα συστήματα Queing Systems, στα οποία οι κλήσεις που δεν μπορούν να απαντηθούν μπαίνουν στη σειρά προτεραιότητας και διοχετεύονται όταν υπάρχει δυνατότητα.



Σχήμα 3.3

Το κυψελοειδές σύστημα GSM ανήκει στην πρώτη ομάδα.

Τα συστήματα απωλειών μελετούνται μέσω της φόρμουλας του Erlang-B, η οποία ορίζει μια σχέση μεταξύ του αριθμού των απωλειών B, της προσφερθείσας κίνησης A και του αριθμού

καναλιών που χρησιμοποιούνται N . Για να είναι έγκυρη θα πρέπει ο αριθμός των πηγών της κίνησης να είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από το N . Συνήθως η φόρμουλα Erlang-B χρησιμοποιείται σε μορφή πίνακα.

Οι βασικές εφαρμογές της ανωτέρω φόρμουλας είναι οι ακόλουθες :

1. Υπολογισμός του $n1$ των καναλιών N που είναι απαραίτητο για την υποστήριξη της ζητούμενης κίνησης A , δίδεται ένα Blocking Rate μέγιστο B .
2. Υπολογισμός της κυκλοφορίας-κίνησης A η οποία μπορεί να υποστηριχτεί από μια ομάδα trunk με N κανάλια, δίδεται μια B μέγιστη.
3. Απόκτηση Blocking Rate B η οποία προκύπτει όταν μία κυψέλη με N κανάλια δέχεται αυξημένη κίνηση A

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Σχήμα 3.4

3.1.3 Πρόβλεψη κίνησης

Για να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός ενός νέου δικτύου, είναι αναγκαίο να γίνει μια εκτίμηση της κίνησης που υποτίθεται ότι θα υπάρχει στο δίκτυο και η οποία θα πρέπει να καλυφθεί. Η εκτίμηση αυτή θα πρέπει να γίνει σε επίπεδο ζώνης, δηλ. να εκτιμηθεί η κίνηση ανά περιοχές ή ανά περιβάλλον, αλλά και σε σχέση με το χρόνο δηλ. Θα εξαρτηθεί και από το βαθμό διεύθυνσης του σήματος στο αντίστοιχο περιβάλλον. Η εκτίμηση αυτή είναι ο βασικός στόχος του σχεδίου marketing και είναι το σημείο εκκίνησης του σχεδιασμού του δικτύου.

♦ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ ΠΕΛΑΤΕΙΑΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ

Η εκτίμηση της διευσδυτικής ικανότητας του σήματος είναι βασική, εφόσον είτε μέσω άλλων δικτύων, είτε μέσω στατιστικών δεδομένων σχετικά με τους συνδρομητές, μπορεί κανείς να σκεφτεί ότι μπορεί να γίνει μια καλή εκτίμηση. Όμως για να αποκτήσει το δίκτυο συνδρομητές πρέπει να γνωρίζουμε πολλούς άλλους παράγοντες, όπως, δυνατότητα αγοράς

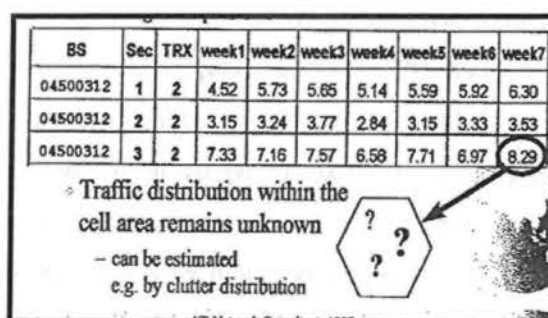
του προϊόντος, τιμή αυτού, ύπαρξη άλλων εταιριών – ανταγωνισμός, διαφήμιση, νοοτροπία πελατών, δυνατότητα ύπαρξης σταθερής τηλεφωνίας κλπ.

- ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΙΝΗΣΗΣ
 Προβλέπεται συγκεντρώνοντας διάφορα στοιχεία, όπως στοιχεία των κατοίκων, σχέδια μετακίνησης των κατοίκων, μακροπρόθεσμα ή βραχυπρόθεσμα, κατανομή των γραμμών της σταθερής τηλεφωνίας, στοιχεία σχετικά με τον περιβάλλοντα χώρο, μετρήσεις της κίνησης άλλων δικτύων (αν είναι δυνατόν).

3.1.3.1 Μετρήσεις κυκλοφορίας - κίνησης

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του MCS είναι η ικανότητα του να αποκτά στατιστικά δεδομένα του δικτύου εν ενεργεία. Τα στατιστικά αυτά ονομάζονται “στατιστικά MSC/OMC” και τμήμα αυτών αφορά αποτελέσματα της κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα μας επιτρέπουν να γνωρίζουμε τον όγκο της κυκλοφορίας ανά πάσα στιγμή σε κάθε κυψέλη, και αυτό είναι ένα βασικό εργαλείο για την βελτιστοποίηση του δικτύου και τον εντοπισμό των προβλημάτων που τυχόν υπάρχουν λόγω υπερφόρτωσης.

Τα στατιστικά, όμως αυτά δεν μας επιτρέπουν να γνωρίζουμε την κατανομή της κυκλοφορίας μέσα στην κυψέλη. Αυτό θα πρέπει να εκτιμηθεί από το clutter.



Σχήμα 3.5

Date	Subscribers	Penetration	Average mErI/sub	Network traffic (ErI)
Jul 95	42.000	0,1%	20	840
Jan 96	153.000	0,4%	19	2.907
Jul 96	247.000	0,6%	18	4.446
Jan 97	361.000	0,9%	17	6.137
Jul 97	522.000	1,3%	16	8.352
Jan 98	718.000	1,8%	16	11.488
Jul 98	860.000	2,2%	15	12.900
Jan 99	1.033.000	2,6%	15	15.495

Σχήμα 3.6

3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

3.2.1 Ολική διαστασοποίηση του δικτύου PLMN/GSM

Η μέθοδος διαστοποίησης ενός δικτύου PLMN/GSM, είναι μια εκτενής και πολύπλοκη διαδικασία, η οποία όμως μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω φάσεις :

1. Εκτίμηση της πυκνότητας της κυκλοφορίας την οποία θα πρέπει να μεταβιβάσει το δίκτυο στα κανάλια TCH (Traffic channel) και SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel).
2. Εκτίμηση των παραμέτρων κινητικότητας : δείκτες μεταβιβάσεων και εντοπισμός θέσης.
3. Διαστασοποίηση των σταθμών σύμφωνα με την πυκνότητα κυκλοφορίας και το βαθμό υπηρεσιών.
4. Διαστασοποίηση του σταθερού δικτύου για την μείωση του κόστους των κυκλωμάτων σύνδεσης (σε κάποιες περιπτώσεις η σύνδεση γίνεται μέσω μικροκυματικών).
5. Διαστασοποίηση των οργάνων που υποστηρίζουν τις λειτουργίες της κινητικότητας (HLR, VLR), της ασφάλειας (AUC, EIR) και της ποιότητας (OMC).
6. Διαμόρφωση της ροής των κλήσεων μέχρι να συνδεθούν με το PSTN.

3.2.2 Μοντέλο του ολικού δικτύου

Το ολικό GOS (Grade of Service) μιας επικοινωνίας μέσω μιας PLMN/GSM εξαρτάται από τις πιθανότητες μπλοκαρίσματος στο σταθερό δίκτυο και στο ράδιο-δίκτυο έτσι ώστε και τα δύο δίκτυα να διευρυνθούν για να καλύψουν το GOS που έχει υπολογισθεί.

Για τον υπολογισμό του GOS, υπολογίζουμε τη διαδρομή μεταξύ PSTN και MS. Έστω “p” η πιθανότητα απώλειας κάθε στοιχείου που απαρτίζει το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου του ίδιου συνδέσμου, “P” η υπάρχουσα πιθανότητα από το PSTN μέχρι την έξοδο κάθε στοιχείου και “G” ο βαθμός υπηρεσιών στη σημείο αυτό. Για ένα γενικό στοιχείο “i” έχουμε:

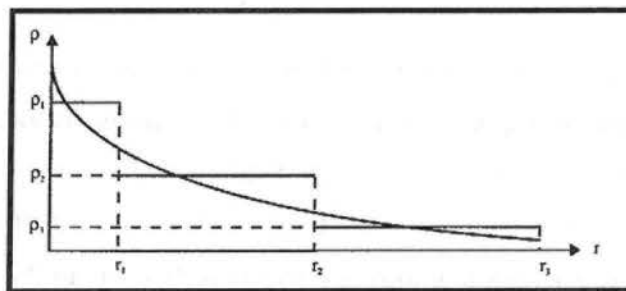
$$\begin{aligned} G_i &= G_{i-1} (1-p_i) \\ P_i &= 1 - G_i / 100 \end{aligned}$$

Για να κάνουμε υπολογισμό, πρώτα ορίζουμε την πιθανότητα απώλειας “P” και το GOS στο interface της ακτίνας δράσης του BTS στο MS. Εάν εφαρμόσουμε τους παραπάνω τύπους, έχουμε G_i και P_i . Κάθε GOS που αποκτάται συνδυάζεται με την πιθανότητα μπλοκαρίσματος κάθε στοιχείου του δικτύου, δημιουργώντας έτσι το νέο GOS και την ολική πιθανότητα P. Συνεχίζουμε έτσι μέχρι να φτάσουμε στην PSTN.

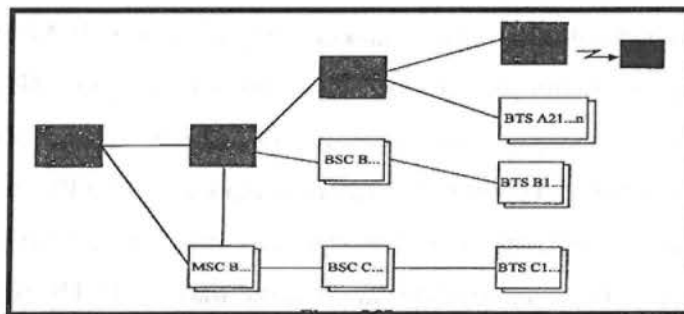
3.2.3 Μοντέλο Κίνησης (Κυκλοφορίας)

Το μοντέλο κυκλοφορίας (θα έπρεπε να υπολογίζεται από τα προγνωστικά), το οποίο υποτίθεται πως είναι κλιμακωτό, ήτοι μια ευρεία ζώνη σχεδίασης η οποία αποτελείται από μια πόλη, ένα προάστιο και μια αγροτική περιοχή, με αντίστοιχες δυναμικότητες ρ_1, ρ_2, ρ_3 (Erl/Km^2). Η δυναμικότητα αποκτά το μέγιστο βαθμό στο κέντρο των πόλεων και μειώνεται προς την περιφέρεια.

Το μοντέλο πρέπει να συμπεριλαμβάνει παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών όπως, πιθανότητα μπλοκαρίσματος, ποσοστό επιτυχημένων κλήσεων, όλα αυτά σε σχέση με τα κανάλια κυκλοφορίας και σηματοδότησης και που αναφέρονται στο ΒΗ.



Σχήμα 3.7



Σχήμα 3.8

Probabilidad de bloqueo del TCH, P_T	2 %
Probabilidad de bloqueo del SDCCH, P_D	0,2 %
Porcentaje de llamadas cursadas con éxito, η	80 %
Intensidad de tráfico por abonado, a	0,025E
Tráfico por TCH(EA), a_t	0,024E
Tráfico por SDCCH(EA), a_s	0,001E
Duración media de las llamadas, τ	120 s
Porcentaje de llamadas efectuadas desde MS, m	70 %
Actualizaciones de posición por MS y HC, LU	1,2
Tiempo de ocupación del SDCCH, τ_y	3,5 s

Σχήμα 3.9

Ο αριθμός των επιτυχημένων προσπαθειών κλήσεων – Successful Busy Hour Call Attempts – στο BTS, ανά κινητό, στη ΒΗ (Busy Hour) είναι:

$$SBHCA = 3600 \frac{a}{\tau}$$

και ο αριθμός των συνολικών προσπαθειών TBHCA (Total Busy Hour Call Attempts), σύνολο BHCA:

$$TBHCA = SBHCA \frac{100}{\eta}$$

όπου υπολογίζεται με τον παρακάτω τρόπο :

$$\eta = p(cob) \cdot p(no bloq) \cdot p(user ok)$$

Εάν M , θεωρείται ως ο αριθμός των κινητών τηλεφώνων στην προς υπολογισμό κυψέλη, ο αριθμός των προσβάσεων ανά δευτερόλεπτο στα κινητά και σταθερά δίκτυα , δίνονται αντίστοιχα από:

$$N_{m} = \frac{M \cdot m}{\eta} \frac{SBHCA}{3600}$$

$$N_{f} = \frac{M(100 - m)}{\eta} \frac{SBHCA}{3600}$$

Ο αριθμός των προσβάσεων ανά δευτερόλεπτο για την ενημέρωση της θέσης, υπολογίζεται από τη σχέση

$$N_{lu} = \frac{M \cdot LU}{3600}$$

όπου LU, Location Updating, είναι ο αριθμός εντοπισμών ανά κινητό τηλέφωνο, στην ΒΗ.

$$a_{lu} = N_{lu} \cdot \tau_s$$

Εάν ο μέσος όρος διάρκειας ενός εντοπισμού είναι τ_s , η πυκνότητα της κυκλοφορίας θα είναι:

Οπότε, η πυκνότητα της συνολικής κυκλοφορίας στο SDCCH, δίδεται από:

$$a_s = (N_{mn} + N_{fn} + N_{lu}) \cdot \tau_s$$

Οι διαφορετικοί παράμετροι που σχηματίζουν το μοντέλο, εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες και μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες:

- 1) Σ'αυτές που ορίζει ο operator, ανάλογα με τα κριτήρια ποιότητας P_D , P_T , η.
- 2) Αυτές που εξαρτώνται από τις συνήθειες και την κινητικότητα των συνδρομητών: τ , m , LU.
- 3) Αυτές που αποτελούν προϊόν σχεδιασμού και εξειδίκευσης του συστήματος : NT, τ_s .

3.2.4 Συμφόρηση του δικτύου

Για το σταθερό δίκτυο, από το PSTN έως το BTS, χρησιμοποιείται το μοντέλο απώλειας Erlang-B, οπότε η πιθανότητα μπλοκαρίσματος είναι $p_b = B(N, A)$. Όσον αφορά το μπλοκάρισμα μεταξύ δύο κλήσεων, αν και η τεχνολογία και το GSM δέχονται το να τοποθετηθούν σε σειρά οι κλήσεις, σε συγκεκριμένο βέβαια αριθμό, το φυσιολογικό είναι η επιλογή του δίαυλου να γίνει, επίσης, με κάποιο μοντέλο απωλειών. Εάν ο μέσος όρος

ραδιοηλεκτρικής κάλυψης της κυψέλης είναι P_c και P_b είναι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος στο BTS, η πιθανότητα απώλειας μιας διεπαφής θα είναι:

$$p = 1 - (1 - p_b) \cdot p_c$$

3.2.5 Παραδείγματα διαστασοποίησης των καναλιών

Διαστασοποίηση των καναλιών δεν είναι μόνο η τοποθέτηση του απαραίτητου αριθμού TRX ανά κελί, ανάλογα με την προβλεπόμενη κυκλοφορία αλλά είναι και θέμα αλληλοσύνδεσης μεταξύ λογικών και φυσικών καναλιών.

Παρακάτω, δίδονται δύο παραδείγματα διαστασοποίησης καναλιών και επιλογής του configuration αυτών:

1. Ένα BTS το οποίο διαθέτει 1 TRX, από τα 8 διαστήματα που διαθέτει ένα προορίζεται για το κοινό σήμα, BCCH και SDCCH και τα 7 για τα TCH.
- a) Από τον τύπο Erlang-B, για $\lambda = 7$ κανάλια, TCH και $P_b = 0,02$, δίδεται η αποδεκτή κίνηση του TCH 2,94 Erlang. Το νούμερο των κινητών υπολογίζεται βάση της κίνησης που είναι δυνατή από το TCH.

$$M = \frac{A}{a_t} = \frac{2.94}{0.024} = 122$$

- b) Ο πρώτος στόχος είναι να υπολογιστεί η κίνηση που θα προσφέρουν τα 122 κινητά ανά SDCCH, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι ικανοποιητικές προσπάθειες.

$$SBHCA = 3600 \cdot \frac{0.025}{120} = 0.75$$

- c) Με αυτό, έχοντας υπόψη το μοντέλο κίνησης (κυκλοφορίας) της παραγράφου 3.2.4 και τις εξισώσεις που βγήκαν από αυτό, είναι ήδη δυνατόν να υπολογισθεί το προσφερόμενο a_s :

$$N_{ms} = \frac{122 \cdot 70}{80} \cdot \frac{0,75}{3.600} = 0,022$$

$$N_{fs} = \frac{122 \cdot 30}{80} \cdot \frac{0,75}{3.600} = 0,009$$

$$N_{ts} = \frac{122 \cdot 42}{3.600} = 0,0407$$

$$a_s = (0,022 + 0,009 + 0,0407) \cdot 3,5 = 0,25E$$

Χρησιμοποιώντας ένα κανάλι μετάδοσης σήματος, κάνουμε χρήση της διαμόρφωσης (configuration) 5 του κεφαλαίου 1.3.4β, CCCH+SDCCH, η οποία δίδει μια χωρητικότητα 4 καναλιών. Επειδή η πιθανότητα μπλοκαρίσματος για το SDCCH είναι 0,2% , η κίνηση που μπορεί να δεχτεί είναι

$B^{-1}(4,0.002)=0.28Erl$, δείκτης πολύ μεγαλύτερος από τον όγκο της προσφερόμενης κίνησης $a_s=0.25Erl$. Γι'αυτό η προτεινόμενη διαμόρφωση είναι ικανοποιητική.

2. Στο παράδειγμα αυτό, παίρνουμε άλλο μοντέλο κίνησης, το οποίο ως αρχικά δεδομένα έχει 25mErl όγκου του TCH ανά συνδρομητή 4mErl όγκο SDCCH ανά συνδρομητή, με πιθανότητες μπλοκαρίσματος και για τις δύο περιπτώσεις 1%. Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε 1 κυψέλη με 2 TRX, θέλουμε να μάθουμε ποια διαμόρφωση είναι η κατάλληλη Α ή Β.

Cell with 2 TRX: 16 channels	
Configuration A	Configuration B
- 1 comb. CCCH/SDCCH → 4 SDCCH	- uncomb. CCCH
- 15 TCH	- 1 SDCCH/8 → 8 SDCCH
- 14 TCH	
offered TCH load at 1 % blocking 8.11 Erl → Subscriber: $8.11 / 0.025 = 324$	offered TCH load at 1 % blocking 7.35 Erl → Subscriber: $7.35 / 0.025 = 294$
offered SDCCH load at 1 % blocking 0.87 Erl → Subscriber: $0.87 / 0.004 = 218$	offered SDCCH load at 1 % blocking 3.13 Erl → Subscriber: $3.13 / 0.004 = 782$
→ SDCCH limited: 218 subscriber	→ TCH limited: 294 subscriber

Οπότε η καλύτερη διαμόρφωση είναι η Β

Οι στάνταρ διαμορφώσεις σε σχέση με το TRX είναι:

1 TRX → 1 BCCH, 7 TCH

2 TRX → 1 BCCH, 1 SDCCH, 14 TCH

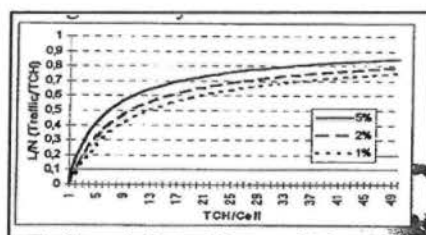
3 TRX → 1 BCCH, 1 SDCCH, 22 TCH

3 TRX → 1 BCCH, 2SDCCH, 29 TCH

Η σχέση μεταξύ κίνησης και TCH δεν είναι συνεχής, οπότε, η κίνηση ανά TCH αυξάνεται με τον αριθμό των TRX, όπως φαίνεται παρακάτω :

TRX/CELL L	TCH/CELL L	TRAFFIC/CELL (Erl) 2%G
1	7	2.940
2	15	9.010
3	22	14.90
4	30	21.93
5	37	28.30
6	45	35.61

Συμπέρασμα: το σχετικό κέρδος κίνησης (κυκλοφορίας), αυξάνοντας τον αριθμό των TRX είναι μικρότερο όσο μεγαλώνει το γκρουπ των TRX. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Trunking Efficiency. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρείται ότι το Trunking Gain είναι μεγαλύτερο για μικρές ομάδες TRX.



Σχήμα 3.10

3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

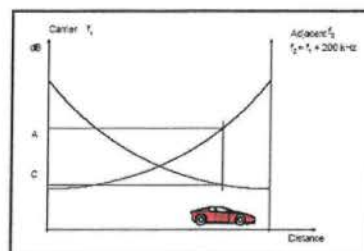
3.3.1 Εισαγωγή

Η σχεδίαση των συχνοτήτων στους κεντρικούς σταθμούς είναι ένα σημαντικό θέμα. Είναι γεγονός, ότι όλη θεωρία σχετικά με τις κυψέλες, εφαρμόστηκε με σκοπό τη βελτίωση των συχνοτήτων. Χάριν στην επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μπορούν να επιτευχθούν υψηλές χωρητικότητες στο δίκτυο παρά το περιορισμένο φάσμα. Εν τούτοις, η ίδια η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων είναι αυτή που απαιτεί ώστε ολόκληρο το σύστημα να συντηρείται με προσοχή, ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές. Σε αντίθετη περίπτωση, η ποιότητα θα είναι χαμηλή.

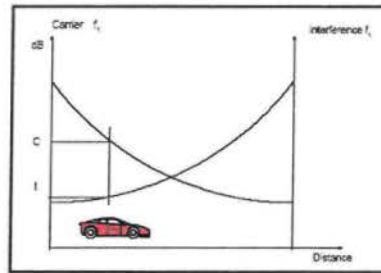
Ο στόχος της σχεδίασης και της μετέπειτα ρύθμισης των συχνοτήτων είναι να δοθεί σε κάθε κυψέλη ένα σύνολο συχνοτήτων ανάλογο με τον όγκο της κίνησης που θα πρέπει να εξυπηρετεί. Το σύνολο αυτό των συχνοτήτων αποτελεί το επονομαζόμενο “vector” απαιτήσεων ή αναθέσεις. Τούτο θα πρέπει να είναι συντονισμένο με τα άλλα σύνολα, άλλων κυψελών του συστήματος έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των σχέσεων προστασίας co-channel interference και από γειτονικά κανάλια (adjacent channel interference)

Η προστασία co-channel επιτυγχάνεται με την επιλογή του μεγέθους και του είδους της γκρουποποίησης κυψελών και τον έλεγχο της κάλυψης των κεντρικών σταθμών.

Όμως, εκτός από co-channel, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η παρεμβολή μεταξύ γειτονικών καναλιών – adjacent channels, ο έλεγχος των οποίων αναγκάζει την επιβολή περιορισμών στην διανομή συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες.



Adjacent channel Interference



Co-channel Interference

Για την εγγύηση προστασίας από παρεμβολές γειτονικών καναλιών απαιτείται η διαφορά μεταξύ των διανεμηθέντων συχνοτήτων στις κυψέλες να είναι:

1. Μεγαλύτερη ή ίση των τριών καναλιών μέσα στην ίδια κυψέλη.
2. Μεγαλύτερη των τριών καναλιών σε κυψέλες του ίδιου site, δηλ., ανάμεσα στα sectors του ίδιου site.
3. Μεγαλύτερη του ενός καναλιού σε γειτονικές κυψέλες, δηλ., κυψέλες που γειτονεύουν με την συγκεκριμένη αλλά δεν ανήκουν στο ίδιο site με αυτήν.

Εν πάση περιπτώσει, εξ αιτίας του περιορισμού των διαθέσιμων συχνοτήτων, αυτοί οι περιορισμοί είναι χαλαροί, π.χ., επιτρέπεται μόνο ένα κανάλι για όλα τα γειτονεύοντα κανάλια.

Δεδομένου ότι τα κυψελοειδή δίκτυα έχουν δυνατότητα εθνικής κάλυψης πρέπει να προβλεφθεί ο συντονισμός των συχνοτήτων στα σύνορα, σε συνεργασία με τις γειτονικές χώρες, γεγονός που μπορεί να περιορίσει την παραχώρηση συχνοτήτων σε κεντρικούς σταθμούς που βρίσκονται κοντά στα σύνορα. Εξάλλου, λόγω της ύπαρξης πολλών εταιριών κινητής τηλεφωνίας, σε εθνικό επίπεδο, ίσως υπάρξουν και περιορισμοί χρήσης συγκεκριμένων τοποθεσιών.

Τέλος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη περιστασιακές παρεμβολές από και προς άλλα συστήματα ραδιοεπικοινωνίας που εκπέμπουν σε γειτονικές συχνότητες, π.χ. στρατός.

3.3.2 Προτάσεις GSM

Η πρόταση της συνθήκης GSM 05.05 καθορίζει τις σχέσεις του σχήματος 3.11, οι οποίες αφορούν την προστασία Φέρουσας έναντι Παρεμβολής.

Interference type	Carrier spacing (kHz)	C/I	
Co-channel	0	9	C/I_c
1st adjacent channel	200	-9	C/I_{A1}
2nd adjacent channel	400	-41	
3rd adjacent channel	600	-49	

Σχήμα 3.11

Στην πρακτική εφαρμόζονται μόνο οι δύο πρώτες σχέσεις. Με τις συγκεκριμένες σχέσεις Φορέα – Παρεμβολή, ο κανόνας καθορίζει τη λίστα, σχήμα 3.12, που αφορά τους δείκτες σφάλματος των bit και τις σχέσεις των διαφορετικών τύπων καναλιών που πρέπει να εξασφαλιστούν για τις διάφορες συνθήκες μετάδοσης του σήματος.

Channel		Propagation Conditions				
		TU 1.5 no FH	TU 1.5 ideal FH	TU 50 no FH	TU 50 ideal FH	RA250 no FH
SDCCH	FER	22 %	9%	9%	9%	8%
RACH	FER	15 %	15%	16%	16%	13%
SCH	FER	17 %	17%	19%	19%	18%
TCH/F9.6kH4.8	BER	8 %	0.3%	0.8%	0.3%	0.2%
TCH/F4.8	BER	3 %	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
TCH/F2.4	BER	3 %	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
TCH/H2.4	FER	4 %	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
TCH/FS	FER	21α%	3α%	3α%	3α%	3α%
class 1b	RBER	(2/α)%	(0.2/α)%	(0.25/α)%	(0.25/α)%	(0.2/α)%
class II	RBER	4%	8%	8.1%	8.1%	8%

Σχήμα 3.12

3.3.3 Όρια του FADING

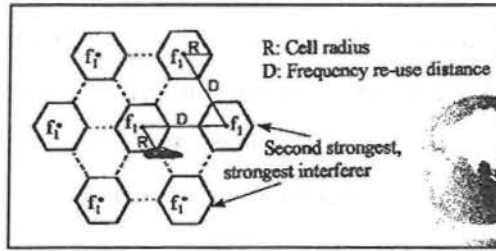
Αυτές οι συνθήκες μετάδοσης λαμβάνουν υπόψη τους τα αποτελέσματα της μετάδοσης μέσω πολλαπλών διαδρομών, Rayleigh Fading και το αποτέλεσμα Doppler, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με το Lognormal Fading. Έτσι τα όρια του L.F. πρέπει να προστεθούν στις σχέσεις προστασίας.

Και τα δύο σήματα, τόσο το επιθυμητό όσο και το παρεμβαλλόμενο, έχουν άμεση σχέση με το Lognormal Fading, οπότε η χειρότερη περίπτωση είναι ακόμη χειρότερη. Συνεπώς, τα όρια του fading που απαιτούνται θα είναι υψηλότερα από αυτά που εφαρμόζονται στους λήπτες κατά τη σχεδίαση κάλυψης. Οπότε αν ο στόχος του σχεδιασμού είναι μια “πολύ καλή ποιότητα”, δηλ. ένα 5% το πολύ παρεμβολών στην κυψέλη ή 95% μη ύπαρξη παρεμβολών, 12dB ορίου είναι τα απαιτούμενα.

3.3.4 Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης

Για μια επιθυμητή σχέση C/I (σχέση Φορέα-Παρεμβολής), η ερώτηση είναι: Ποια είναι η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των BTS που χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια ?

Κάθε κυψέλη επηρεάζεται από πολλές παρεμβολές. Για να απλοποιηθεί η δυσκολία στους υπολογισμούς, λαμβάνονται υπόψη μόνο 2 σήματα-παρεμβαλλόμενα, τα πιο ισχυρά. Ο σκοπός που πρέπει να εκπληρώσουμε ώστε να πετύχουμε καλή ποιότητα, είναι να έχουμε μια σχέση C/I ίση ή μεγαλύτερη των 21dB. Αυτό σημαίνει μια καλή σχέση D/R και ένα καλό μέγεθος cluster, δηλ., ένα σύνολο των κυψελών όπου να μην μπορούν να επαναληφθούν οι συχνότητες.



Σχήμα 3.13

Cell edge probability	Cell area probability	Margin for $\sigma = 10\text{dB}$
50 %	73 %	0
75 %	90 %	7 dB
90 %	96 %	13 dB
95 %	99 %	16 dB

Σχήμα 3.14

⇒ "Dynamic" C/I:

- $C/I_c = 9\text{dB} + 12\text{dB} = 21\text{dB}$
- $C/I_{A1} = -9\text{dB} + 12\text{dB} = 3\text{dB}$

Σχήμα 3.15

D/R:	C/I (dB)	Cluster-size	
1.73	-3.0	1	- Homogeneous, hexagonal cell structure - 2 strongest interferers
3.00	8.9	3	
3.46	11.6	4	
4.58	16.9	7	
5.20	19.0	9	
6.00	21.7	12	- Hata propagation model - $h_{max} = 40\text{ m}$
6.24	22.2	13	
6.93	24.0	16	
7.55	25.6	19	

Σχήμα 3.16

◊ Achievable C/I for given D/R

D/R:	C/I (dB)	Cluster-size
6.00	16.0	12
6.24	15.9	13
6.93	19.1	16
7.55	19.7	19
7.94	21.3	21

- Homogeneous, hexagonal cell structure
- 2 strongest interferers
- Hata propagation model
- $h_{max} = 40\text{ m}$
- 65° -sector antennas

Σχήμα 3.17

3.3.5 Τμηματική επαναχρησιμοποίηση για BCCH και TCH

Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι – τρόποι επαναχρησιμοποίησης για τους φορείς του BCCH και TCH μια και οι τρόποι επαναχρησιμοποίησης που έχουν υπολογισθεί θεωρητικά, μπορούν να βελτιωθούν για συχνότητες του TCH, για τις οποίες υπάρχουν διάφορα χαρακτηριστικά του συστήματος που μπορούν να βελτιώσουν τα ζητήματα που έχουν σχέση με τις παρεμβολές αυτών.

- Δυναμικός έλεγχος της ισχύος του RF, RFPC

Η μείωση της ισχύος της μετάδοσης του RF όταν είναι ιδιαίτερα υψηλή επιτρέπει μια βελτίωση από 3 σε 7 dB στη σχέση C/I.

- Μετάδοση Διακοπτόμενη DTX

Οι αναμεταδότες οι οποίοι είναι ανενεργοί κατά τη διάρκεια που δεν υπάρχει επικοινωνία, πετυχαίνουν μια βελτίωση από 2-3dB στη C/I

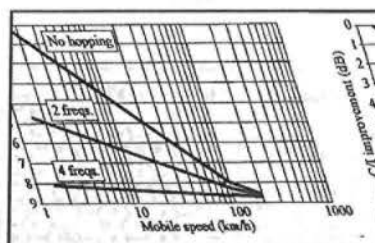
- FREQUENCY HOPPING, FH

Η συνεχής αλλαγή φορέων συχνοτήτων κατά την περίοδο της κλίσης επίσης επιφέρει βελτίωση, η οποία όμως εξαρτάται από το νούμερο των φορέων και από την ταχύτητα του κινητού.

Η ισχύς του downlink του TRX μεταφορέα του BCCH, πρέπει να είναι συνεχώς η μέγιστη, χρησιμοποιείται για την επιλογή του κελιού στο setup της κλίσης, του handover.... Συνεπώς, τα προηγούμενα χαρακτηριστικά δεν εφαρμόζονται σ' αυτό το TRX.

Με τους τρεις προαναφερθέντες τρόπους βελτίωσης και με “συντηρητικό” τρόπο σκέψης, επιτυγχάνεται μια σχέση C/I τμηματική από 21dB (BCCH) και 16dB (TCH) και μια μείωση του μεγέθους του cluster σημαντική.

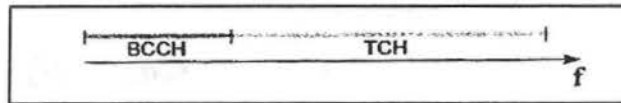
Παρά ταύτα, με τη χρήση ενός FH κάπως “επιθετικού”, τα clusters επαναχρησιμοποίησης του 1/3 μπορούν να δοκιμαστούν ικανοποιητικά.



Σχήμα 3.18

3.3.6 Φασματική ικανότητα

Η δυνατότητα του φάσματος παρέχει τη δυνατότητα κίνησης σε κάθε μονάδα της περιοχής, δηλ., πυκνότητα κίνησης που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα δεδομένο φάσμα συχνοτήτων.



Σχήμα 3.19

Όπου S =φασματική δυνατότητα, A = η κίνηση, Sup = η περιοχή και BW = το καταληφθέν φάσμα.

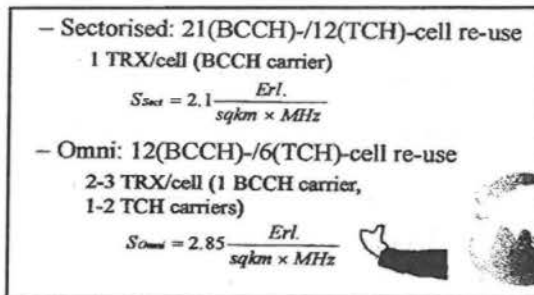
$$S = \frac{A}{Sup \times BW} \left\langle \frac{ErI}{Km^2 \times MHz} \right\rangle$$

Η δυνατότητα του φάσματος στη θεωρία μπορεί να αυξηθεί απεριόριστα αυξάνοντας την πυκνότητα των sites, αλλά όπως είδαμε φθάνει κάποια στιγμή που αυτό είναι πρόβλημα διότι αυξάνονται τα έξοδα και επίσης τα handover για κινητά σχετικά γρήγορα είναι περίπλοκα.

Για ένα δεδομένο δίκτυο, S είναι ένας δείκτης ποιότητας του σχεδίου: ένα δίκτυο με δυνατότητα φάσματος καλύτερη, μπορεί να απορροφήσει μεγαλύτερη κίνηση, με τη χρήση μιας δεδομένης δομής (νούμερο των sites), σε μια δεδομένη περιοχή και για μια μάλιστα συχνοτήτων δεδομένη.

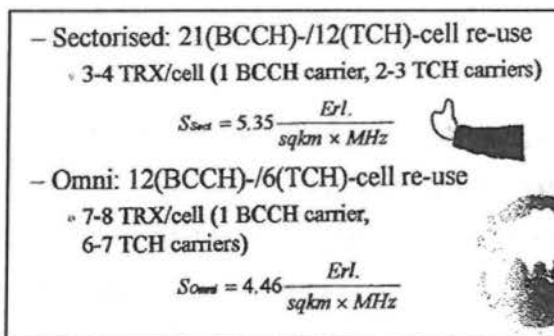
Για να βελτιώσουμε τη δυνατότητα του φάσματος, το φάσμα όπως και το cluster, θα έπρεπε να έχει τμηματοποιηθεί, αφήνοντας ένα τμήμα στο BCCH και ένα στο TCH. Έτσι κάποιο τμήμα της δυνατότητας του φάσματος θυσιάζεται, αλλά σε γενικές γραμμές επιτυγχάνεται μια βελτίωση.

Γενικώς, η τμηματοποίηση (sectorization) επιφέρει μια βελτίωση. Παρά ταύτα, ο ορισμός οππὶ βελτιώνει το θέμα όπου το φάσμα έχει μια περιορισμένη διαθεσιμότητα π.χ. ας υποθέσουμε δύο περιπτώσεις, μια κανονική περίπτωση με $2 \times 10 \text{ MHz}$ και μια ακραία περίπτωση με $2 \times 4,2 \text{ MHz}$ και για τις δύο περιπτώσεις υπάρχει η ίδια δομή, ένα δίκτυο με περιορισμένη δυνατότητα και μια πυκνότητα $1/1 \text{ Km}^2$.



Σχήμα 3.20

Η τμηματοποίηση (sectorization) έχει καλύτερα αποτελέσματα στην “φυσιολογική” περίπτωση, ενώ, στην “ακραία” περίπτωση αντιστρέφονται οι όροι.



Σχήμα 3.21

3.3.7 Εργαλεία Σχεδίασης

3.3.7.1 Ανάγκη

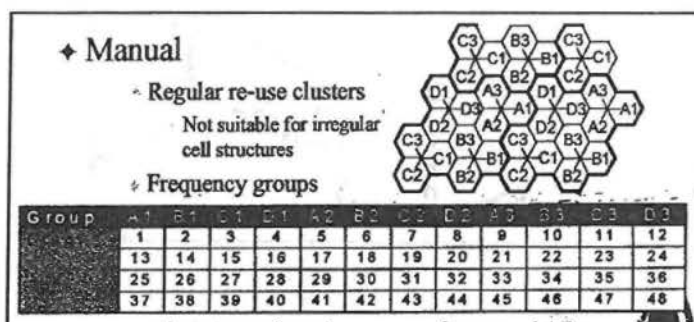
Βασικά υπάρχουν δύο τρόποι για να φθάσουμε στο σχέδιο των συχνοτήτων, δηλ. να διανέμουμε τις συχνότητες και την επαναχρησιμοποίηση τους σε όλα τα BTS του κυψελοειδούς συστήματος:

1. Με το χέρι

Ο σχεδιασμός με το χέρι είναι αποτελεσματικός σε ειδικές περιπτώσεις, όπως, σχεδιασμός μικρών sites, μικρές επεκτάσεις του TRX, ρύθμιση

Οι δύο κυριότερες τεχνικές είναι :

- Clusters κανονικής επαναχρησιμοποίησης
- Ομάδες συχνοτήτων



Σχήμα 3.22

Βέβαια, οι τεχνικές αυτές μπορούν να αλλάξουν όταν αλλάζουν οι συχνότητες, πράγμα που συμβαίνει όταν θέλουμε να βελτιώσουμε και να εξαπλώσουμε το σύστημα. Εξάλλου, οι τεχνικές αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στις συχνότητες.

2. Με τη βοήθεια κάποιου εργαλείου σχεδιασμού

Όταν ένα σύστημα αρχίζει να δημιουργεί προβλήματα, δηλ., υψηλό νούμερο sites, ανώμαλες δομές κλπ., η χρήση ενός εργαλείου σχεδιασμού κρίνεται απαραίτητη.

Τα πιο εμφανή πλεονεκτήματα αυτής της χρήσης είναι:

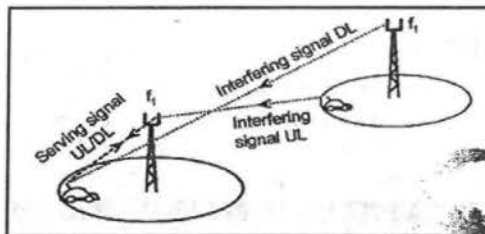
- Μεγαλύτερη ταχύτητα και σύμπτυξη
- Μεγαλύτερη ευελιξία κατά την αλλαγή των συχνοτήτων
- Υπολογισμός του “Local Spectrum Demand” για προβληματικές περιοχές.

Υπάρχουν, όμως, και κάποια μειονεκτήματα.

- Συστηματική ύπαρξη σφάλματος κατά τον υπολογισμό των παρεμβολών
- Δυσκολίες κατά τον σχεδιασμό των δικτύων πολλαπλών στρωμάτων εξαιτίας της ανάγκης λήψης διαφόρων λύσεων, διαφορετικών κριτηρίων C/I...
- Λύσεις με τη χρήση των επαναληπτών (repeaters)

3.3.7.2 Ανάλυση της παρεμβολής

Ο υπολογισμός της αρχικής εναρμόνισης των παρεμβολών είναι η βάση του αλγόριθμου της αυτόματης διανομής συχνοτήτων. Το αρχικό καλούπι (στέλεχος) συμπληρώνεται με τις υπάρχουσες σχέσεις παρεμβολών μεταξύ των κυψελών.



Σχήμα 3.23

Ο υπολογισμός του στελέχους όσον αφορά την κυψελοειδή μορφή γίνεται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο “καλύτερου παροχέα υπηρεσιών ενός ελάχιστου βήματος”. Για κάθε ζεύγος κελιών και με ένα δίκτυο Best Server, πραγματοποιούνται οι ακόλουθες ενέργειες.

→ Υπολογισμός C/I_c και C/I_{A1} για κάθε pixel.

→ Σύγκριση των τμημάτων της περιοχής του κελιού όπου υπάρχει παρεμβολή με το πρώτο βήμα προς και τις δύο κατευθύνσεις.

Η παρεμβολή μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική από περιοχή σε περιοχή για ένα κινητό. Έτσι, η τυποποίηση της παρεμβολής uplink είναι ιδιαίτερα περίπλοκη δεδομένου ότι η πηγή των παρεμβολών είναι ένα κινητό τηλέφωνο εν κινήσει, οπότε δεν υπολογίζεται και ασχολούμεθα μόνο με τις παρεμβολές του downlink.

- Interference relations between cells
(required channel spacings,
200kHz units):

Cell	1	2	3	4	...
1	2	1	0	2	
2	1	2	1	0	
3	1	1	2	2	
4	2	1	1	2	
...					...

- 0: Co-channel use allowed
- 1: Adjacent channel use allowed
- 2: Neither

Σχήμα 3.24 Πίνακας παρεμβολών

Ο πίνακας παρεμβολών περιγράφει μόνο την πιθανότητα ύπαρξης παρεμβολών μεταξύ δύο κυψελών στην περίπτωση που αυτά χρησιμοποιούν κοινά κανάλια ή γειτονικά κανάλια. Δεν περιγράφει, όμως, το σύνολο των παρεμβολών μετά την κατανομή των παρεμβολών.

Για να υπολογισθεί το σύνολο των παρεμβολών

→ υπολογίζεται το τμήμα της περιοχής του κελιού A/A' όπου υπάρχει η σχέση C/I_c ή C/I_{A1}

→ Συγκρίνεται με ένα συγκεκριμένο umbral (αρχικό νούμερο) π.χ. ένα 5% πιθανότητας παρεμβολής στην περιοχή του κελιού A .

Παρά ταύτα, η πλειονότητα των ψηφιακών εργαλείων, για να απλοποιήσουμε το θέμα, λαμβάνει υπόψη του τις δύο πιο δυνατές συχνότητες ή τη μία πιο ισχυρή συχνότητα. Αυτό

που διαθέτουν τα εργαλεία είναι η δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης της κατανομής C/I που προκύπτει από τον υπολογισμό.

Τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ψηφιακά εργαλεία στην ανάλυση των παρεμβολών είναι:

- Ανακρίβεια πρόβλεψης: το σφάλμα είναι μεγαλύτερο όταν ενώνονται τα σφάλματα πρόβλεψης σε επίπεδο παρεμβαλλόμενου σήματος και σήματος θύματος.
- Η παρεμβολή uplink δεν υπολογίζεται
- Ανεπάρκεια του μοντέλου Best Server: σε πολύ φορτωμένα δίκτυα δεν εξυπηρετεί, πολλές φορές, ο καλύτερος server.
- Ανάγκη ποικίλων λύσεων λόγω της ύπαρξης του δικτύου πολλαπλών πλακών.
- Ο χρόνος υπολογισμού συνήθως είναι μεγάλος, εξαρτώμενος βέβαια από την resolution και από την ακτίνα των παρεμβολών που υπολογίζεται (συνήθως 5Km για urban περιοχή , 20Km για ανοιχτή περιοχή)

Ο κανονικός υπολογισμός συμπεριλαμβάνει περιοχές όπου οι παρεμβολές είναι μηδαμινές (πριοχές χωρίς κίνηση, traffic). Επίσης, σε κάποιες περιοχές, ο υπολογισμός μπορεί να είναι περισσότερο ακριβής απ'ότι σε άλλες. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας έναν παράγοντα βάρους για κάθε pixel σε σχέση με την πυκνότητα της κίνησης.

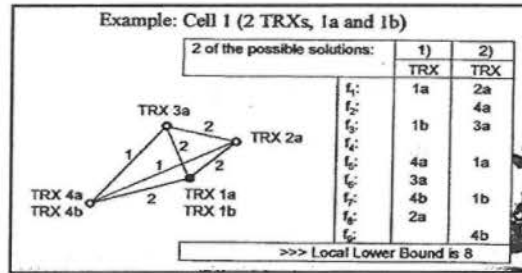
3.3.7.3 Κατανομή συχνοτήτων

Τα στοιχεία που χρειάζεται το ψηφιακό εργαλείο για να πραγματοποιήσει το σχεδιασμό των συχνοτήτων, είναι αυτά που χρειάζεται ο αλγόριθμος διανομής συχνοτήτων:

- Διαθέσιμες συχνοότητες που δίνονται στο σχέδιο
- Απαιτούμενος αριθμός συχνοτήτων σε κάθε κυψέλη και αν είναι για BCCH ή TCH
- Λίστα αναμενόμενων γειτονικών συχνοτήτων
- Βάρος του clutter
- Είδος παρεμβολών
- Σχέσεις προστασίας
- Σχέσεις ελάχιστου χώρου μεταξύ καναλιών
- Απαγορευμένες συχνοότητες

Οι αλγόριθμοι που περισσότερο χρησιμοποιούνται, αν και υπάρχουν αλγόριθμοι βασισμένοι σε γεωμετρικές μεθόδους, είναι οι "heuristics". Είναι ταχείς, αλλά, μπορεί να δημιουργήσουν μόνο μέτριες κατανομές. Λύνουν το γενικό πρόβλημα της κατανομής, δημιουργώντας μικρά,

τοπικά προβλήματα. Το πιο γνωστό και που περισσότερο χρησιμοποιείται είναι το Local Lower Bounds Algorithm, κάτι σαν “αλγόριθμος του μικρότερου αριθμού των τοπικών γειτόνων”.



Σχήμα 3.25

Εφαρμοζόμενος ο αλγόριθμος, επιτυγχάνεται η κατανομή των συχνοτήτων της κάθε κυψέλης καθώς επίσης και των γειτόνων της κάθε κυψέλης. Ψηλοί δείκτες LLB σημαίνει πρόβλημα στην περιοχή του δικτύου που προκλήθηκε από την ανομοιογένεια του δικτύου:

- πάρα πολλές παρεμβολές
- πάρα πολλές γειτονικές σχέσεις
- μεγάλη ζήτηση TRX
- μη κατάλληλη κατανομή συχνοτήτων

Ο επανασχεδιασμός σ' αυτήν την περίπτωση ίσως να είναι αναγκαίος.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

→ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Πρόκειται για ένα “fine tuning” της δομής του δικτύου που ήδη υπάρχει. Αφορά την βελτίωση λειτουργίας του δικτύου σε σχέση με την επιθυμητή ποιότητα αλλά χωρίς την ενσωμάτωση νέας δομής υψηλού επιπέδου.

→ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Είναι η επέκταση του δικτύου σε νέες περιοχές ή η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών σε περιοχές που ήδη καλύπτονται αλλά με την προσθήκη περισσότερων στοιχείων.

4.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ

4.2.1 Εισαγωγή

Είναι απαραίτητη η ύπαρξη σχέσης μεταξύ του σχεδιασμού του δικτύου και της βελτίωσης αυτού. Ένα λεπτομερώς επεξεργασμένο σχέδιο και ένας καλός σχεδιασμός μπορούν να μειώσουν κατά πολύ το κόστος της μετέπειτα βελτίωσης. Εξάλλου, σε ένα δίκτυο φτωχά σχεδιασμένο, τα αποτελέσματα της βελτίωσης θα είναι ελάχιστα.

Είναι φανερό, λοιπόν, ότι πρέπει να υπάρχει στενή σχέση μεταξύ των δύο ενεργειών:

- ❖ Οι αρμόδιοι σχεδιασμού του δικτύου πρέπει να έχουν σχέση και με τη βελτίωση, μιας και είναι αυτοί που γνωρίζουν εκ βάθρων το δίκτυο και γνωρίζουν τα προβλήματα που τυχόν θα παρουσιαστούν.
- ❖ Τα αποτελέσματα της βελτίωσης πρέπει να προβλέπουν προς τον σχεδιασμό. Η διαδικασία εγκατάστασης του δικτύου συνήθως γίνεται σε φάσεις, οπότε, τα αποτελέσματα της βελτίωσης μπορούν να φανούν χρήσιμα από την πρώτη φάση, ώστε έτσι να βοηθηθεί ο σχεδιασμός των επόμενων φάσεων.

Αλλά, γιατί πραγματικά είναι απαραίτητη η βελτίωση?

Στη συνέχεια, αναφέρονται, τα πιο συχνά σφάλματα που έχουν ληφθεί είτε κατά την διάρκεια του σχεδιασμού ή παρουσιάστηκαν κατά την εγκατάσταση:

- Συστηματική ανακρίβεια: βάση δεδομένων, αλγόριθμος πρόβλεψης ...
- Στατιστικές εφαρμογές
- Υποθετικές αναφορές

- Ανθρώπινα σφάλματα, στην εισαγωγή δεδομένων, εγκατάστασης ...
- Σφάλματα συστημάτων, hardware, software.

4.2.2 Φάσεις βελτίωσης

Η βελτίωση μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις :

1. ΑΡΧΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

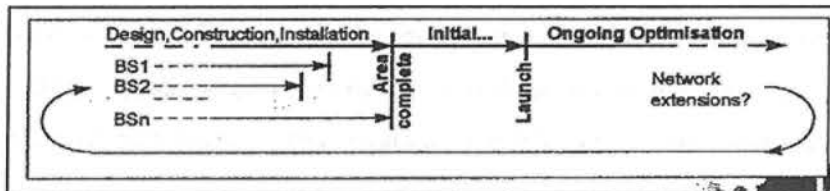
Ο σκοπός, στη φάση αυτή, είναι να αποκτηθεί η ελάχιστη ποιότητα για την εμπορική προώθηση.

2. ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Σκοπός της είναι να υπάρξει ένας συνεχής έλεγχος της ποιότητας και της βελτίωσης του δικτύου, καθώς και η επίτευξη της ανάπτυξης και της ωρίμανσης αυτού.

Οι τομείς που θα πρέπει να συνεργαστούν κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας είναι το τμήμα απόκτησης συμβολαίων, κατασκευής, εγκατάστασης, ελέγχου ποιότητας, marketing.

Η διαδικασία βελτίωσης διαιρείται σε δύο τμήματα, αν και στην πραγματικότητα, αυτό που αποτελούν είναι ένας κύκλος.



Σχήμα 4.1

→ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Πρέπει να καθοριστεί μια περιοχή που να περιλαμβάνει ένα υπο-δίκτυο, σχετικά σταθερό. Το ιδανικό είναι να περιέχει όλους τους σταθμούς βάσης, όλους τους γείτονες για handover που περιβάλλουν το δίκτυο αυτό, τα γειτονικά κανάλια και τα παρεμβαλλόμενα ίδια κανάλια εν λειτουργία. Σε αντίθετη περίπτωση, η βελτίωση δεν θα έχει τα αποτελέσματα που θα έπρεπε να είχε.

→ ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ BS

Θα πρέπει να ελεγχθεί και να δοκιμασθεί κάθε σταθμός βάσης που υπάρχει στο υπο-δίκτυο. Σκοπός είναι η επαλήθευση-πιστοποίηση της διαμόρφωσης του προς σχεδίαση δικτύου με το

ήδη υπάρχον και ο εντοπισμός και εξαφάνιση πιθανόν σφαλμάτων στα συστήματα και σφαλμάτων στην εγκατάσταση πριν αρχίσει η αυτή καθ'αυτή βελτίωση.

Οι επαληθεύσεις μπορούν να γίνουν ανά πάσα στιγμή από τους αρμόδιους της εγκατάστασης.

Οι πιο σημαντικοί έλεγχοι είναι :

- 1) Εγκατάσταση κεραιών :
 - ύψος, κατεύθυνση και tilt
- 2) Λειτουργίες και παράμετροι κυψέλης
 - συχνότητες BCCH και TCH
 - BSIC, CI, LAC
 - λίστα γειτονικών συχνοτήτων
 - παράμετροι HO και της ισχύος
 - Setup κλήσης και ποιότητα κλήσης
 - HO προς άλλα sectors

→ ΔΟΚΙΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο σκοπός είναι να διαπιστωθεί η διαμόρφωση του δικτύου σε σχέση με την κατάσταση που βρίσκεται αυτό την ημέρα του ελέγχου. Είναι παρόμοιος με τον έλεγχο των σταθμών βάσης αλλά αυτός είναι πιο γενικός και γίνεται όταν το υπο-δίκτυο είναι πλήρες. Πρέπει δε να γίνει πριν τον έλεγχο της ποιότητας και πριν την έναρξη της διαδικασίας βελτίωσης. Οι έλεγχοι αυτοί, πρέπει να ξαναγίνουν διότι η κατάσταση του σχεδίου μπορεί να έχει αλλάξει από τον έλεγχο των σταθμών βάσης και θα πρέπει να γίνουν από ομάδες μέτρησης οι οποίες μπορεί να βοηθηθούν από Drive Tests για την εκτίμηση της ποιότητας.

→ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η εκτίμηση αυτή πρέπει να γίνει με τη βοήθεια :

- Εντατικών Drive Tests με Test Mobile Systems, TMS.
- Στατιστικά στοιχεία δικτύου μέσω OMC.
- Παράπονα χρηστών.

→ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Αφού μελετηθούν τα αποτελέσματα και επιλεγούν οι διάφορες λύσεις, θα πραγματοποιηθεί η πιο κατάλληλη.

4.2.3 Στόχοι ποιότητας

Αυτά που οι πελάτες περιμένουν από την ποιότητα του δικτύου είναι απλά :

- Ύπαρξη δικτύου όπου και όποτε νά'ναι.
- Λογικό χρόνο του setup της κλήσης
- Καλή ακουστική ποιότητα κατά τη διάρκεια της συνομιλίας
- Φυσιολογική κατάληξη της κλήσης

Τα προβλήματα αυτά, σε επίπεδο δικτύου, χαρακτηρίζονται από :

- Φτωχά επίπεδα σήματος
- Υψηλούς δείκτες απώλειας κλήσεων
- Υψηλούς δείκτες σφάλματος bit
- Διακοπτόμενες κλήσεις και handovers

Υπάρχει μια παράμετρος CSR, Call Success Rate, που χρησιμοποιείται για να δώσει μια ένδειξη της ποιότητας που ο πελάτης περιμένει. Επιτυχημένη κλήση θεωρείται εκείνη η οποία μπορεί να ελεγχθεί, εκείνη η οποία πραγματοποιεί το setup σε λιγότερο από 7 δευτερόλεπτα, που το 90% του χρόνου έχει ένα RXQUAL κατώτερο του 4 και που έχει κανονική κατάληξη μετά από 2 λεπτά. Σκοπός της βελτίωσης είναι ο δείκτης των επιτυχημένων κλήσεων να είναι ίσος με 90%.

4.2.4 Συστηματική εκτίμηση ποιότητας

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να διαπιστωθεί η ποιότητα του δικτύου: TMS- Test Mobile Systems, στατιστικά του OMC και παράπονα χρηστών.

4.2.4.1 Κινητά Συστήματα Δοκιμασίας

Επιτρέπουν την συλλογή στοιχείων από μετρήσεις που έχουν κάνει τα κινητά, όπως RXLEVEL επίπεδο σήματος, RXQUAL επίπεδο ποιότητας, νούμερο καναλιού, CI, LAI, Timing Advance TA, πληροφορίες από γειτονικές κυψέλες (BSIC, επίπεδα σήματος και ισχύος). Η ναυσιπλοΐα με GPS επιτρέπει την γραφική παρουσίαση της διαδρομής κατά τη συλλογή δεδομένων στα drive tests και την εισαγωγή αυτών των διαδρομών σε συστήματα σχεδίασης.

Στα TMS υπάρχουν δύο μέθοδοι έρευνας: στατιστική και παρακολούθησης.

❷ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η ποιότητα γενικώς. Επιτρέπει τη δημιουργία αυτόματων κλήσεων σε κανονικές συνθήκες και μέσω αυτών τη μέτρηση του CSR Call Success Rate, για ολοκληρωμένες περιοχές. Με λίγα λόγια, προσπαθεί να βρει τη συμπεριφορά του χρήστη και δια μέσου αυτής να διαπιστωθούν τυχόν παραλείψεις.

Call Attempts	Call Success Rate	No. of Drops	Drop Rate	Handover Rate	Handover Success Rate	Handover Failure Rate
350	92.6%	0.6%	1.4%	2.0%	3.4%	0.0%
357	75.6%	3.9%	2.8%	4.2%	13.5%	0.0%

Σχήμα 4.2

❷ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Οι κλήσεις είναι συνεχείς και όταν διακόπτονται, επαναφέρονται. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των περιοχών με συγκεκριμένα προβλήματα, για την λεπτομερή ανάλυση των προβληματικών περιοχών, για την εκτίμηση της ποιότητας σε επαρχιακούς δρόμους, για τεστάρισμα των σταθμών βάσης και της λειτουργίας. Επίσης, επιτρέπει την διεξαγωγή στατιστικών αναλύσεων, κάπως περιορισμένων, του RXLEV, RXQUAL.

4.2.4.2 Στατιστικές δικτύου OMC

Παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των Drive Tests:

- Μικρότερη πυκνότητα εργασιών και λιγότερο χρόνο απόκτησης
- Μεγαλύτερη συμπίεση βασισμένη σ' ένα μεγάλο νούμερο συνδρομητών
- Δεν περιορίζονται μόνο κατά τη διενέργεια του Drive Test, αλλά φυλάσσονται σε βάση δεδομένων.
- Υπάρχει δυνατότητα ανάλυσης uplink και downlink
- Δυνατότητα μίξης συμπεριφοράς του χρήστη, χρήσης outdoor, indoor, incar.

Τα προβλήματα και οι περιορισμοί που παρουσιάζουν είναι:

- Περιορισμένη γεωγραφική εμβέλεια: η ελάχιστη μονάδα είναι ολόκληρη η κυψέλη

- Τηλεφωνήματα από περιοχές που δεν καλύπτονται δεν είναι δυνατόν να επεξεργαστούν. Έτσι, η υπό δοκιμασία περιοχή θα πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις , π.χ. 90% CSR.
- Το δίκτυο χρειάζεται να έχει ένα ελάχιστο όριο κίνησης ώστε τα στατιστικά στοιχεία να είναι έγκυρα.

4.2.4.γ Παράπονα Πελατών

Τα παράπονα των πελατών είναι μια πρόσθετη πηγή πληροφοριών, η οποία όμως, δύσκολα είναι εκμεταλλεύσιμη. Η υπηρεσία εξυπηρέτησης πελατών πρέπει να έχει μια απλή μέθοδο για τη συστηματική συγκέντρωση των πληροφοριών. Οι πελάτες μπορούν να δίδουν χρήσιμες πληροφορίες για τον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών και να δοθεί καλύτερη λύση από αυτή που παρέχουν τα στατιστικά στοιχεία του OMC. Επίσης, μπορούν να δώσουν στοιχεία σχετικά με το τι μέτρα μπορούν να ληφθούν για την βελτίωση του δικτύου.

4.2.5 Διαδικασία βελτίωσης

Υπάρχουν, στην πραγματικότητα 4 φάσεις βελτίωσης και είναι η 3, 4, 5, και 6.

1. Εντοπισμός των περιοχών με προβλήματα στην ποιότητα με Drive Tests, στατιστικά δικτύου, παράπονα πελατών κλπ.
2. Έρευνα της πηγής του προβλήματος με μέτρα παρακολούθησης και όργανα πρόβλεψης.
3. Προτάσεις για λύσεις, πάντα προσπαθώντας να προβλεφθούν οι συνέπειες. Εδώ χρειάζεται συνεργασία και εκτίμηση όλων των τομέων που έχουν σχέση.
4. Συμφωνία και εφαρμογή της λύσης.
5. Ενημέρωση της βάσης δεδομένων
6. Επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Αν δεν υπάρχει βελτίωση πρέπει να επιστρέψουμε στο σημείο 3.

Κάτι που πρέπει να ελέγχεται πολύ καλά στην βελτίωση είναι η βάση δεδομένων. Είναι ουσιώδης η αυστηρή χρήση και ενημέρωση των δεδομένων. Απαιτούνται οι παρακάτω βάσεις δεδομένων, τουλάχιστον:

- Των οργάνων σχεδιασμού. Το δίκτυο πρέπει να είναι διαθέσιμο ανά πάσα στιγμή.
- Του OMC
- Των μέτρων
- Της βελτίωσης

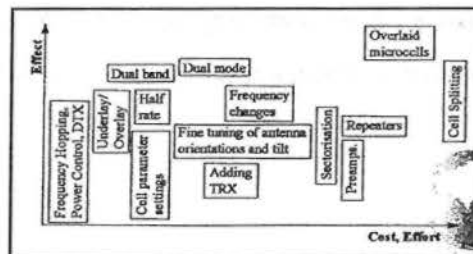
4.2.6 Τρόποι βελτίωσης

Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί, παράμετροι, χαρακτηριστικά, που μπορούν να βελτιωθούν. Εξ'αυτών άλλοι είναι οι πιο ακριβοί και άλλοι οι πιο αποτελεσματικοί.

Υπάρχουν δύο ομάδες μέτρων βελτίωσης:

I. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ FINE TUNING

- Προσθήκη χαρακτηριστικών
- Προσανατολισμός azimuth, ύψος και tilt κεραιών
- Παράμετροι του HO και ισχύς
- Λίστα γειτονικών κυψελών
- Αλλαγή συχνοτήτων
- Προσθήκη του TRX
- Εισαγωγή του Half Rate Coding



Σχήμα 4.3

II. ΜΕΤΡΑ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

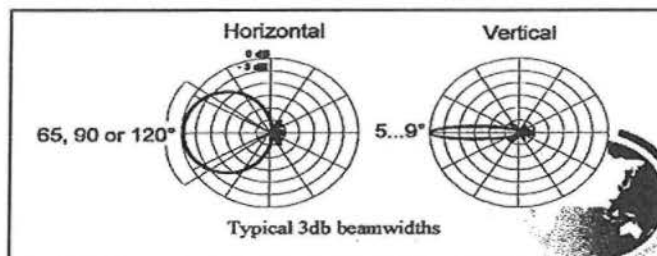
- Dual band
- Εισαγωγή ενισχυτών στύλου
- Φασματοποίηση, sectorization
- Διαχωρισμός των δομών της κυψέλης
- Χρήση επαναληπτών, repeaters
- Ύπαρξη pico-κυψελών και micro-κυψελών

4.2.7 Τροποποίηση - διαμόρφωση κεραιών

Οι τροποποιήσεις μπορούν να είναι σε δύο επίπεδα, σε οριζόντιο επίπεδο και/ή σε κάθετο.

→ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Βελτιστοποίηση της δυνατής κάλυψης στην περιοχή ανάμεσα στα sectors
- Ελαχιστοποίηση της παρεμβολής
- Βελτίωση της κατανομής της κίνησης.



Σχήμα 4.4

Οι τρόποι πραγματοποίησης των τροποποιήσεων είναι αλλαγή στις κατευθύνσεις των sectors ή αλλαγή στο άνοιγμα του οριζόντιου επιπέδου. Οι τελευταίες κοστίζουν περισσότερο αφού προϋποθέτουν αλλαγή της κεραίας. Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές οι αλλαγές πρέπει να έχουν μελετηθεί πολύ καλά σε περίπτωση παρεμβολών, έτσι ώστε η βελτιστοποίηση μιας περιοχής να μην προκαλέσει την αύξηση παρεμβολής σε κάποια άλλη.

→ ΚΑΘΕΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Μείωση της παρεμβολής
- Βελτιστοποιεί την κάλυψη σε μικρή έως μέση απόσταση. Αν το downtilt δεν είναι αρκετό μπορεί ο κύριος λοβός να περνάει επάνω από την περιοχή που θέλουμε να καλύψουμε.
- Βελτιστοποίηση της κατανομής της κίνησης.

Το δεύτερο μέτρο βελτιστοποίησης, του κάθετου επιπέδου, είναι η εφαρμογή μηχανικού tilt. Βασικά χρησιμοποιείται για την μείωση της παρεμβολής ή για να εστιάσει καλύτερα την κάλυψη. Χρειάζεται να έχουμε υπόψη μας ότι το μηχανικό tilt εφαρμόζεται σε κατευθυντικές κεραίες και όχι σε omni-directional.

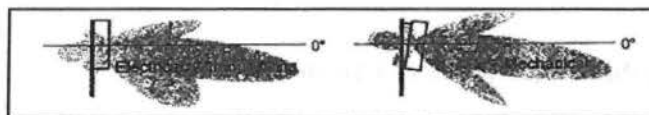
Η χρήση του ηλεκτρικού downtilt σε αντίθεση του μηχανικού, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ DOWNTILT ΣΕ ΑΝΤΙΘΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ

- Ο πίσω λοβός (back lobe) δεν “κοιτάει” προς τα πάνω
- Το γέμισμα των νεκρών περιοχών είναι καλύτερο
- Κατά εισαγωγή του μηχανικού tilt (κλίσης) πραγματοποιείται γενικά μια εξομάλυνση της οριζόντιας ακτίνας μειώνοντας τη μετωπική μεγάλη απόσταση κάλυψης και αυξάνοντας την πλευρική (σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί θετικά).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οι κεραίες είναι πιο ακριβές
- Υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ μείωσης της παρεμβολής και μείωση της κάλυψης σε μακρινή απόσταση.
- Εάν χρειάζεται περισσότερη βελτιστοποίηση είναι αναγκαία η αλλαγή κεραίας.



Σχήμα 4.5

Γενικά η καλύτερη λύση είναι η επιλογή της κεραίας με ηλεκτρικό tilt (κλίση) κατάλληλο για τα χαρακτηριστικά της απαιτούμενης κάλυψης με περιθώρια εφαρμογής μηχανικού tilt για βελτιστοποίηση. Σε κάθε περίπτωση το σύνθετο εφαρμοζόμενο tilt κυμαίνεται από 0 έως 6 βαθμούς.

Υπάρχουν ακόμα δύο τρόποι τροποποίησης των κεραιών συνεπώς και τροποποίησης του αποτελέσματος. Μία από αυτές είναι η αλλαγή του ύψους, η άλλη είναι η θέση των κεραιών στην ταράτσα ή θέση του πυλώνα στην περίπτωση ενός rural site. Και στις δύο περιπτώσεις το κόστος είναι μεγάλο, ενώ η διαφορά όχι και τόσο. Για παράδειγμα, ο διπλασιασμός του ύψους μιας κεραίας συνεπάγεται με αύξηση 4-5 dB στο path loss, όχι και πολύ μεγάλη βελτίωση σε σχέση με το ύψος του κόστους. Εκτός και αν χρειάζεται να αποφευχθούν εμπόδια τα οποία δεν υπολογίστηκαν κατά την σχεδίαση (καινούργια γειτονικά κτίρια, νέοι πυλώνες κλπ).

4.2.8 Τροποποίηση παραμέτρων της κυψέλης

Μόνο μερικές ομάδες παραμέτρων μας δίνουν τη δυνατότητα να φέρουμε αποτέλεσμα στην βελτιστοποίηση του δικτύου:

- Η λίστα των γειτόνων
- Αλλαγή συχνότητας
- Παράμετροι ισχύος
- Παράμετροι Handover
- BSIC, Base Station Identity Code ή LAC, Location Area Code

Θα πρέπει να χειριζόμαστε αυτές τις παραμέτρους με προσοχή γιατί τα αποτελέσματα είναι σοβαρά για την συμπεριφορά του δικτύου.

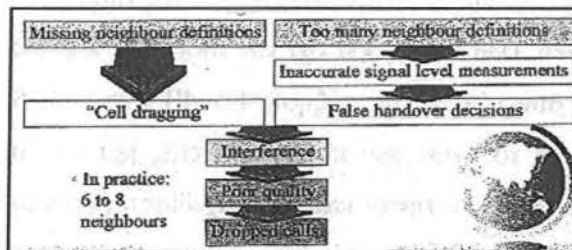
Συνήθως κατά την ανάπτυξη του δικτύου εφαρμόζονται κάποιες στάνταρ τιμές στις παραμέτρους έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι το δίκτυο θα ξεκινήσει να λειτουργεί κανονικά. Επίσης ξεκινάμε από ένα γνωστό σημείο για την περαιτέρω βελτιστοποίηση.

4.2.8.1 Βελτιστοποίηση της λίστας των γειτόνων

Τόσο ο μικρός αριθμός γειτόνων όσο και η ύπαρξη πολλών δημιουργούν προβλήματα που έχουν ως αποτέλεσμα ένα δίκτυο χαμηλής ποιότητας.

Ο μικρός αριθμός γειτόνων προκαλεί Cell Dragging.

Το κινητό ενώ είναι συνδεδεμένο σε μία κυψέλη σε dedicated mode (κατά τη διάρκεια κλήσης), φτάνει σε κάποιο σημείο όπου κάποια άλλη κυψέλη έχει καλύτερο σήμα, οπότε το κινητό προσπαθεί να συντονιστεί σε αυτήν. Όμως αν αυτή η νέα κυψέλη δεν περιλαμβάνεται στην λίστα των γειτόνων, το Handover δεν είναι εφικτό και το κινητό δεν θα μπορέσει να αλλάξει στην κυψέλη Best Server , έως ότου διακοπεί η κλήση, Drop Call.



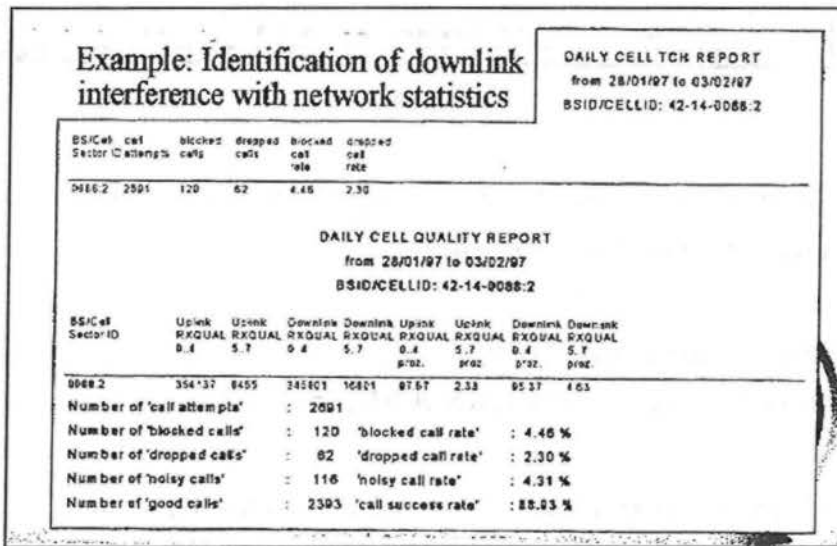
Σχήμα 4.6

Μεγάλος αριθμός γειτόνων

Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου μέτρησης μπορούν να συλλεχθούν μόνο 100 δείγματα μετρήσεων για όλες τις κυψέλες τις δηλωμένες ως γειτονικές. Έτσι για 6 γειτονικές συλλέγονται 16-18 δείγματα, ενώ για 32 γειτονικές συλλέγονται μόνο 3-4 δείγματα, για κάθε μία. Γι'αυτό, μεγάλος αριθμός κεφαλών στη λίστα των γειτόνων σημαίνει ανακριβή μετρήσεις, το οποίο μεταφράζεται σε λανθασμένες επιλογές για ΗΟ και παρεμβολές.

4.2.8.2 Αλλαγή συχνότητων

Η παρεμβολή στο downlink μπορεί να εντοπιστεί στα στατιστικά του δικτύου.

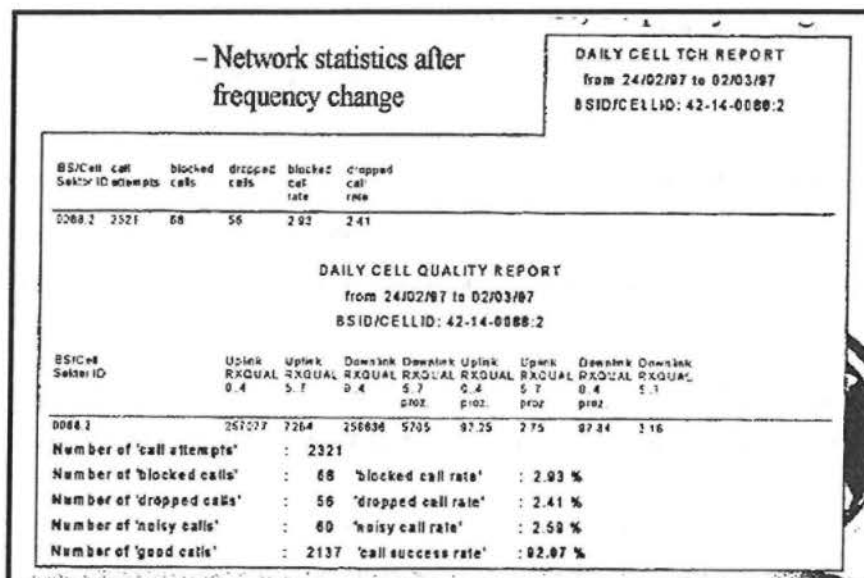


Σχήμα 4.7

Παρατηρώντας τις τιμές μερικών παραμέτρων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αν κάτι πάει στραβά.

- BCR, Blocked Call rate: 4,46% είναι ανεβασμένο
- CSR, Call Success rate: μπορεί να φτάσει και το 90%
- Downlink RXQUAL: η τιμή 4,63% με RXQUAL μεταξύ 5-7, είναι υψηλές τιμές. Το RXQUAL παίρνει τιμές 1-7 και όσο πιο υψηλές τόσο χειρότερη η ποιότητα.

Με τη βοήθεια των μετρήσεων μπορεί να εκτιμηθεί καλύτερα η παρεμβολή και συνέπειες της. Για την ελάττωση της μια λύση είναι η αλλαγή συχνότητας σε ένα από τους δύο σταθμούς βάσης που συμβάλουν.



Σχήμα 4.8

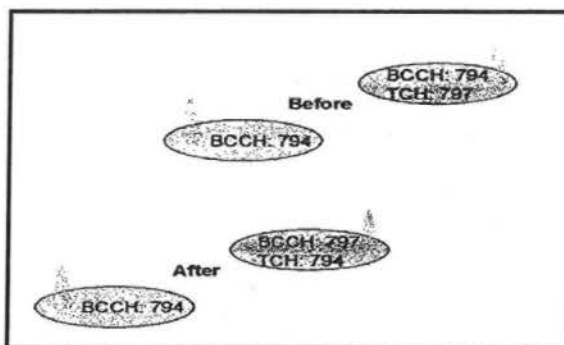
Από το σχήμα φαίνεται ότι μετά τη αλλαγή συχνότητας σε ένα από τα δύο BS (σταθμούς βάσης) οι τιμές των παραμέτρων καλυτέρευαν.

- BCR, Blocked Call Rate: 2.93%
- CSR, Call Success Rate: es del 92.07%
- Downlink RXQUAL: μόνο 2.16% με RXQUAL μεταξύ 5-7.

Γενικά η αλλαγή συχνότητας παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη αποτελεσματικότητα στις περιπτώσεις σοβαρών παρεμβολών
- Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε από τις δύο κυψέλες (σε αυτή που προκαλεί την παρεμβολή ή σε αυτήν που τη δέχεται).

Πιθανή περίπτωση αλλαγής συχνότητας είναι το BCCH/TCH Swapping, που σημαίνει η ανταλλαγή συχνοτήτων μεταξύ BCCH και TCH, με αποτέλεσμα τη μείωση της παρεμβολής.



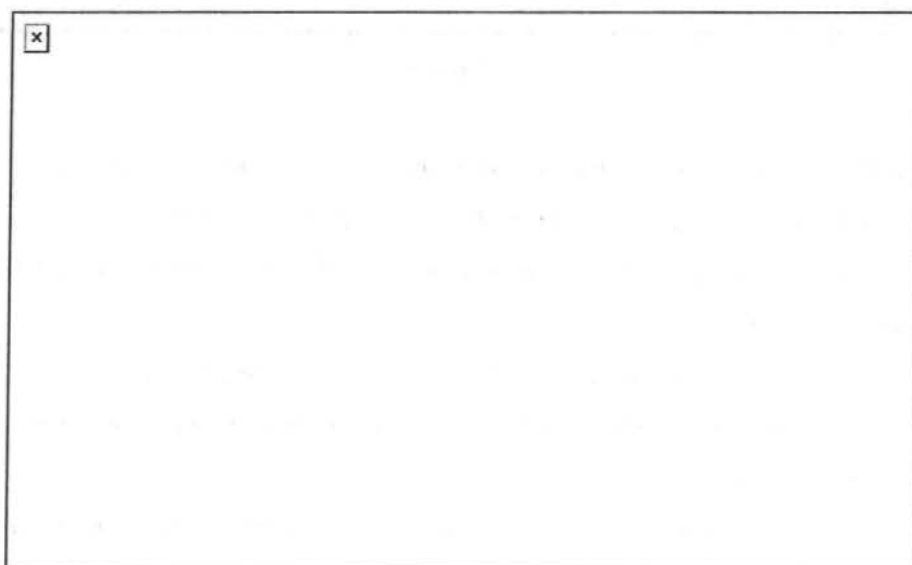
Σχήμα 4.9

4.2.8.3 Βελτιστοποίηση των παραμέτρων του Handover

Ο αλγόριθμος του Handover είναι ο πιο σημαντικός στην κινητή τηλεφωνία και ο σκοπός του είναι:

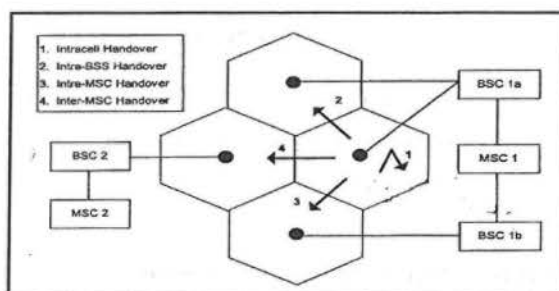
- Να διατηρεί την σύνδεση κατά τη διάρκεια αλλαγής κυψέλης σε περίπτωση κίνησης του κινητού.
- Να πραγματοποιεί αλλαγή καναλιού σε περίπτωση παρεμβολής
- Να επιτρέπει τη σχεδίαση των συνόρων της κυψέλης και της κυψελικής δομής

Η διαδικασία του Handover μπορεί να χωριστεί σε διάφορες φάσεις, οι οποίες φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.10

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Handover που διαχωρίζονται με βάση την αλλαγή κυψέλης, BSS ή MSC, και φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.11

Το Handover πραγματοποιείται για διάφορους λόγους, οι οποίοι και αποτελούν τα κριτήρια του HO. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα κριτήρια λόγω ράδιο και στα κριτήρια λόγω δικτύου.

ⓐ Radio Criteria	- received quality (too low/bit error rate too high)	inter-/intra-cell HO
	- received level (too low)	intercell HO
	- MS-BS distance (too high)	intercell HO
	- better cell (power budget: relative received level)	intercell HO
ⓑ Network Criteria	- serv. cell congestion > directed retry for call setup	intercell HO
	- MS-BS distance (too high/low in extended cells)	intra-cell HO
	- received level or MS-BS distance (too low/high in congested cells)	intra-cell HO

Σχήμα 4.12

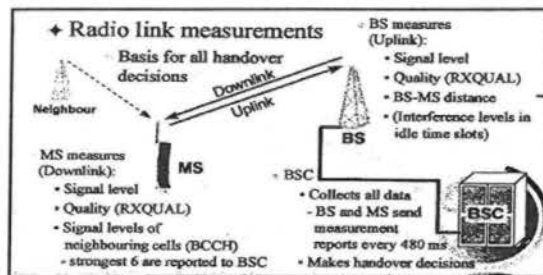
Οι τρεις πρώτες περιπτώσεις είναι υποχρεωτικές, που σημαίνει ότι αν συμβαίνει μία από αυτές το HO κρίνεται απαραίτητο έτσι ώστε να διατηρηθεί η κλήση.

Η τέταρτη περίπτωση πραγματοποιείται κυρίως για τη βελτιστοποίηση της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης.

Η πέμπτη περίπτωση θεωρείται εξαναγκασμένο HO λόγω συμφόρησης.

Όλες αυτές οι περιπτώσεις HO ενεργοποιούνται/απενεργοποιούνται /διαμορφώνονται μέσω κάποιων παραμέτρων.

Η απόφαση για HO εξαρτάται από τις μετρήσεις που γίνονται από τα στοιχεία του δικτύου.



Σχήμα 4.13

Τέλος, ο τελικός σκοπός της βελτιστοποίησης του HO είναι:

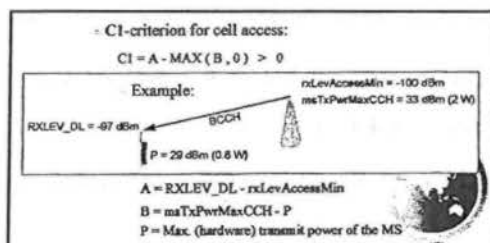
- η διατήρηση μιας καλής ποιότητας επικοινωνίας
- η ελαχιστοποίηση των διακοπών κλήσης
- η αύξηση του χρόνου παραμονής στην «καλύτερη» κυψέλη
- η ελαχιστοποίηση του αριθμού των Handovers.

4.2.8.4 Βελτιστοποίηση άλλων παραμέτρων

Υπάρχουν άπειροι παράμετροι και ορισμένοι πολύ πολύπλοκοι για να τους μελετήσουμε. Στη συνέχεια αναφέρουμε ορισμένους πολύ σημαντικούς:

→ Κριτήριο C1 για πρόσβαση στην κυψέλη.

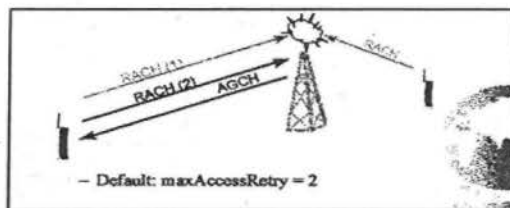
Όταν ένα κινητό ψάχνει το δίκτυο, δεν ψάχνει το πιο ψηλό επίπεδο σήματος αλλά το καλύτερο C1 (ασύρματη τηλεφωνία). Έτσι, στις κυψέλες όπου θέλουμε να πιάσουμε τους roamers, π.χ. στα αεροδρόμια, θα πρέπει να έχουμε ένα καλό C1.



Σχήμα 4.14

→ Μέγιστος αριθμός επανάληψης των προσπαθειών πρόσβασης στο κανάλι RACH

Οι συνδέσεις είναι δυνατές εξ' αιτίας της επίδρασης του πρωτοκόλλου πρόσβασης, επομένως θα υπάρξει επανάληψη των προσπαθειών για την πρόσβαση.



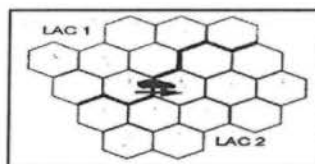
Σχήμα 4.15

→ Κώδικας αναγνώρισης σταθμού, Base Station Identity Codes , BSIC

Χρησιμοποιούνται από το κινητό για να αναγνωρίζουν τις γειτονικές κυψέλες. Οι κυψέλες co-channel πρέπει να έχουν διαφορετικό BSIC.

→ Κωδικός περιοχής, Location Area Codes, LAC

Χρησιμοποιούνται από το κινητό στο Idle Mode (κατά τη διάρκεια αναμονής) για αναγνώριση της περιοχής εντοπισμού.



Σχήμα 4.16

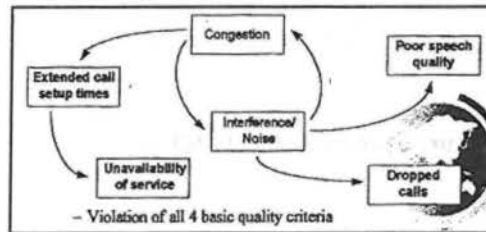
- Περιοχές εντοπισμού πολύ μικρές απαιτούν πολλές ενημερώσεις, από το κινητό προς τον σταθμό βάσης.
- Περιοχές εντοπισμού υπερβολικά μεγάλες, προκαλούν Paging traffic (PCH) μη αναγκαίο.
- Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση σηματοδοσίας στο SDCCH.
- Υπάρχει η παράμετρος Cell Reselect Hysterisis (6dB) για να αποφύγουμε επιδράσεις ping-pong.

4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ

4.3.1 Εισαγωγή

Όσο ο αριθμός συνδρομητών αυξάνεται, είναι αναγκαίο να προσαρμόζεται το δίκτυο στην ζήτηση ώστε να αποφύγουμε τον κορεσμό. Από την άλλη, επειδή η εγκατάσταση των δικτύων γίνεται σταδιακά, πραγματοποιείται σε φάσεις, στις οποίες καλύπτονται κενά κάλυψης που αφήσαμε, εφόσον είχαν λιγότερη προτεραιότητα σε προηγούμενες φάσεις.

Αρχικά η εγκατάσταση του δικτύου εξαρτάται από την κάλυψη, δηλαδή, προσπαθούμε να καλύψουμε την μεγαλύτερη δυνατή περιοχή. Αλλά όσο περνά ο καιρός η ανάπτυξη του δικτύου, εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών. Έτσι σε κάποιο σημείο η ανάπτυξη του δικτύου, έχει σαν κύριο προορισμό την αύξηση της χωρητικότητας. Ένα δίκτυο κορεσμένο δεν λειτουργεί καλά, η ποιότητα του φθείρεται γρήγορα. Γι'αυτό είναι αναγκαίο να έχουμε τεχνικές ανάπτυξης που θα επιτρέψουν στο δίκτυο να προσαρμοστεί στις υπάρχουσες συνθήκες.



Σχήμα 4.17

Οι κύριες τεχνικές ανάπτυξης του δικτύου αναφέρονται στη συνέχεια :

- Προσθήκη TRXs
- Διαμερισμός, αύξηση της πυκνότητας της κυψέλης
- Χωρισμός των κυψελών, αύξηση της πυκνότητας των μακροκυψελικών σταθμών βάσης.
- Αύξηση του φάσματος συχνότητας
- Χειρισμός της dual band GSM900/DCS1800
- Χειρισμός σε dual mode GSM/DECT
- Στάνταρ χαρακτηριστικά GSM, FH/PC/DTX
- Half Rate Coding HRC
- Underlay / Overlay cells

- Micro και Pico κυψέλες
- Μεταφορά προς την Τρίτη γενιά

4.3.2 Βασικές τεχνικές

4.3.2.1 Προσθήκη των TRXs

Η συμφόρηση του δικτύου μπορεί να εξακριβωθεί εύκολα με τη βοήθεια των στατιστικών του δικτύου.

BS	Sec	TRX	week1	week2	week3	week4	week5	week6	week7
04500312	1	2	4.52	5.73	5.65	5.14	5.59	5.92	6.30
04500312	2	2	7.33	7.16	7.57	6.58	7.71	6.97	8.29
04500312	3	2	3.15	3.24	3.77	2.84	3.15	3.33	3.53

Σχήμα 4.18

Με κάθε τρόπο, η προσθήκη TRXs έχει τα όρια της π.χ. ανώτατη διαμόρφωση του HW 4*4*4, και προϋποθέτει επιπλέον κόστος συχνοτήτων.

4.3.2.2 Τμηματοποίηση (Διαχωρισμός σε τομείς)

Υπάρχουν δύο δυνατότητες

- Διαχωρισμός κυψελών omni
- Η προσθήκη περισσότερων sectors σε sites ήδη sectorized

Ο διαχωρισμός σε sectors έχει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα:

- Η ζώνη κάλυψης μπορεί να βελτιωθεί, αυξάνεται η ακτίνα κάλυψης
- Διαμόρφωση του εξοπλισμού
- Προβλήματα στη διαχείριση του δικτύου
- Σχεδιασμός επιπλέον συχνοτήτων

4.3.2.3 Κατανομή των κυψελών

- Παρέχει μια αύξηση στην πυκνότητα των sites που σημαίνει βελτίωση της χωρητικότητας και της διείσδυσης της κάλυψης.
- Ανάγκη επενδύσεων για καινούργια sites

- Μικροπροβλήματα στο υπάρχον δίκτυο αν και υπάρχει η δυνατότητα ανάγκης επανασχεδιασμού
- Δεν συνίσταται για κατανομές κίνησης
- Η μείωση του μεγέθους περιορίζεται, δηλ. σε κάποιο σημείο δεν μπορεί πια να αυξηθεί η χωρητικότητα.

4.3.3 Αύξηση του φάσματος και λειτουργίας dual

4.3.3.1 Περισσότερο φάσμα

- Δεν είναι αναγκαία η προσθήκη καινούργιων sites
- Μικρές εμπλοκές στο υπάρχον δίκτυο
- Απαιτείται μια επέκταση της άδειας και οι συνδρομές συνήθως είναι υψηλές

4.3.3.2 Λειτουργία σε dual band

Είναι η προσπάθεια εκμετάλλευσης των δύο bands GSM, GSM900 και DCS1800.

- Για χειριστές GSM900
 - Προϋποθέτει περισσότερη χωρητικότητα
 - Περιορισμένη δυνατότητα επένδυσης. Τα sites και η υποδομή που υπάρχουν είναι εκμεταλλεύσιμα.
 - Μικρές συμπλοκές στο δίκτυο
- Για χειριστές DCS1800
 - Παρέχει πιο οικονομικές λύσεις για κάλυψη
 - Προσθέτει συνδρομητές για διεθνή περιαγωγή (international roaming)
- Και για τα δύο
 - Χρειάζονται επιπλέον άδειες και επεκτάσεις
 - Το όφελος εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την προώθηση των dual band τερματικών (κινητών τηλεφώνων)

4.3.3.3 Λειτουργία σε dual mode

Αναφέρεται στο μίρασμα της κίνησης με την σταθερή τηλεφωνία και το DECT, δηλ να χρησιμοποιείται η τεχνολογία GSM έξω από το σπίτι και η τεχνολογία DECT μέσα στο σπίτι.

- Χαμηλό κόστος
- Άριστη ποιότητα φωνής
- Παρουσιάζει δυναμική κατανομή των καναλιών, υψηλή χωρητικότητα χωρίς frequency plan
- Χρειάζεται επιπλέον άδεια

4.3.4 Χαρακτηριστικά GSM

Προσπάθεια για εκμετάλλευση της βελτίωσης στην δυναμικότητα, επιτρέπει τη χρήση προηγμένων τεχνικών που χαρακτηρίζουν το στάνταρ του GSM. Frequency hopping, ο δυναμικός έλεγχος της ισχύς του RF και η διακοπτόμενη μετάδοση επιτρέπουν την πιο τέλεια χρήση της συχνότητας.

- Δεν χρειάζονται καινούργια sites ούτε καινούργιες συχνότητες
- Διαθεσιμότητα, σταθερότητα
- Η επεκτασιμότητα του δεν δημιουργεί εμπλοκές στην κανονική λειτουργία του δικτύου
- Αρνητική απόδοση σε περίπτωση που υπάρχει περιορισμένο φάσμα (περιορισμοί του BCCH)

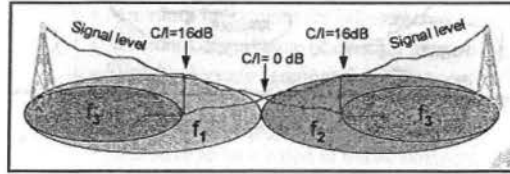
4.3.4.1 Half Rate Coding

Επιτρέπει την διαχείριση σε Dual Rate DR που επιτρέπει να διπλασιαστεί η χωρητικότητα του δικτύου.

- Δεν χρειάζονται sites και επιπλέον συχνότητες
- Ελάχιστα έξοδα σε επένδυση και υποδομή
- Η επεκτασιμότητα προκαλεί ελάχιστα προβλήματα στην λειτουργία του δικτύου
- Η ποιότητας της φωνής υποβαθμίζεται (από 13 σε 6,5 Kbps), κυρίως σε κλήσεις μεταξύ κινητών.
- Το κέρδος σε χωρητικότητα εξαρτάται από την διαθεσιμότητα και προώθηση των τερματικών Dual Rate.

4.3.5 Κυψελοειδείς Ιεραρχικές δομές

4.3.5.1 Τεχνικές Underlay / Overlay



Σχήμα 4.19

Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων σε μικρότερη απόσταση ανάμεσα στις επιπρόσθετες κυψέλες, πράγμα που επιτρέπει την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου, χωρίς να παρατηρηθεί σημαντική αύξηση της παρεμβολής.

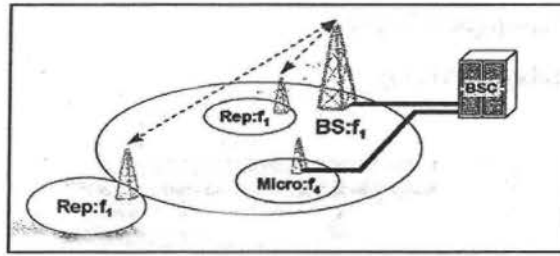
- Δεν χρειάζονται παραπάνω sites
- Ελάχιστο κόστος επένδυσης στον εκσυγχρονισμό της υποδομής
- Ελάχιστη εμπλοκή στη λειτουργία του υπάρχοντος δικτύου
- Μικρή ανάγκη μηχανολογικής υποστήριξης, μιας και το σύστημα γίνεται πιο πολύπλοκο
- Απαιτούνται ειδικοί μηχανισμοί HO, ανάμεσα στα στρώματα.

4.3.5.2 Επικάλυψη των micro και picoκυψελών

- Προσφέρουν υψηλές δυνατότητες του δικτύου
- Επιτρέπουν να εστιάσουμε στην κάλυψη και χωρητικότητα
- Μικρές ενοχλήσεις στη λειτουργία του δικτύου
- Χρειάζονται καινούργια sites
- Σχετικά πιο εύκολη η εγκατάσταση , ο εξοπλισμός είναι μικρότερος
- Ιδιαίτερα δύσκολη η τοποθέτηση του BTS. Πρέπει να γίνει ακριβώς στα σημεία μεγάλης κίνησης
- Τμηματισμός της μπάντας των συχνοτήτων για να έχουμε μεγαλύτερο όφελος
- Απαιτούνται ειδικοί μηχανισμοί HO

4.3.5.3 Repeaters

Στην πραγματικότητα δεν αντιπροσωπεύουν την αύξηση την χωρητικότητας, μόνο επεκτίνουν την κάλυψη.



Σχήμα 4.20

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

5.1 ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΦΑΣΕΙΣ

Η διαδικασία εγκατάστασης ενός δικτύου γίνεται συνήθως σε φάσεις. Είναι περισσότερο πολύπλοκο να γίνουν όλα γρήγορα, η επένδυση είναι μεγάλη και κυρίως υπάρχει μια καθυστέρηση στην λειτουργία του δικτύου επομένως μια καθυστέρηση στην οικονομική απόδοση.

Ο σκοπός της αρχικής φάσης εξαρτάται συνήθως από την παραχώρηση της άδειας στον operator. Δηλαδή, η κυβέρνηση καθορίζει ορισμένους στόχους και δίνει την άδεια στον Operator που παρουσιάζει καλύτερη προσφορά και επομένως δεσμεύεται να εκπληρώσει αυτούς τους στόχους και να τους ξεπεράσει, πάντα μέσα σε καθορισμένο χρονικό πλαίσιο. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με το δίκτυο ενός Operator A στην Σουηδία.

Οι προτεινόμενοι από την κυβέρνηση στόχοι στη φάση 1 για τον operator A θα απαιτούσαν ένα 19% κάλυψης σε πληθυσμό και ένα 4% σε περιοχή σε σχέση με το σύνολο. Επιπλέον σε αυτά τα ποσοστά περιλαμβάνονται συγκεκριμένοι στόχοι. Έξι μεγάλες πόλεις έπρεπε να καλυφθούν: Stockholm, Upsala, Goteborg, Karlskrona, Malmo και Sundsvall. Ο χρόνος για να πραγματοποιηθεί ήταν 6 μήνες.

Ο operator με βάση αυτά τα δεδομένα βάζει τους δικούς του στόχους, καθορίζοντας έναν συγκεκριμένο αριθμό σταθμών για να τους πετύχει. Σε αυτή την περίπτωση οι στόχοι του operator βασίστηκαν στο να δώσει υπηρεσία σε 8 κύριες πόλεις, όλες οι προηγούμενες και επιπλέον στο Lulea και στο Karlstad. Με αυτό ξεπερνούσε την ελάχιστη κάλυψη πληθυσμού με κάποια άνεση.

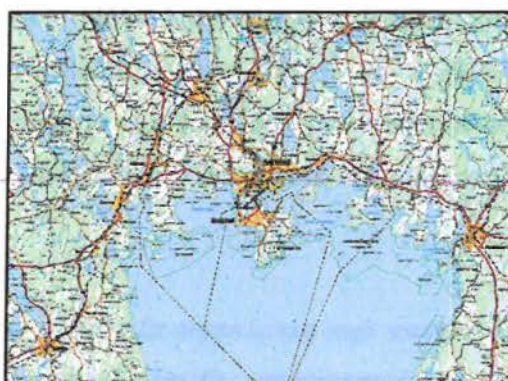
Στις επόμενες φάσεις ο operator έχει μεγαλύτερη ελευθερία, αν και η κυβέρνηση επιβάλλει επίσης έναν αριθμό ελάχιστων απαιτήσεων. Ο τελικός σκοπός, φυσικά, όλων αυτών των φάσεων, είναι να καλυφθεί η μεγαλύτερη δυνατή ζώνη, με την καλύτερη ποιότητα και σε χρόνο ρεκόρ.

Εδώ θα ασχοληθούμε με την σχεδίαση δικτύου για τον operator A στην πόλη του Karlstad. Σε πρώτη φάση ο στόχος είναι το κέντρο της πόλης του Karlstad. Σε δεύτερη φάση είναι η ολοκλήρωση της πόλης και τα περίχωρα. Στην τρίτη φάση οι στόχοι επιτρέπουν μια βελτίωση των προηγούμενων φάσεων και το υπόλοιπο του νομού του Karlstad. Η πόλη

Karlstad γεωγραφικά βρίσκεται περίπου 300 χιλιόμετρα δυτικά της Στοκχόλμης, της πρωτεύουσας της Σουηδίας. Στον νομό του Karlstad κατοικούν γύρω στους 71.000 κατοίκους και περίπου 57.000 από αυτούς βρίσκονται μέσα στην πόλη. Η πόλη είναι χτισμένη δίπλα στη μεγαλύτερη λίμνη της Σουηδίας, τη λίμνη Vänern, όπως φαίνεται και στον χάρτη.



Σχήμα 5.1 Χάρτης της Σουηδίας



Σχήμα 5.2 Ο νομός του Karlstad και τα περίχωρα



Σχήμα 5.3 Η πόλη του Karlstad



Σχήμα 5.4 Το κέντρο της πόλης του Karlstad

Το Karlstad είναι μια από τις μεγαλύτερες πόλεις της κεντρικής Σουηδίας. Η ευημερία του στηρίζεται κυρίως στη βιομηχανία χαρτιού. Στο Πανεπιστήμιο του Karlstad, το οποίο βρίσκεται έξω από το κέντρο της πόλης, φοιτούν περίπου 11.000 φοιτητές κάθε χρόνο από όλον τον κόσμο.

Σκοπός του operator A ήταν να μπορεί να προσφέρει πλήρη υπηρεσία κάλυψης σε όλη την περιοχή από την μέρα έναρξης.

5.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Οι απαιτήσεις του operator από τον προμηθευτή καθορίζονται σε διαφορετικά επίπεδα: κάλυψη, ποιότητα, διακοπή κλήσεων, εμπλοκή κλπ.

➤ **ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΛΥΨΗΣ**

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΕΠΙΠΕΔΟ dBm	ΧΡΩΜΑ	ΚΑΛΥΨΗ ΣΕ....
ΑΓΡΟΤΙΚΟ	$-96 \leq x < -86$	ΠΡΑΣΙΝΟ	RURAL (OUTDOOR)
ΕΘΝΙΚΟΙ ΔΡΟΜΟΙ	$-86 \leq x < -84$	ΚΙΤΡΙΝΟ	LOW URBAN (INCAR)
ΠΡΟΑΣΤΕΙΑ	$-84 \leq x < -76$	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	SUBURBAN (INDOOR LOW) Χαμηλά κτήρια
ΑΣΤΙΚΟ	$-76 \leq x < -73$	ΚΟΚΚΙΝΟ	URBAN (INDOOR MÉDIUM) Μεσαία κτήρια
ΑΣΤΙΚΟ ΠΥΚΝΟΚΑΤΟΙΚΙΜΕΝΟ	≤ -73	ΜΠΛΕ	DENSE URBAN (INDOOR HIGH) Ψηλά κτήρια

➤ **ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΕΠΙΠΕΔΟ dBm	ΧΡΩΜΑ
ΠΟΛΥ ΚΑΚΗ	< -15	ΚΟΚΚΙΝΟ
ΚΑΚΗ	Από -15 έως -10	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ
ΜΕΤΡΙΑ	Από -10 έως -7	ΚΙΤΡΙΝΟ
ΚΑΛΗ	Από -7 έως -5	ΠΡΑΣΙΝΟ ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	> -5	ΠΡΑΣΙΝΟ

➤ **DROPPED CALL RATE**

Μέσα στις καλυμμένες περιοχές, εξαιρώντας τα σύνορα κάλυψης, το ποσοστό διακοπτόμενων κλήσεων δε πρέπει να ξεπερνά το 2% στην ώρα αιχμής.

➤ **BLOCK PROBABILITY**

Η πιθανότητα εμπλοκής πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με το 1%

➤ **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ – ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ**

Ο operator καθορίζει έναν ελάχιστο ή μέγιστο αριθμό TRX με σκοπό να τηρήσει την προβλεπόμενη ποιότητα για την συμφόρηση του TCH.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Ν° TRX ΕΛΑΧΙΣΤ Ο ΑΝΑ SECTOR	Ν° TRX ΜΕΓΙΣΤ Ο ΑΝΑ SECTOR
ΑΓΡΟΤΙΚΟ	1	2
ΕΘΝΙΚΟΙ ΔΡΟΜΟΙ	1	2
ΠΡΟΑΣΤΕΙΑ	1	4
ΑΣΤΙΚΟ	2	6
ΑΣΤΙΚΟ ΠΥΚΝΟΚΑΤΟΙΚΙΜΕΝΟ	2	6

Οι προμηθευτές πρέπει να εγγυηθούν χώρο για καινούργιο εξοπλισμό, με σκοπό να έχουν τη μέγιστη διαμόρφωση.

5.3 ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ OPERATOR – ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ

Αφού ο operator έχει καθορίσει τους στόχους του, πρέπει να διαλέξει προμηθευτή ή προμηθευτές για να πραγματοποιήσουν την υλοποίηση του δικτύου. Επομένως ο προμηθευτής πρέπει να παρουσιάσει την καλύτερη προσφορά για να πάρει το μεγαλύτερο μέρος του έργου.

Συνήθως ο κάθε προμηθευτής αναλαμβάνει μια συγκεκριμένη περιοχή. Στην περίπτωση της Σουηδίας ένας προμηθευτής θα αναλάβει να φέρει εις πέρας το έργο, με την επίβλεψη του operator A.

Η διαδικασία ανάπτυξης του ραδιο-σχεδιασμού ανάμεσα στον operator και τον προμηθευτή γίνεται με συνεχή διάλογο. Βασικά ο προμηθευτής κάνει τις προτάσεις του σύμφωνα με τις απαιτήσεις του operator αλλά έχοντας υπ' όψιν τους περιορισμούς του, και ο operator εγκρίνει ή όχι, αλλά υπολογίζοντας το χρόνο και τις συνθήκες, που δεν είναι πάντα τέλειες.

5.3.1 Σχεδιασμός κάλυψης πόλης

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ (NOMINAL PLAN)

Με τους στόχους που έχει θέσει ο operator, ο προμηθευτής πρέπει να κάνει το nominal plan. Πρόκειται για την τοποθέτηση σταθμών πάνω σε χάρτη που θα παρέχουν την συμφωνημένη κάλυψη με την ανάλογη ποιότητα. Πρέπει να σχεδιαστεί μια περιοχή αναζήτησης για κάθε σταθμό, που όπως είναι φανερό, θα πρέπει να είναι πιο ακριβής σε κατοικημένες περιοχές παρά σε αγροτικές περιοχές. Η εμπειρία και η διαίσθηση του radio planner θα χρειαστούν να συμπληρώσουν τα αποτελέσματα του εργαλείου πρόβλεψης.

Εδώ θα ασχοληθούμε με την πόλη του Karlstad. Πρόκειται για μια μεσαίου μεγέθους πόλη 57.000 κατοίκων με ένα ιστορικό κέντρο, προαστιακή ανάπτυξη, μια σημαντική εθνική οδό (E18) που τη διασχίζει, με ένα βιομηχανικό πολύγONO, εμπορικά καταστήματα στο κέντρο της πόλης, ένα εμπορικό πολύγONO βορειο-δυτικά του κέντρου, το πανεπιστήμιο, την μεγαλύτερη αρένα του icehockey στην κεντρική Σουηδία με την τοπική ομάδα να κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία. Για την παροχή κατάλληλων και αποδοτικών υπηρεσιών, χρειάστηκαν 28 sites για την κάλυψη της πόλης με σταθμούς-βάσης των τριών sectors.

Το πρώτο βήμα είναι η προμήθεια κατάλληλων χαρτών και η σε βάθος επιθεώρηση της περιοχής. Κατόπιν αυτού πρέπει να πραγματοποιηθεί ο προσχεδιασμός, ο οποίος θα πρέπει να εναρμονίζεται με το περιβάλλον δηλ την ύπαρξη υποψήφιων κτιρίων ή περιοχών που να πληρούν τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση κάποιου σταθμού βάσης.



Σχήμα 5.5 Θεωρητικό σχέδιο (Nominal Plan) της πόλης του Karlstad

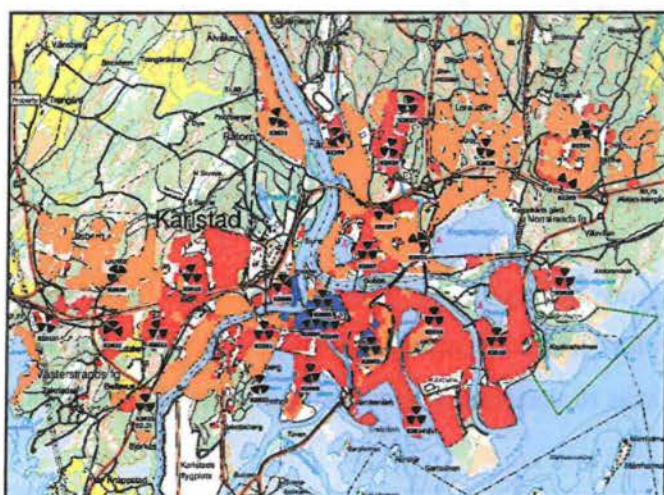
Η καθορισμένη απόσταση ανάμεσα στους σταθμούς στο κέντρο της πόλης του Karlstad είναι περίπου 500μ, απόσταση, που αυξάνεται όσο μεταφερόμαστε προς τα γύρω μέρη. Στο κέντρο της πόλης πρέπει να σχεδιαστούν τέλεια τα sectors, προσπαθώντας να μην μείνουν “νεκρές” ζώνες.



Σχήμα 5.6 Nominal plan της πόλης

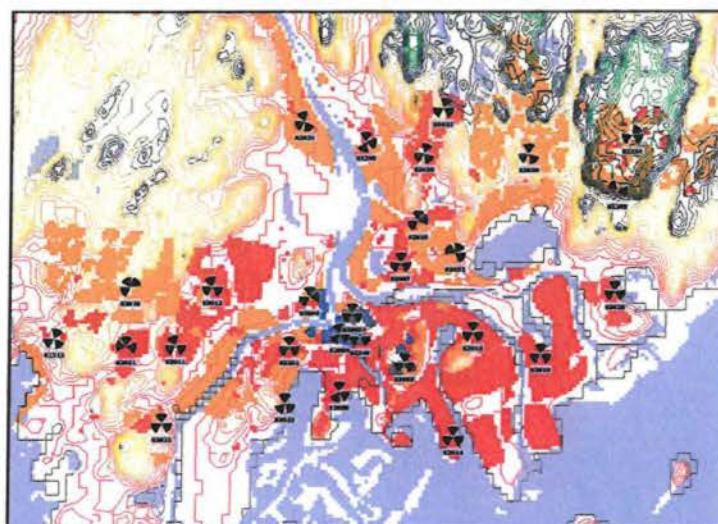


Σχήμα 5.7 Nominal plan του κέντρου της πόλης

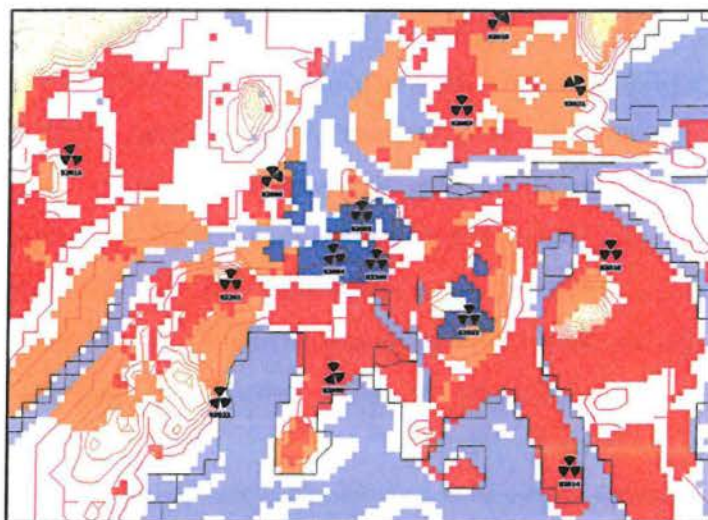


Forest, fullgrown trees	RJ1
Forest, bushes/young trees	RJ1
Open land	RJ1
General urban areas	SU
Homogenous blocks, 6-10 story bids	SDU
Multi story buildings	U
Single story buildings	SU
Industrial area	U
Summer houses single story	SU
Public or other type building	U
Open urban areas	SU

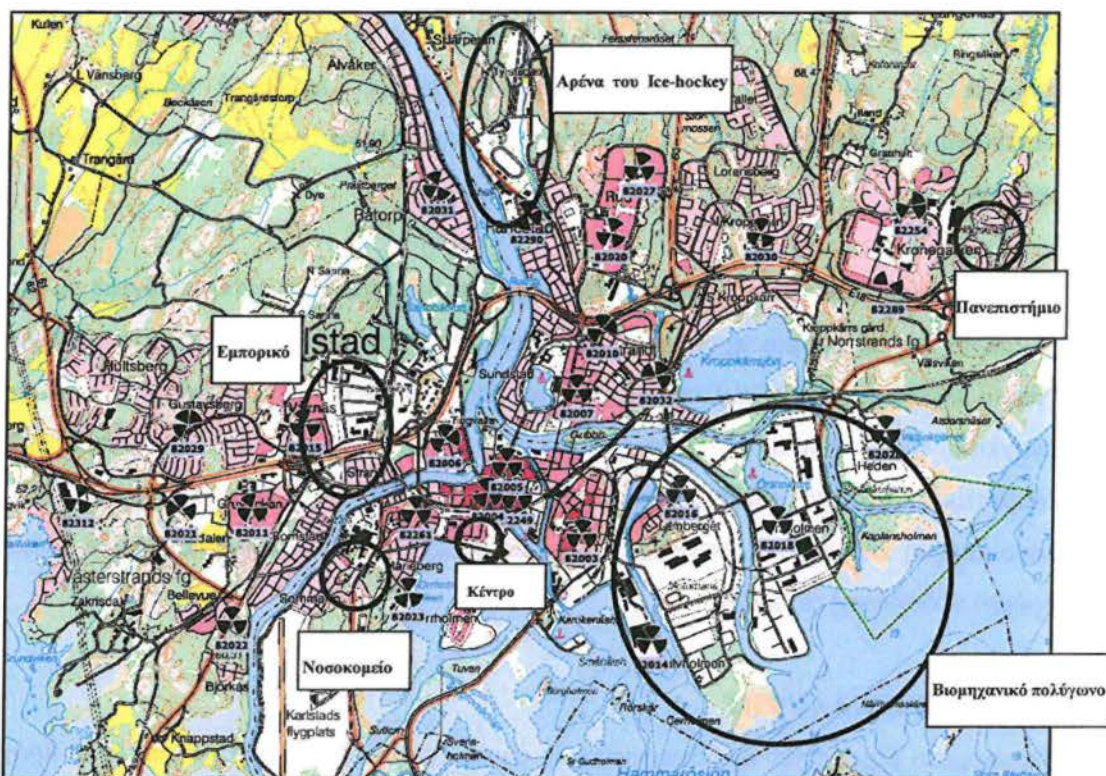
Σχήμα 5.8 Nominal sites και clutters



Σχήμα 5.9 Nominal sites, clutters και ύψη



Σχήμα 5.10 Nominal sites clutters και ύψη



Σχήμα 5.11 Σημαντικές περιοχές με την περισσότερη κίνηση (Hot spots)

Το Karlstad όπως φαίνεται και στο χάρτη, βρέχεται από θάλασσα και είναι χτισμένο σε “νησάκια” και αυτό κάνει πιο δύσκολη την σχεδίαση.

Για να καλυφθεί το ιστορικό κέντρο της πόλης χρησιμοποιήθηκαν 3 σταθμοί οι οποίοι θα τοποθετηθούν σε κάποια από τα ψηλά κτήρια ώστε να έχουν καλή οπτική επαφή στα γύρω

κτήρια και τους παράπλευρους δρόμους. Το site 82004 θα καλύπτει τα καταστήματα στο κέντρο και ένα μεγάλο εμπορικό κατάστημα τριών ορόφων. Προβλέπεται αυτό το site να έχει την περισσότερη κίνηση από όλα τα υπόλοιπα sites της πόλης. Το site 82005 έχει σκοπό να καλύψει την κεντρική πλατεία της πόλης και τον καθεδρικό ναό.

Για τη κάλυψη του πανεπιστήμιου σχεδιάστηκε το site 82254, για την αρένα του Ice-hockey και τον υπόδρομο το 82290 ενώ για το νοσοκομείο το 82261. Κατά μήκος της εθνικής οδού E18 που διασχίζει την πόλη έχουν σχεδιαστεί σταθμοί ώστε να παρέχουν την κατάλληλη κάλυψη και στον δρόμο αλλά και στις γύρω κατοικημένες περιοχές. Για το βιομηχανικό πολύγωνο έχουν σχεδιαστεί 4 σταθμοί.

Στον χάρτη μας φαίνεται επίσης το αεροδρόμιο (Karlstad flygplats) το οποίο δεν βρίσκεται σε λειτουργία γιατί έχει μεταφερθεί έξω από την πόλη.

Στόχος μας ήταν αρχικά να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο το οποίο να παρέχει κάλυψη στις περιοχές που κινείται ο κόσμος καθημερινά (κέντρο, εμπορικά σημεία, νοσοκομείο, πανεπιστήμιο, εργοστάσια κεντρικοί δρόμοι) και έπειτα στις υπόλοιπες κατοικημένες περιοχές.

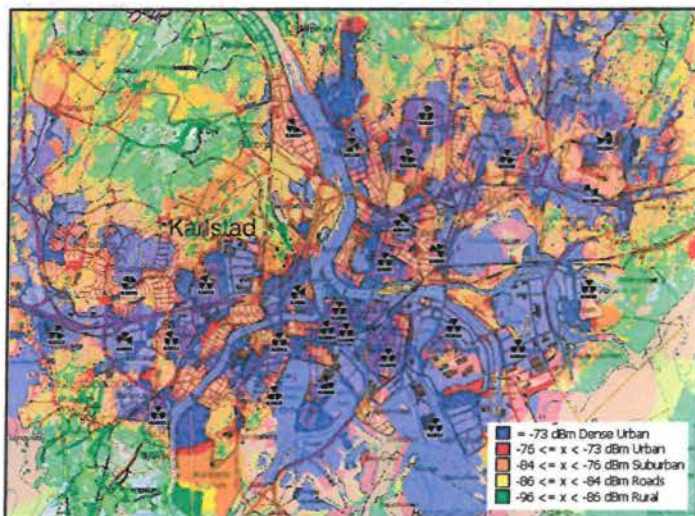
Στις αγροτικές περιοχές ο τρόπος σχεδίασης είναι διαφορετικός προσπαθώντας να καλυφθεί το χωρίο και οι δρόμοι πρόσβασης σε αυτό. Με κάθε τρόπο πρέπει να αποφευχθούν τα “νησιά κάλυψης”. Έτσι π.χ. σε περίπτωση σημαντικών εθνικών δρόμων, μπορεί να είναι αναγκαία η προσθήκη σταθμών για να συμπληρωθεί η κάλυψη. Σε μικρές πόλεις ή τουριστικές περιοχές ο τρόπος σχεδιασμού είναι ανάμεικτος. Πρέπει να εξυπηρετηθεί καλά η κατοικημένη περιοχή που συνήθως έχει απαιτήσεις ως προς την χωρητικότητα, αλλά και οι δρόμοι πρόσβασης σε αυτήν.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

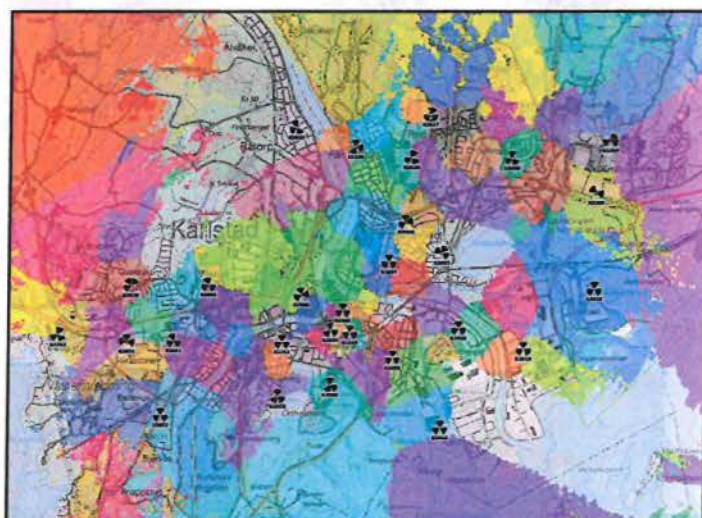
Το επόμενο βήμα είναι να διαπιστωθεί το εύρος της κάλυψης, με το κατάλληλο πρόγραμμα πρόβλεψης. Τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά και μέσα στα αναμενόμενα πλαίσια. Σε

κάθε περίπτωση, το πρόγραμμα βασίζεται σε μια βάση γεωγραφικών δεδομένων και τύπου του περιβάλλοντος, με συνέπεια να μην είναι δυνατόν να διαγνωσθεί αν υπάρχουν εμπόδια ή όχι. Παρατηρώντας την κεντρική περιοχή της πόλης, ακόμα και αν οι προβλέψεις είναι καλές, θα υπάρχει πρόβλημα. Το κέντρο της πόλης απαρτίζεται από παλιά κτήρια, πολύ στενούς

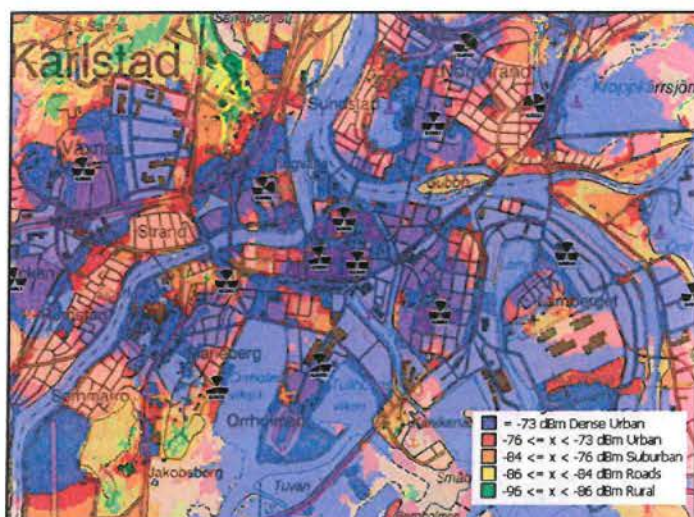
δρόμους κατά συνέπεια, δύσκολης προσπέλασης, έναν μεγάλο καθεδρικό ναό και μια σειρά πολύ ψηλών κτιρίων τα οποία αλληλοκαλύπτονται.



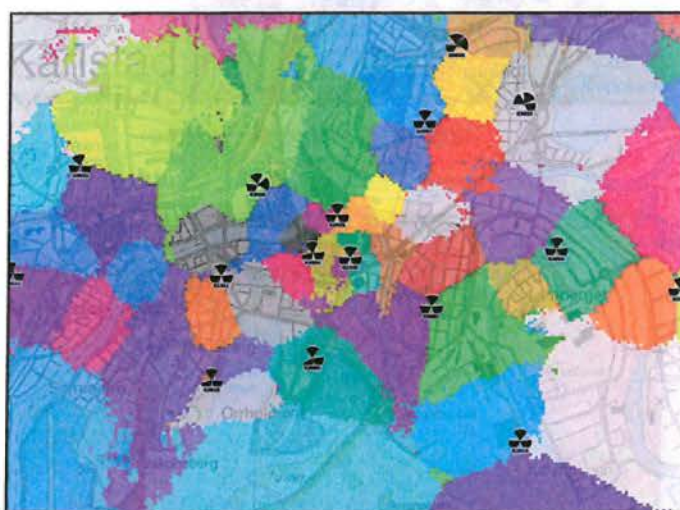
Σχήμα 5.12 Θεωρητική κάλυψη



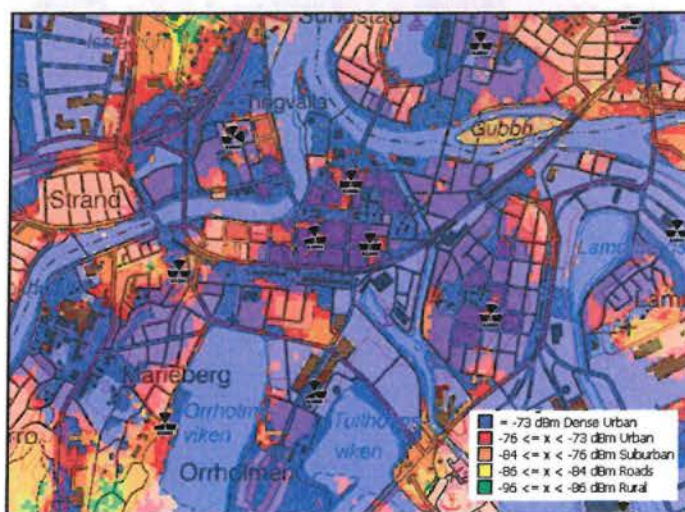
Σχήμα 5.13 Όρια θεωρητικής κάλυψης κάθε κυψέλης



Σχήμα 5.14 Θεωρητική κάλυψη



Σχήμα 5.15 Όρια θεωρητικής κάλυψης κάθε κυψέλης



Σχήμα 5.16 Θεωρητική κάλυψη κέντρου

Το πρόβλημα είναι ότι όποιο κτίριο από αυτά και αν επιλεγθεί, ο καθεδρικός ναός ή τα άλλα κτίρια θα μπλοκάρουν, οπότε η περιοχή από τη μία και από την άλλη πλευρά του καθεδρικού ναού δεν θα είναι σωστά καλυμμένη.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ → ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΥΠΟΨΗΦΙΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ

Το αποτέλεσμα του θεωρητικού σχεδιασμού είναι ένα σύνολο περιοχών αναζήτησης, με μια πρώτη προσέγγιση κατευθύνσεων κεραιών, τύπων κεραιών, και τον εξοπλισμό που κάθε σταθμός βάση πρόκειται να αποκτήσει.

Στην πόλη η αναζήτηση υποψηφίων κτιρίων για εγκατάσταση σταθμού είναι πιο δύσκολη. Η υποψήφια περιοχή πρέπει να επιτρέπει την απόκλιση κατά το ελάχιστο, από τον αρχικό σχεδιασμό, δηλ. δεν πρέπει να έχει περιορισμούς στις αρχικές κατευθύνσεις κεραιών, στο χώρο όπου προβλέπεται η εγκατάσταση, αλλά ούτε να είναι και πάρα πολύ ψηλά, δεδομένου ότι πρέπει να ελέγχονται, όσο το δυνατόν καλύτερα, οι παρεμβολές.



Σχήμα 5.17 Περιοχές αναζήτησης υποψηφίων κτιρίων για εγκατάσταση σταθμών βάσης

Στις αγροτικές περιοχές, συνήθως αρκεί να επιλεγθεί το πιο ψηλό κτίριο, και αν δεν υπάρχει, να κατασκευαστεί ένας πυλώνας. Οι κατευθύνσεις των κεραιών είναι πιο “ελαστικές”, εφόσον βέβαια είναι μέσα στα όρια κάλυψης.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΨΗΦΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ – ΣΧΕΔΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Αφόσον εντοπισθεί το υποψήφιο κτίριο (για σταθμό βάσης μέσα σε πόλη) ή η περιοχή (για σταθμό βάσης σε ανοιχτή/αγροτική περιοχή), το αρμόδιο τμήμα ασχολείται με την διαπραγμάτευση και την απόκτηση αυτού. Συνήθως ο εντοπισμός του υποψήφιου κτιρίου γίνεται περπατώντας στους δρόμους, κάτι που μπορεί να μην είναι καλό. Συνεπώς, για την ορθή εκτίμηση της περιοχής είναι απαραίτητο να ανεβεί κανείς στο ψηλότερο σημείο της.

Τα γραφεία που ασχολούνται με την απόκτηση αυτού του κτιρίου, πρέπει να προμηθευτούν πανοραμικές φωτογραφίες από την ταράτσα αυτού για την καλύτερη εκτίμηση. Σε κάθε περίπτωση οι φωτογραφίες χρειάζονται σαν πρόσθετο βοηθητικό υλικό, και εφόσον είναι εφικτό, πρέπει να γίνεται και επιτόπια έρευνα.

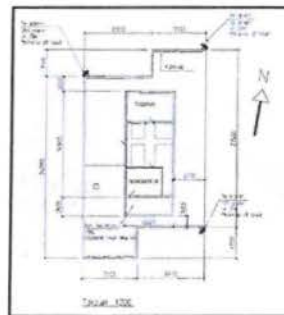
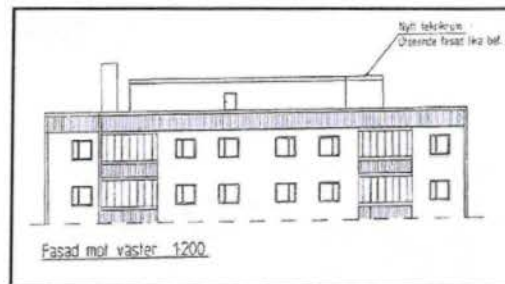
Παρακάτω φαίνονται κάποιες φωτογραφίες και σχέδια από ένα υποψήφιο κτίριο για το site 82261.

Site 82261 Candidate Z





Σχήμα 5.18 Φωτογραφίες από την ταράτσα του κτιρίου



Σχήμα 5.19 Θεωρητικό σχέδιο εγκατάστασης των κεραιών

Προτάθηκαν διάφορες περιοχές προς απόκτηση και αφού στο παραπάνω κτίριο έγινε δεκτό επιτυγχάνεται η σύναξη συμβολαίου για τον υποψήφιο σταθμό βασής.

Σχέδιο του site

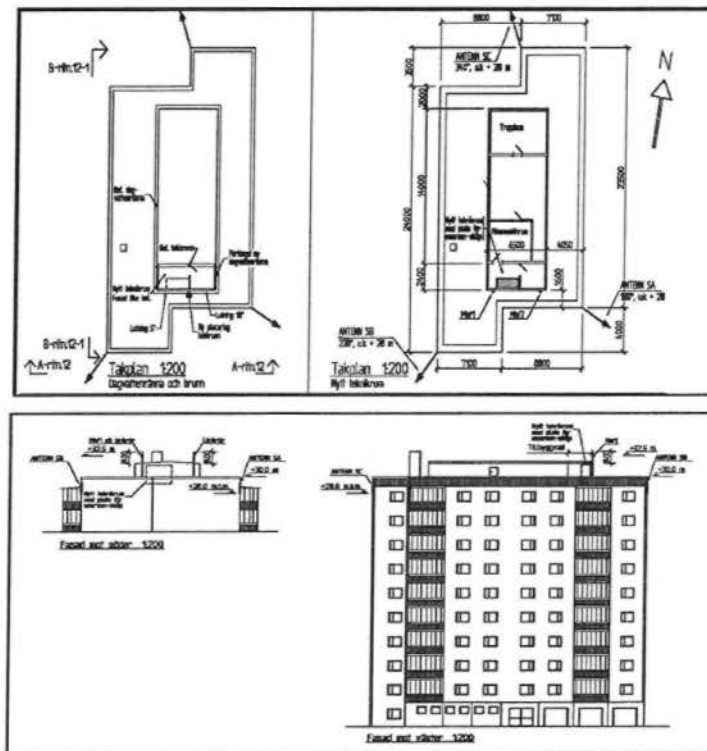
Εάν το κτίριο ή η περιοχή πληροί τις προϋποθέσεις όσον αφορά το τμήμα ραδιοσυχνοτήτων, τότε ξεκινά μια μακρά διαδικασία. Το κτίριο ή η περιοχή πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις και για όλα τα υπόλοιπα τμήματα, το τμήμα απόκτησης, το τμήμα μικροκυματικών, εξοπλισμού, κατασκευής, κλπ. Όλα τα τμήματα πρέπει να συμφωνήσουν για την εγκατάσταση του σταθμού, δεδομένου ότι κάθε ένα από αυτά οφείλει να ικανοποιεί τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε πελάτη. Για το σκοπό αυτό, όταν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σύναψης συμβολαίου, γίνεται ένας επανέλεγχος. Δηλαδή, πραγματοποιείται επίσκεψη όλων

των τμημάτων στο υποψήφιο κτίριο και σχεδιασμός φτάνοντας σε μια κοινή συμφωνία σχετικά με τη θέση και το ύψος των κεραιών, την κατάσταση εξοπλισμού, τις καλωδιώσεις κλπ.

Όμως, παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα που έχουν σχέση με το κομμάτι των ραδιοσυχνοτήτων. Πρώτον το κτίριο είναι πολύ ψηλό και θα απαιτηθεί αρκετό down tilt για να αποφευχθούν παρεμβολές. Μια πρώτη ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν τρεις ιστοί στις άκρες της ταράτσας έτσι ώστε η ίδια η ταράτσα να μην εμποδίζει την διάδοση του σήματος όταν θα εφαρμοστεί μεγάλο down tilt. Αυτό όμως δεν ήταν εφικτό λόγω ακαταλληλότητας της ταράτσας. Άλλη επιλογή είναι να τοποθετηθούν οι κεραιές στις προσόψεις του κτιρίου, έτσι μειώνεται το ύψος (λιγότερες παρεμβολές) και η κατασκευή είναι πιο «κομψή».

Επιλέγεται να τοποθετηθούν οι κεραιές με υψηλό κέρδος 18dBi, με 6° down tilt ηλεκτρικό και με την ποικιλομορφία στην πόλωση (multiplex diversity). Όντας σε αστική ζώνη, τίθενται 2 TRX για κάθε sector με τη δυνατότητα επέκτασης σε 4.

Σχέδια του site πριν την εγκατάσταση του





Ένας άλλος παράγοντας, για τον οποίο ευθύνεται ο radio planner, είναι η επιλογή του τύπου του κατάλληλου καλωδίου. Για το λόγο αυτό υπάρχουν πίνακες του τύπου καλωδίου βασισμένοι στο μήκος καλωδίων από τον εξοπλισμό έως την κεραία , 1/2 ", 7/8" και 1 5/8".

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η τελική διαμόρφωση του σταθμού βάσης

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
COMBINATOR-DUPLEXOR	DUCOM 4:1	DUCOM 4:1	DUCOM 4:1
ΝΟΥΜΕΡΟ ΤΩΝ TRXs	2	2	2
ΕΙΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	Horizontal Beamwidth : 65° Vertical Beamwidth : 7° Electrical Tilt:6° Gain:18dBi DIVERSITY: +45°/-45°	Horizontal Beamwidth : 65° Vertical Beamwidth : 7° Electrical Tilt:6° Gain:18dBi DIVERSITY: +45°/-45°	Horizontal Beamwidth : 65° Vertical Beamwidth : 7° Electrical Tilt:6° Gain:18dBi DIVERSITY: +45°/-45°
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΛΙΣΗ	0°	0°	0°
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	0°	120°	240°
ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	25m L30:7/ 8"	25m L30:7/ 8"	18m L20:1/ 2"
PIRE	54dBm	54dBm	54dBm
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	HPA	HPA	HPA
ΠΡΟΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	NO	NO	NO
ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	NO	NO	NO

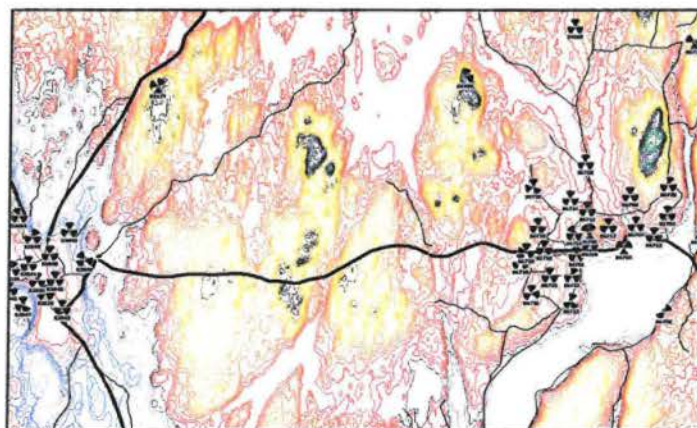
5.3.2 Σχεδιασμός κάλυψης εθνικού οδικού δικτύου

Η εθνική οδός E18 ξεκινάει από την Στοκχόλμη και δυτικά καταλήγει στο Όσλο της Νορβηγίας. Εδώ θα ασχοληθούμε με τη σχεδίαση κάλυψης στο κομμάτι της εθνικής οδού E18 που ενώνει την πόλη Karlskoga και την πόλη Kristinehamn.

Σε τέτοιου είδους περιοχή στις οποίες η κάλυψη εξαρτάται από την ορογραφία της, το όργανο πρόβλεψης είναι ιδιαίτερα χρήσιμο.



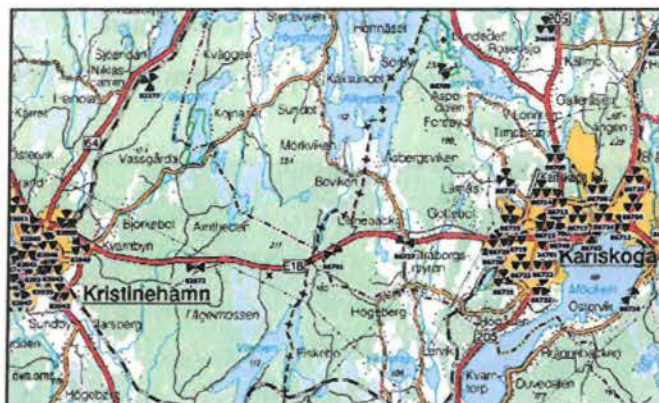
Σχήμα 5.20 Χάρτης της περιοχής



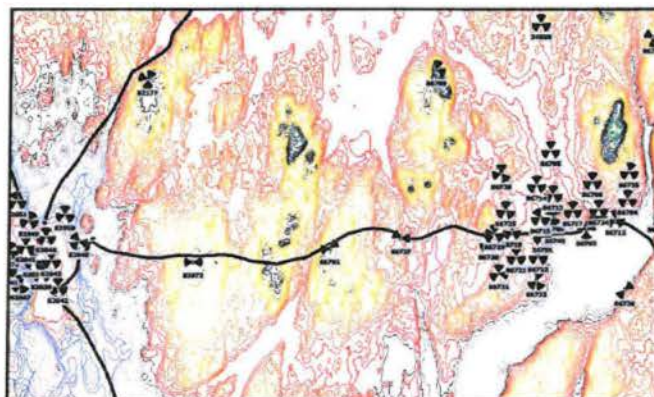
Σχήμα 5.21 Ορογραφία της περιοχής

Για την επαρκή κάλυψη της E18 χρειάζονται 3 sites, ύψους 60m. Σχεδιάζονται με 2 sectors με κατεύθυνση προς τις πλευρές της εθνικής οδού με 1 TRX στο καθένα. Τοποθετείται λοιπόν ένας μικρότερος εξοπλισμός μόνο 2 TRX, ο οποίος θεωρείται επαρκής. Οι κεραιές είναι υψηλής ωφελιμότητας με 2° downtilt ηλεκτρικό και 0° μηχανικό, η κάλυψη θα είναι

επαρκής. Αφού επαληθευτεί η πρόβλεψη, επιλέγεται η λύση τοποθέτησης τριών πυλώνων στα πιο ψηλά σημεία της περιοχής.



Σχήμα 5.22 Nominal sites

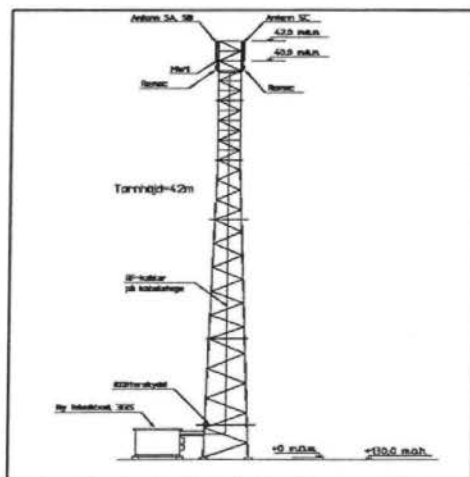


Σχήμα 5.23 Nominal sites και ύψη

Η διαμόρφωση των sites με 2 sectors φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

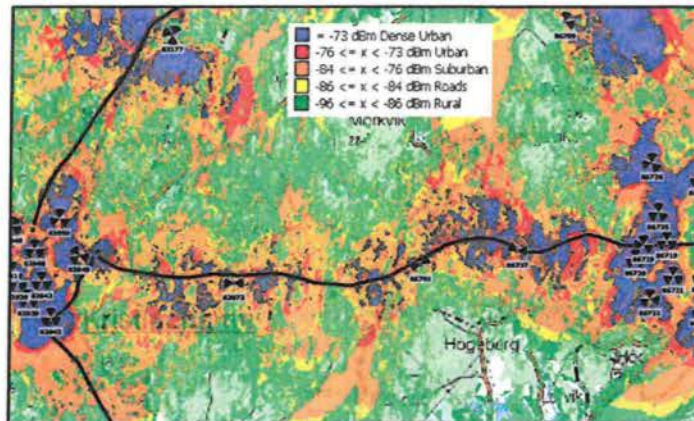
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
COMBINATOR-DUPLEXOR	2:1	2:1	-
ΝΟΥΜΕΡΟ ΤΩΝ TRXs	1	1	-
ΕΙΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	HB: 65° VB:7° ED:2° G:18dBi DIVERSITY: +45°/-45°	HB: 65° VB:7° ED:2° G:18dBi DIVERSITY: +45°/-45°	-
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΛΙΣΗ	0°	0°	-
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	90°	270°	-
ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	60m L60:1 1/5"	60m L60:1 1/5"	-
PIRE	57dBm	57dBm	-
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	HPA	HPA	-
ΠΡΟΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	-
ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	-

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται έχει έναν μείκτη-duplexor που επιτρέπει τη μέγιστη διαμόρφωση 2:1 και πετυχαίνει μια PIRE 57 dBm. Για την επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος μεταξύ downlink και uplink, είναι χρήσιμο να τοποθετηθεί ένας προενισχυτής ιστίου (LNA) πίσω από την κεραία για την καλύτερη λήψη. Επιπλέον το LNA βοηθά στο uplink σε περίπτωση μακρινών συνδέσεων με το κινητό, με αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται καλύτερα οι συνδρομητές της εθνικής οδού.



Σχήμα 5.24 Παράδειγμα σχεδίου πύλωνα

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η προβλεπόμενη κάλυψη και η επαλήθευση του στόχου των sites.

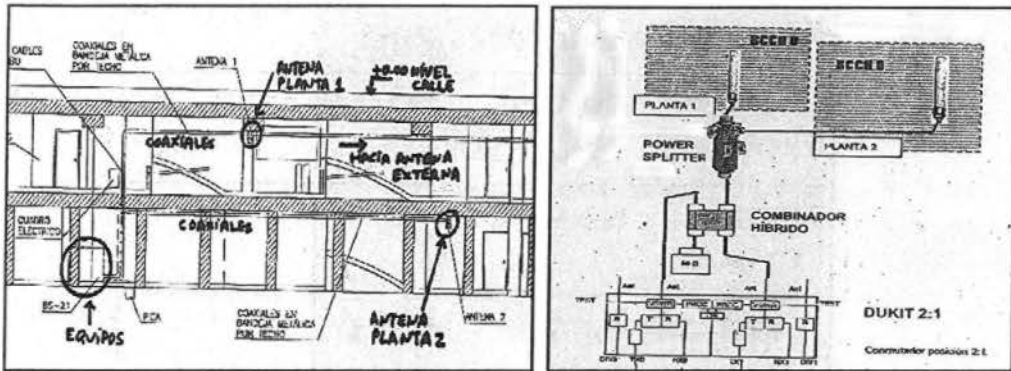


Σχήμα 5.24 Προβλεπόμενη κάλυψη

5.3.3 Σχεδιασμός indoor

Πρόκειται για την περίπτωση σχεδίασης κάλυψης ενός υπόγειου parking το οποίο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, με δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγάλου αριθμού συνδρομητών, ώστε να δικαιολογείται η παρουσία του, δεδομένου ότι το σήμα που φτάνει σε αυτό από τις γύρω κυψέλες δεν είναι αρκετά δυνατό.

Η ιδέα είναι να τοποθετηθεί ένας μικροεξοπλισμός με 2 TRX μέγιστο και να γίνει μια προσπάθεια να καλυφθούν όλα τα επίπεδα του parking. Ούτως ή άλλως ο σταθμός αποτελείται από 2 επίπεδα-ορόφους. Έτσι, μελετώντας τις διαστάσεις και το σχήμα του parking, η λύση που προτείνεται είναι να χρησιμοποιηθούν 2 κεραίες μη κατευθυντικές των 2 dBi, μια για κάθε όροφο, οι οποίες θα τοποθετηθούν στο ταβάνι και στο κέντρο αυτών. Υπολογίζεται ότι με 2 TRX παρέχονται αρκετά καλές υπηρεσίες στους χρήστες του σταθμού. Είναι αναγκαία η χρήση ενός εξωτερικού μίκτη ο οποίος να επιτρέπει το μοίρασμα των 2 TRX, ώστε αν χρειαστεί, σε περίπτωση υπερφόρτωσης του ενός, ο άλλος να παραχωρεί συχνότητες στην κεραία που έχει υπερφορτωθεί. Εξάλλου επειδή από τον μείκτη ξεκινούν δύο καλώδια, χρειάζεται και ένας κατανεμητής δύο γραμμών για να συνδέσει τις δύο εσωτερικές κεραίες.



Σχήμα 5.25 Τοποθεσία των εσωτερικών κερατιών

5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

5.4.1 Προδιαγραφές

Πρώτα πρέπει να γνωρίζουμε το φάσμα συχνοτήτων που έχει ανατεθεί στον operator A. Αυτός δίνει στον προμηθευτή την εξουσιοδότηση να χρησιμοποιήσει όλα τα κανάλια χωρίς κάποια ιδιαίτερη υποδιαίρεση. Στο σύνολο είναι 67 ζεύγη καναλιών, με υποδιαίρεση 200 kHz.

ARFCN	UPLINK (MHz)	DOWNLINK (MHz)
803	1768.4	1863.4
804	1768.6	1863.6
...
868	1781.4	1876.4
869	1781.6	1876.6

Με βάση αυτόν τον κανόνα θα πρέπει να επιτευχθούν οι συχνότητες για όλους τους σταθμούς βάσης που θα εγκατασταθούν, ελαχιστοποιώντας πάντοτε τις παρεμβολές.

Οι βασικότερες προδιαγραφές που τίθενται από τον operator είναι οι παρακάτω :

1. Η ελάχιστη τιμή του C/I θα είναι 12dB χωρίς Frequency Hopping.
2. Θα κατανεμηθούν κανάλια για φέρουσες BCCH και TCH ταυτόχρονα, δηλ να μην υπάρχει διαφορετικός σχεδιασμός. Κατά την έναρξη δεν προβλέπεται η χρήση Frequency Hopping.
3. Τα ελάχιστα όρια που έχουν σχέση με την απόσταση των καναλιών είναι τα ακόλουθα:

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ SITES	2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΚΥΨΕΛΩΝ	2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΙΤΟΝΩΝ	2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ 2 ^{ΩΝ} ΓΕΙΤΟΝΩΝ	1
ΚΙΝΗΣΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ BCCH	1%
ΚΙΝΗΣΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ TCH	3%
ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	TRAFFIC

3. Είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές στο BCCH .

5.4.2 Διαδικασία ανάθεσης

Η πραγματοποίηση ενός σχεδίου συχνοτήτων είναι αδύνατη χωρίς τη βοήθεια ενός software εργαλείου για σχεδιασμό. Το εργαλείο αυτό συμβαδίζει με την πρόβλεψη κάλυψης αφού πρέπει να λειτουργήσουν μαζί.

5.4.2.1 Βάσεις δεδομένων που συμμετέχουν

Οι κύριες βάσεις δεδομένων και αρχείων που το πρόγραμμα χρειάζεται για να συμβουλευτείται είναι:

- **SITE DATABASE:** περιέχει πληροφορίες που αφορά το κατασκευαστικό κομμάτι, τον αριθμό των sectors, το ύψος των κεραιών, το μοντέλο διάδοσης. Είναι η πηγή των βασικών πληροφοριών για την πρόβλεψη της κάλυψης.
- **CARRIER DATABASE:** περιέχει την πληροφορία που αφορά τις απαιτήσεις ως προς την ταυτότητα του κάθε site, όπως των LAC, BSIC και CID.
- **HANDOVER FILE:** περιέχει τον κατάλογο των γειτόνων κυψελών.
- **EXCEPTION FILE:** περιέχει έναν κατάλογο από εξαιρέσεις, δηλ, οι κυψέλες εκείνες μεταξύ των οποίων δεν είναι δυνατόν να έχουν το ίδιο κανάλι ακόμα και αν δεν είναι γειτονικές.

- **INTERFERENCE FILE**: περιέχει την πληροφόρηση του πίνακα παρεμβολών
- **SITE LIST FILE** : περιέχει τον κατάλογο των sites που θα συμπεριληφθούν στο σχέδιο.
- **C/I WEIGHTS FILE**: περιέχει την πληροφορία σχετικά με τα όρια του C/I και το ποσοστό κλήσεων που μπορεί να επηρεάσει.

5.4.2.2 Πιθανός αριθμός συχνοτήτων και απαιτούμενες συχνότητες

Κατ'αρχάς θα πρέπει να δώσουμε τον αριθμό των καναλιών που διατίθενται, 67 στο πρόγραμμα αυτό για BCCH και TCH, καθώς και το ARFCN.

Κατόπιν, θα πρέπει να συμπληρωθεί το Carrier DataBase με τις απαιτήσεις του TRX κάθε sector του κάθε site. Πάντα πρέπει να υπάρχει φέρουσα για BCCH. Οπότε, για μια διαμόρφωση του 1 TRX, η παροχή είναι απαραίτητη για το BCCH.

Το CID και το BSIC υπολογίζονται αυτόματα από τα βοηθητικά προγράμματα, αλλά το LAC θα πρέπει να το υποδείξουμε.

5.4.2.3 Δημιουργία καταλόγου γειτονικών κυψελών

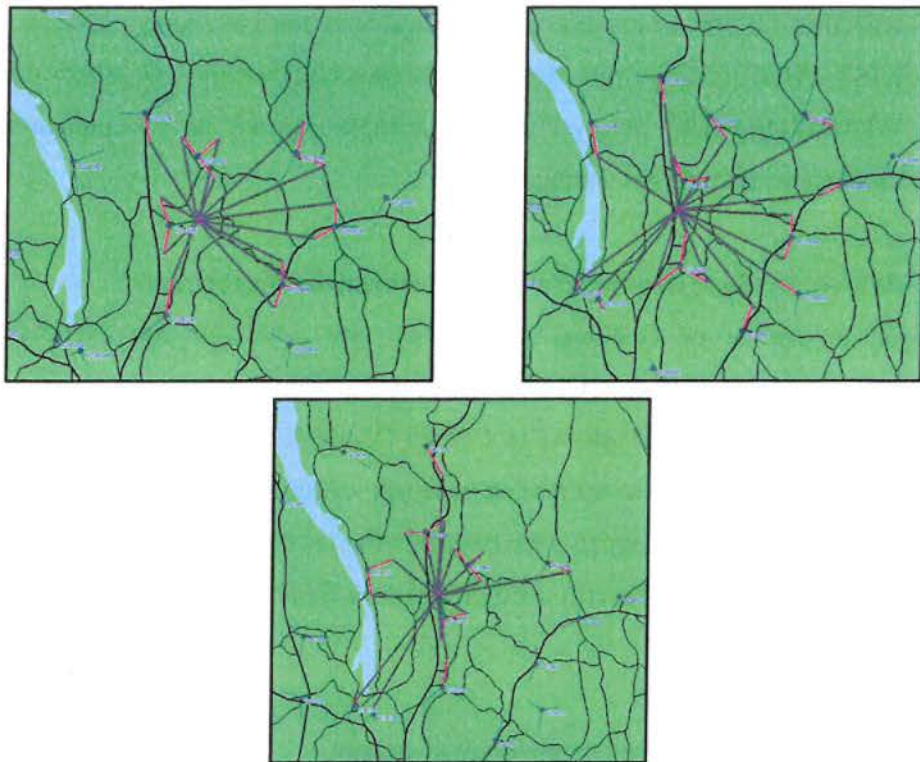
Πρόκειται για την συμπλήρωση του HANDOVER FILE. Είναι ένα βασικό σημείο, μιας και τα sites που είναι γειτονικά και αυτά, που εκ των υστέρων είναι πλησίον τους, θα πρέπει να πληρούν τους όρους διατήρησης των ορίων. Με αυτόν τον τρόπο, ένα μεγάλο νούμερο γειτονικών sites, ίσως δημιουργήσει πρόβλημα κατά την ανάθεση συχνοτήτων, αλλά και από την άλλη, το να ξεχάσεις να δηλώσεις ένα κοντινό site ως γειτονικό σημαίνει διακοπή της τηλεφωνικής κλήσης.

Το πρόγραμμα μπορεί αυτόματα να δημιουργήσει τον κατάλογο, αλλά δεν είναι ότι καλύτερο. Προτείνεται αυτό να το κάνει ο ίδιος ο radio planner. Σε κάθε περίπτωση, αυτό απαιτεί πολύ υπομονή και γνώση της περιοχής και των sites. Εκτός από τις κυψέλες του ίδιου του site, δεν θα πρέπει να ξεχνάμε και τις άλλες υποψήφιες κυψέλες για Handover.

→ Κυψέλες των οποίων οι κεραιές δείχνουν στην ίδια ευθεία, είτε από μπροστά είτε από πίσω.

→ Κυψέλες των οποίων οι κεραιές δείχνουν προς την ίδια περιοχή.

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζονται οι γείτονες του κεντρικού site της οθόνης.



Σχήμα 5.26 Γειτονικές κυψέλες

5.4.2.4 Δημιουργία λίστας παρεμβολών

Πρώτα θα πρέπει να γίνουν κάποιες κινήσεις :

- 1) Πρόβλεψη κάλυψης των sites που απαιτούνται για τον σχεδιασμό
- 2) Ενημέρωση του C/I WEIGHTS FILE
- 3) Ενημέρωση του CLUTTER WEIGHTS FILE

Πρόκειται για μια αξιολόγηση.

Σε μια αστική περιοχή η αξιολόγηση είναι πιο αυστηρή από ότι σε μια αγροτική. Η αξιολόγηση ανά clutter χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν έχουμε στη διαθεσή μας στατιστικά στοιχεία, για τον αριθμό των τηλεφωνικών κλήσεων. Σε περίπτωση που θα υπήρχαν θα μπορούσε να γίνει κάποια αξιολόγηση της κάθε περιοχής.

Κατόπιν αυτού, το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα την λίστα των παρεμβολών.

5.4.2.5 Εξαιρέσεις

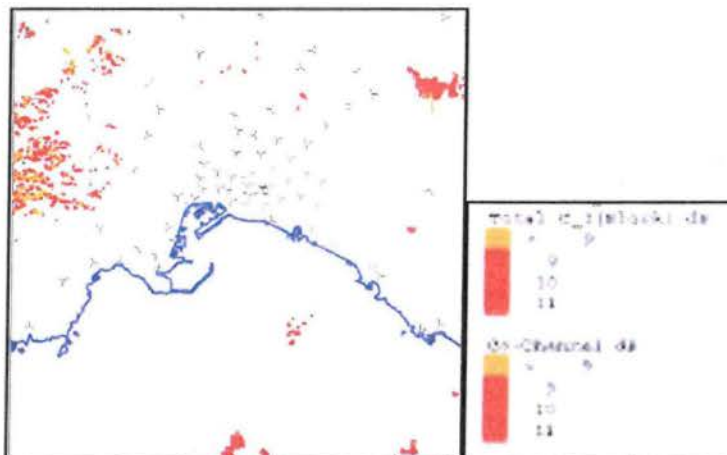
Οι εξαιρέσεις χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της παρεμβολής των καναλιών μεταξύ των sites. Είτε από εμπειρία είτε λόγω λήψης κάποιων μέτρων, είναι δυνατόν να γνωρίζουμε ότι μια συχνότητα από την κυψέλη A θα φθάνει στην κυψέλη B, η οποία βρίσκεται πολύ μακριά.

Έτσι, δεν πρέπει το πρόγραμμα να χορηγήσει την ίδια συχνότητα και για τις δύο κυψέλες. Ένας άλλος τρόπος είναι να ορισθούν ως γείτονες αλλά δεν θα είχε νόημα, διότι αν μετά γινόταν handover μεταξύ αυτών, οι γείτονες της παλιάς θα ήταν αρκετά μακρινά από την νέα κυψέλη, οπότε θα υπήρχαν διακοπές στις τηλεφωνικές κλήσεις. Συνεπώς, ο καλύτερος τρόπος είναι να δημιουργηθεί μια εξαίρεση μεταξύ της κυψέλης A και της B.

Οι εξαιρέσεις συνήθως χρειάζονται στις περιπτώσεις που τα sites είναι πολύ ψηλά, ή στις περιοχές που μεταξύ τους υπάρχει θάλασσα ή μια περιοχή καθαρή (χωρίς εμπόδια). Οι εξαιρέσεις καταγράφονται στο exception file.

5.4.2.6 Αυτόματη ανάθεση συχνότητων

Το πρόγραμμα αρχίζει να "τρέχει". Όταν τελειώσει, ο αριθμός των παραβάσεων στα όρια που του ετέθησαν, θα πρέπει να είναι μηδενικός. Εάν επιτευχθεί αυτό, επιτυγχάνεται η ανάθεση συχνότητας για όλα τα ζητούμενα TRX, και το αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη ενός χάρτη με το C/I. Ένα παράδειγμα είναι το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.27 Απεικόνιση C/I

Εάν το αποτέλεσμα δεν μας ευχαριστεί όπως πχ μπορεί να υπάρχουν παρεμβολές στο κέντρο της πόλης ή στον αυτοκινητόδρομο τότε θα πρέπει να γίνουν αλλαγές. Επίσης κάποιες φορές, το πρόγραμμα δεν μπορεί να επεκταθεί περισσότερο και οι παραβιάσεις δεν είναι μηδενικές, δηλ, ακόμη υπάρχουν TRX που δεν έχουν συχνότητα. Θα πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις.

- Μείωση ή αλλαγή γειτόνων
- Αύξηση του down-tilt
- Αλλαγή τύπου κεραίας

- Τοποθέτηση στο μηδέν το διάστημα των καναλιών μεταξύ δευτερευόντων γειτόνων
- Αύξηση του ποσοστού των κλήσεων που επηρεάζονται.

Αν προσέξουμε στο παραπάνω σχήμα, οι χρωματισμένες περιοχές δεν πληρούν την προϋπόθεση $C/I = \eta >$ του 12 . Εν τούτοις, βρίσκονται σε περιοχές με λίγο πληθυσμό ή στην θάλασσα.

Οπότε το αποτέλεσμα είναι αρκετά καλό και αποδεκτό.

5.4.2.7 Χειροκίνητη ανάθεση συχνοτήτων

Μερικές φορές ασχέτως αν έχουν γίνει οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν, το πρόγραμμα δεν είναι σε θέση να δώσει συχνότητα σε όλες τις κυψέλες. Στις περιπτώσεις αυτές αυτό θα πρέπει να γίνει με το χέρι.

Ζουμάρουμε στην οθόνη αρκετά ώστε να βλέπουμε τους γείτονες και τους πιθανούς παρεμβάλλοντες και δοκιμάζουμε καθεμία από τις 67 συχνότητες, διαλέγοντας την καλύτερη. Η ιδέα είναι να εκμεταλλευτούμε τις συχνότητες που ήδη υπάρχουν σε κυψέλες τις οποίες το πρόγραμμα θεωρεί ότι θα προκαλούσαν παρεμβολές μεταξύ των καναλιών, αλλά ο radio planner πιστεύει ότι δεν είναι έτσι ή τουλάχιστον ότι το αποτέλεσμα θα ήταν αποδεκτό.

5.5 FIRST TUNING

5.5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Το first tuning θα μπορούσε να ονομαστεί ως η πρώτη ρύθμιση στο ξεκίνημα του δικτύου.

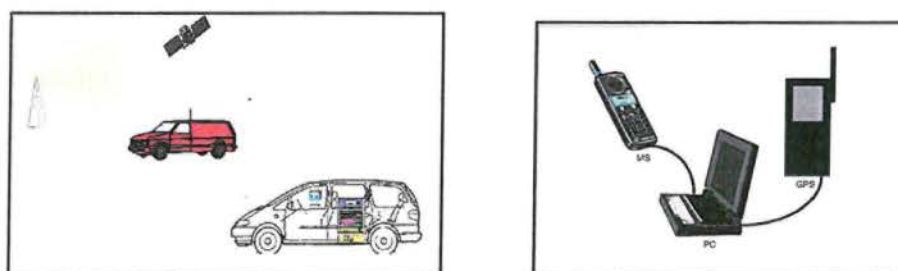
Βασικά, μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες λαθών που πρέπει να διορθωθούν:

1. Ξεκινώντας τη λειτουργία τους οι σταθμοί, πρέπει να διαπιστωθεί αν λειτουργούν/εκπέμπουν και ότι όλα βαίνουν όπως είχαν σχεδιαστεί. Τα TRX μπορεί να είναι κατεστραμμένα, τα καλώδια μπορεί να είναι μπερδεμένα, οι συχνότητες να είναι λάθος, τα BTS να έχουν διακοπές με μεγάλη συχνότητα λόγω συναγερμών, λάθη συγχρονισμού και άλλα.
2. Επιπλέον, επιτρέπουν να γίνουν διορθώσεις στα λάθη σχεδιασμού, όπως ξεχασμένους γείτονες, ανάγκη tilt, λανθασμένες κατευθύνσεις κεραιών, απρόβλεπτες παρεμβολές και άλλα.

5.5.2 DRIVE TESTS

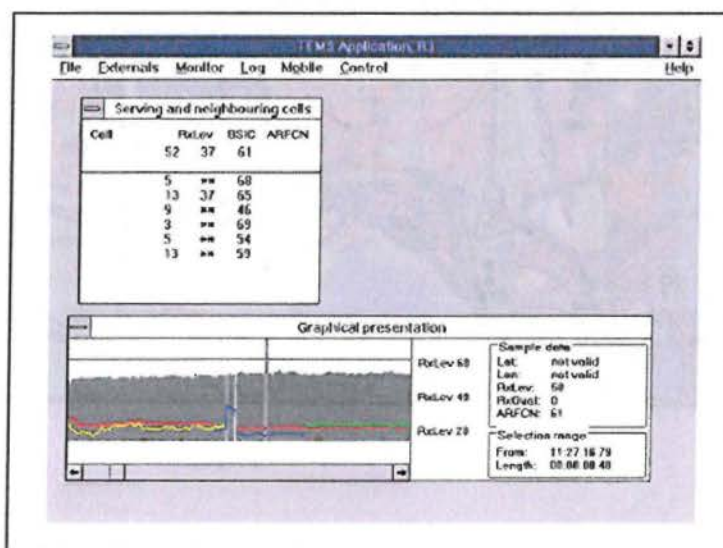
Είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται το first tuning. Οδηγούμε γύρω από όλα τα sites και διαπιστώνουμε την κάλυψη, την ποιότητα και τα Handover μεταξύ αυτών.

Αυτό που χρειάζεται είναι ένα όχημα, ένας οδηγός, ένας που να επιβλέπει τη διαδρομή και να ελέγχει την οθόνη του φορητού υπολογιστή, ένα GPS, μια εξωτερική κεραία, ένα κινητό τηλέφωνο TEMS Ericsson και ένας φορητός υπολογιστής με το πρόγραμμα TEMS Ericsson, το οποίο επιτρέπει μια αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο των όσων μετράει το κινητό.



Σχήμα 5.28 Εργαλεία μετρήσεων

Στο όχημα θα πρέπει να γίνει μια πρώτη ανάλυση και μια προσπάθεια εντοπισμού των λαθών, τα οποία θα πρέπει να σημειωθούν ώστε κατόπιν να βοηθήσουν στη λεπτομερή ανάλυση που θα γίνει στο γραφείο. Οι πληροφορίες γράφονται στα log files, που είναι οι έξοδοι του software TEMS INVESTIGATION. Τα log files αργότερα θα αναλυθούν σε Marinfo διαμέσου της χρήσης GIMS ή με το πρόγραμμα TEMS σχεδιασμού, το οποίο φέρει ένα εργαλείο για την ανάλυση των μετρήσεων.



Σχήμα 5.29 Γραφικό περιβάλλον του TEMS INVESTIGATION

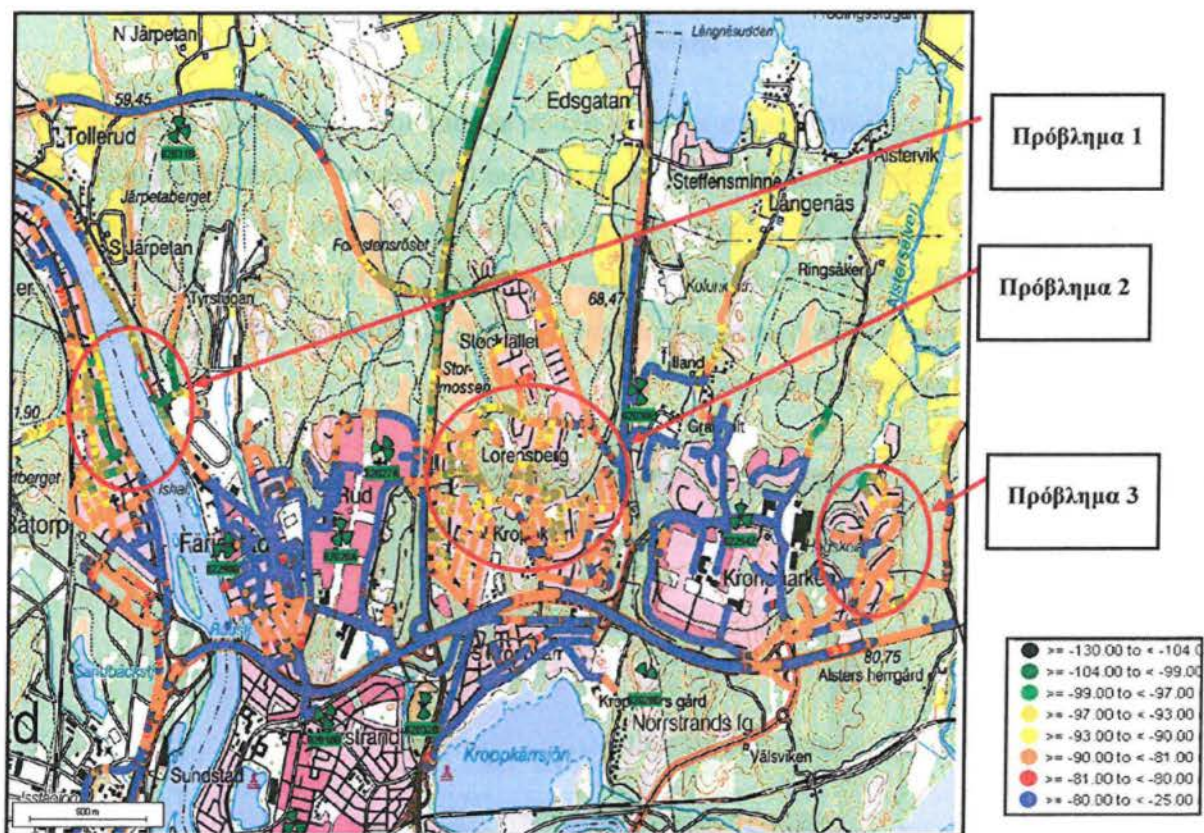
5.5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα εργασιών του first tuning.

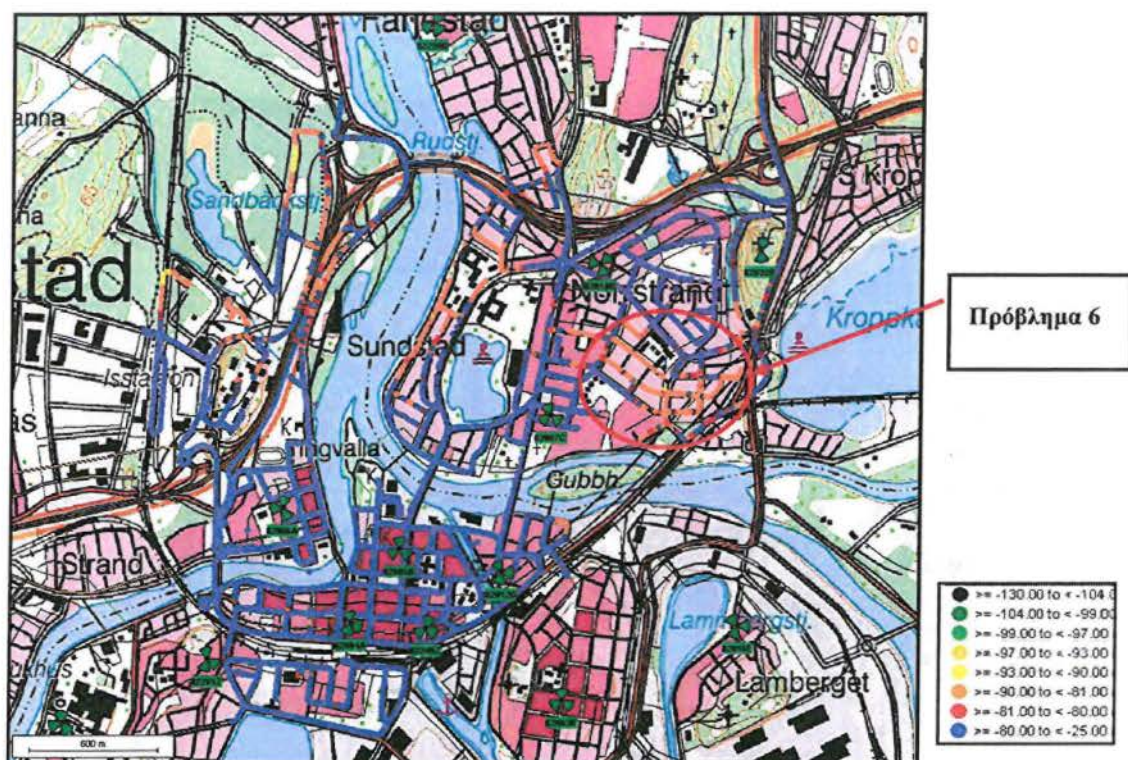
5.5.3.1 Σύγκριση των επιπέδων κάλυψης

Μετά τις μετρήσεις πρέπει να γίνει απεικόνιση του RXLEVEL σε χάρτη. Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζεται η κάλυψη που επιτεύχθηκε σε κάποιες περιοχές του Karlstad. Αυτό επιτρέπει να πούμε ότι όλα τα TRX λειτουργούν. Μια επιπλέον χρησιμότητα αυτών των αποτελεσμάτων, θα είναι να αποδείξουμε στον operator ότι υπάρχει ανάγκη ενός επιπλέον site.

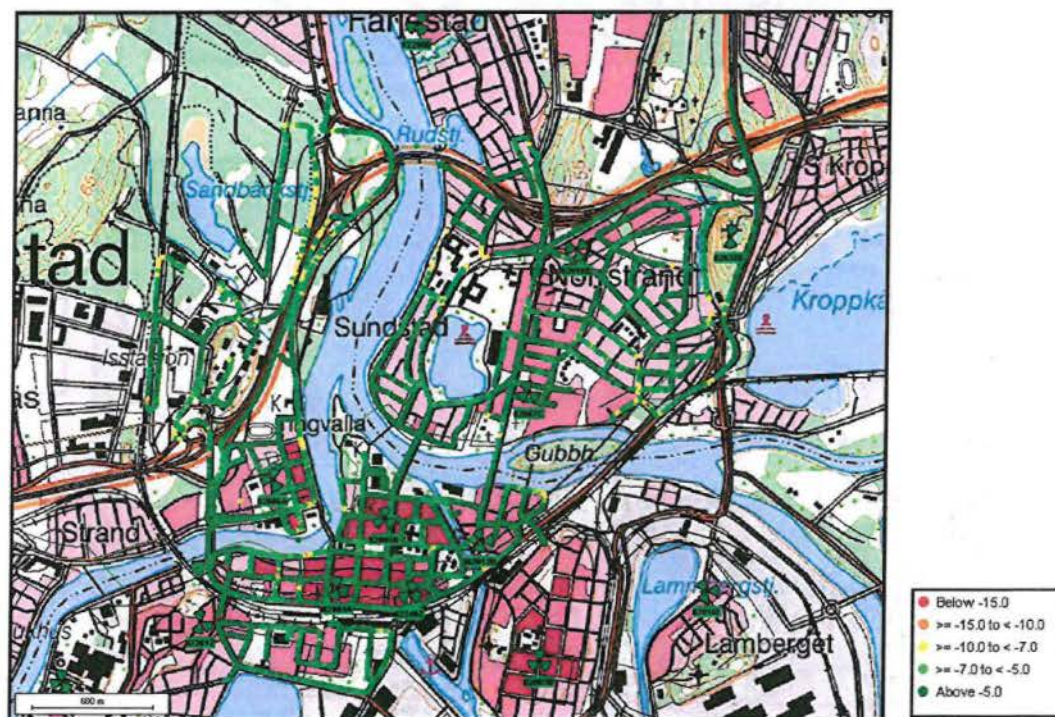
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η εικόνα του RXLEVEL του RXQUALITY και των παρεμβολών, δύο περιοχών του Karlstad, μέσω της χρήσης του προγράμματος σχεδιασμού καθώς και επεξήγηση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν.



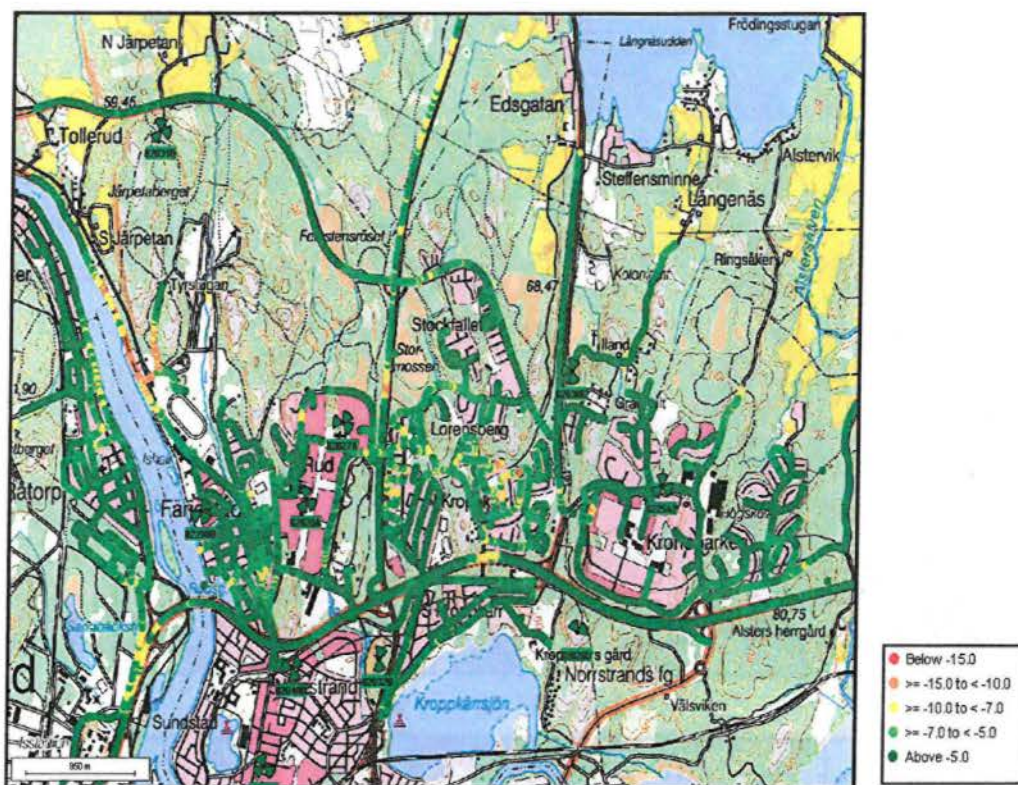
Σχήμα 5.30 RxLevel περιοχής A



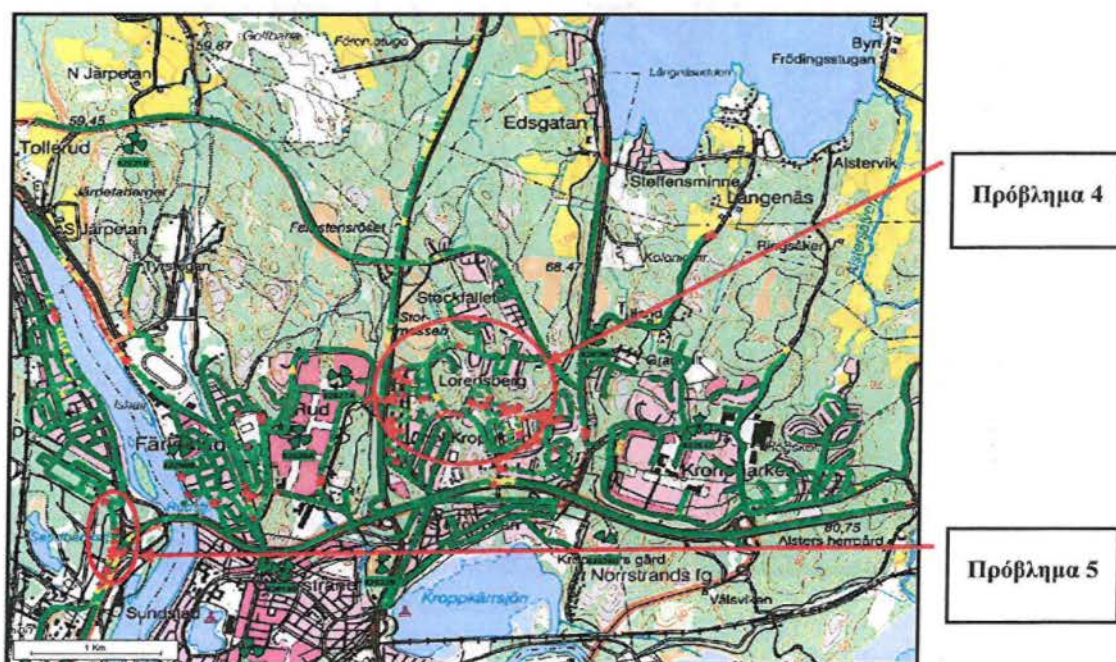
Σχήμα 5.33 Rx Level περιοχής B



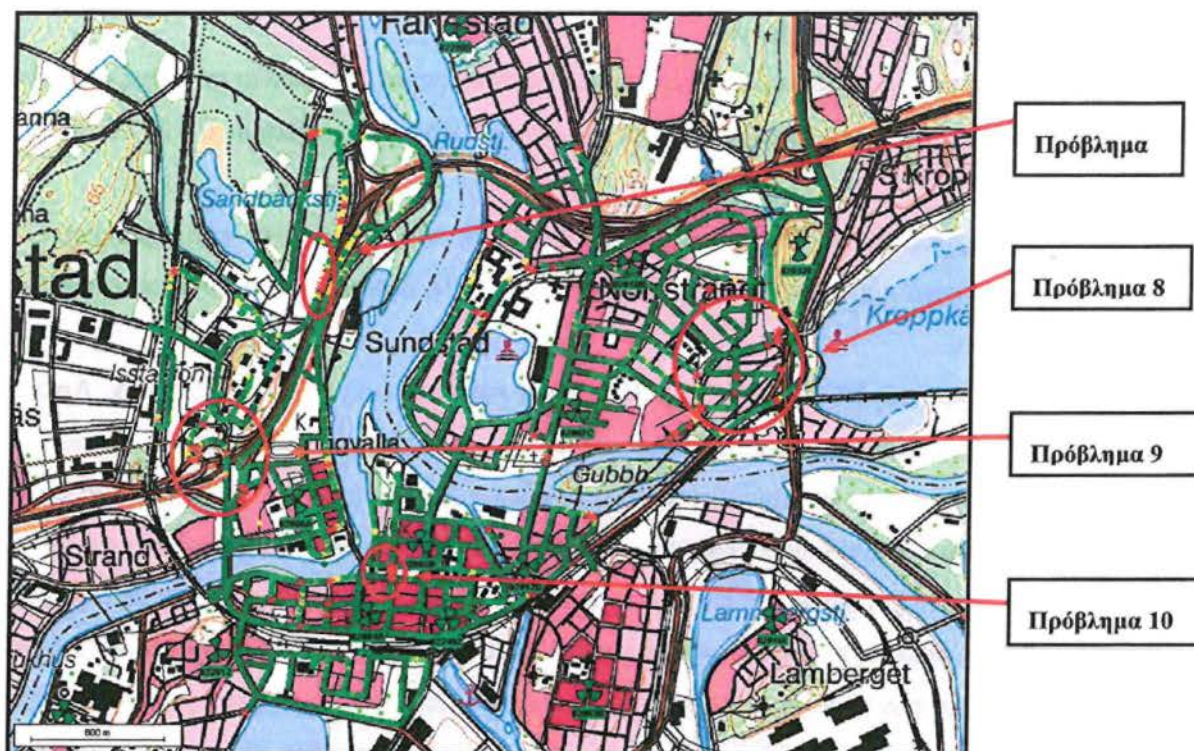
Σχήμα 5.34 RxQuality περιοχής B



Σχήμα 5.31 RxQuality περιοχής Α



Σχήμα 5.32 Παρεμβολές περιοχής Α



Σχήμα 5.35 Παρεμβολές περιοχής Β

5.5.3.2 Προβλήματα κάλυψης

Πρόβλημα 1 : Η περιοχή έχει χαμηλό σήμα και κακή ποιότητα. Εκεί βρίσκεται και η αρένα του Ice Hockey. Μετά από μετρήσεις βρέθηκε ότι μέσα στην αρένα η ισχύς του σήματος είναι πολύ χαμηλή. Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται ένα καινούργιο site γιατί τα υπάρχοντα sites είναι μακριά για να καλύψουν την κατοικημένη αυτήν περιοχή με το απαιτούμενο σήμα και την αρένα εσωτερικά. Ένα καινούργιο site επάνω στην αρένα του Ice Hockey θα προταθεί ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του πελάτη για κάλυψη και ποιότητα στην περιοχή.

Πρόβλημα 2 & 4 : Στην περιοχή βρέθηκε χαμηλό σήμα και πολλές παρεμβολές. Και τα δύο αυτά προβλήματα μπορούν να βελτιωθούν αλλάζοντας τα tilt (up tilt) των γύρω sites. Έτσι η ισχύς του σήματος θα αύξηθει και οι παρεμβολές θα μειωθούν ή θα εξαφανιστούν.

Πρόβλημα 3 : Στην περιοχή αυτήν βρίσκονται τα πανεπιστημιακά κτήρια και οι κοιτώνες των φοιτητών. Για να βελτιωθεί η κάλυψη θα χρειαστεί να αλλάξουμε το tilt (up tilt) του 2^{οο} sector του site 82254Z , ο οποίος είναι και ο κύριος sector που καλύπτει την περιοχή.

Πρόβλημα 6 : Για να βελτιωθεί η ισχύς του σήματος σε αυτήν την περιοχή θα χρειαστεί να αλλάξουμε το tilt (up tilt) του sector 82010B2 και την κατευθυντικότητα του sector 82007C1.

5.5.3.3 Εντοπισμός παρεμβολών

Όταν υπάρχει καλό σήμα, αλλά παρατηρείται κακή ποιότητα, αυτό είναι συνήθως σύμπτωμα παρεμβολών μεταξύ των καναλιών. Αυτό φαίνεται καθαρά στα προβλήματα 5 & 7 & 8 & 9 & 10.

Συνήθως πρόκειται για παρεμβολή πάνω σε TCH, που είναι αυτό που εξυπηρετεί. Το παρεμβαλλόμενο σήμα συνήθως προέρχεται από BCCH, δεδομένου ότι αυτά εκπέμπουν στη μέγιστη ισχύ.

Οι παρεμβολές των BCCH πάνω στα TCH είναι πολύ πιο εύκολο να εντοπιστούν. Αρκεί να οδηγηθεί ξανά η περιοχή που παρουσιάστηκαν παρεμβολές, με TEMS, με τον τρόπο IDLE (χωρίς κλήση), οπότε θα συνδεθεί μόνο η κυψέλη που εξυπηρετείται με BCCH και έτσι θα μπορούμε να εντοπίσουμε από που προέρχεται η παρεμβολή. Στην περίπτωση της παρεμβολής BCCH πάνω σε BCCH, ο εντοπισμός είναι πιο δύσκολος και θα πρέπει να οδηγήσουμε αρκετές φορές και σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα εργαλεία εντοπισμού είναι η γνώση όλων των sites και η πείρα. Οι κυριότερες λύσεις στις παρεμβολές είναι η αύξηση ή η μείωση του tilt, η αύξηση των εξαιρέσεων, η μείωση του ύψους, η αλλαγή της κατευθυντικότητας των κεραιών.

5.6 ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το δίκτυο που παραδίδεται από τον προμηθευτή στον επιχειρηματία - πελάτη, πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις που προβλέπονται στο συμβόλαιο. Αυτές, υποτίθεται ότι πληρούνται επαρκώς, ύστερα από την ενεργοποίηση του first tuning.

Το σχέδιο αποδοχής βασίζεται κυρίως σε δύο σημεία.

1. Αποδοχή της κάλυψης
2. Αποδοχή της ποιότητας

Τόσο η κάλυψη όσο και η ποιότητα διαπιστώνονται κάνοντας drive tests στις περιοχές. Η περιοχή αποδοχής συνήθως χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές οι οποίες γίνονται δεκτές ή δεν γίνονται, η κάθε μία χωριστά. Κάθε περιοχή αποτελείται από ένα πολύγωνο, που είναι μια περιοχή η οποία περιέχει διάφορα sites. Μέσα σε κάθε πολύγωνο καθορίζονται κάποιες διαδρομές που συμφωνούνται με τον πελάτη. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν με TEMS INVESTIGATION, με τη μέθοδο Dedicated Mode (κατά τη διάρκεια κλήσης, τα δεδομένα καταγράφονται από το κινητό τηλέφωνο) και με τη μέθοδο Scan Mode (με scanner, τα δεδομένα καταγράφονται από τον scanner), οι οποίες επιτρέπουν τον έλεγχο όλων των

καναλιών. Έτσι, όπως το TEMS μπορεί να μετρήσει 24 BCCH με γραφική αναπαράσταση, 3 TEMS σε SCAN θα ήταν ο καλύτερος αριθμός, μιας και το συνολικό νούμερο των ζευγαριών των καναλιών είναι 67.

Τα files που δημιουργούνται από το τηλέφωνο και τον scanner χρησιμοποιούνται για τη αναπαράσταση του RxLevel και RxQuality πάνω σε ψηφιακούς χάρτες. Τα σχεδιαγράμματα και τα στατιστικά που θα πρέπει να παρουσιαστούν στον πελάτη είναι συνήθως: REXLEV, RXQUAL, DROPPED CALL RATE, HO FAILURE RATE και NETWORK ACCESIBILITY.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

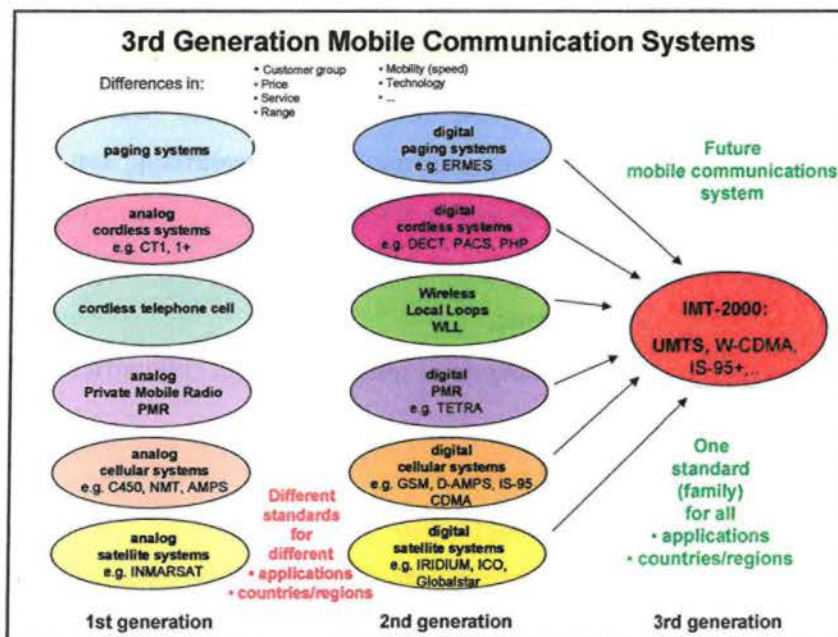
ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ GSM

Ο κόσμος της κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσεται θεαματικά και εξαπλώνεται στην αγορά με γρήγορους ρυθμούς. Ωστόσο, η αγορά έχει κάθε φορά και περισσότερες απαιτήσεις για εξυπηρέτηση. Το μέλλον του GSM έχει περισσότερους συνδρομητές, περισσότερα δίκτυα και περισσότερες υπηρεσίες. Η κυρίαρχη αρχή που οδηγεί σε αυτό το μέλλον είναι η Τρίτη και η Τέταρτη Γενιά Συστημάτων Κινητής Τηλεφωνίας.

6.1 ΤΡΙΤΗ ΓΕΝΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

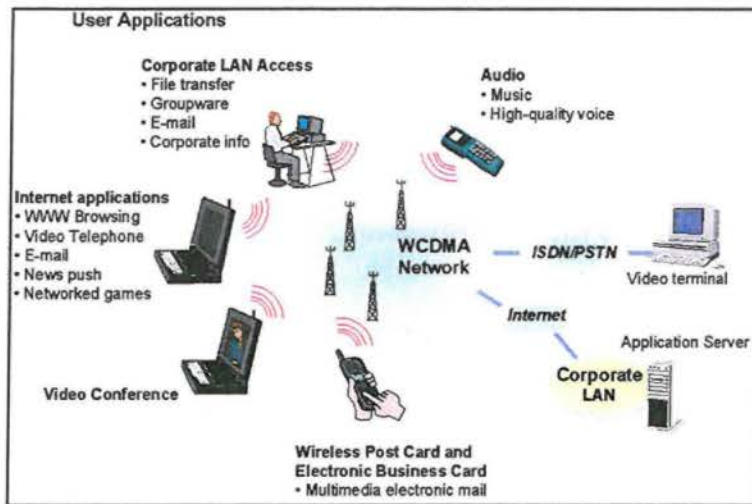
6.1.1 Εισαγωγή

Τα αναλογικά συστήματα κατατάσσονται στα πρώτης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας και τα ψηφιακά συστήματα στα δεύτερης γενιάς. Τα τρίτης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας έχουν εισέλθει δυναμικά στην εποχή μας.



Σχήμα 6.1 Συστήματα κινητής τηλεφωνίας

Ένα χαρακτηριστικό της τρίτης γενιάς υπηρεσιών είναι η ικανότητα των κατασκευαστών να προσφέρουν παράλληλα διάφορες υπηρεσίες σε κάθε συνδρομητή/τερματικό. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης μπορεί να πραγματοποιεί κλήση φωνής και παράλληλα να έχει τη δυνατότητα εισαγωγής στο internet για την εύρεση σημαντικών πληροφοριών ή να λαμβάνει μέρος σε μία video-συνδιάλεξη και την ίδια στιγμή να ανταλλάσσει e-mails και/ή multimedia mails.



Σχήμα 6.2 Υπηρεσίες κινητών πολυμέσων

6.1.2 Υπηρεσίες

Οι γενικές αρχές των συστημάτων τρίτης γενιάς είναι ομαδοποιημένες κάτω από την αρχή των συστημάτων International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000), και προσδιορίζονται ως ITU-T. Αυτό είναι ένα κομμάτι της ανάπτυξης του Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) από το ETSI. Το UMTS δίνει ταχύτητες για δεδομένα ευρείας περιοχής/υψηλής κινητικότητας από 384Kbits/sec έως και 14Mbits/sec για κάλυψη τοπικών περιοχών/αργής κινητικότητας.

Το εύρος συχνοτήτων για αυτές τις υπηρεσίες τρίτης γενιάς έχει καθοριστεί στα 2 GHz.

Κάποιες βασικές UMTS υπηρεσίες είναι :

- Φωνή/υψηλής ποιότητας ακουστική (audio)
- Μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας περιλαμβανομένων φωτογραφιών
- Ηλεκτρονικά καρτποστάλ (e-postcards) σε συνδυασμό με ψηφιακές κάμερες
- Βίντεο-συνδιαλέξεις και πολυμέσα
- Παράδοση νέων επικαιρότητας (φωνή, βίντεο, e-mail, γραφικά)
- E-mail πολυμέσων (κείμενο, γραφικά, video clips)
- Interactive audio (φωνή ποιότητας CD, video, γραφικά)
- Βίντεο-συνδιαλέξεις και μεταφορά μεγάλων αρχείων
- Web browsing (dynamic Internet-based games)
- "Κατέβασμα" μεγάλων αρχείων από εσωτερικό δίκτυο (intranet)
- Πληροφορίες περιοχής

- Ηλεκτρονικό εμπόριο
- Τηλεμετρία για κίνηση και συστήματα ασφαλείας

6.1.3 Υλοποίηση

Οι περισσότερες κατασκευαστικές εταιρίες έχουν ήδη δώσει τη λύση για UMTS χρησιμοποιώντας Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) και GSM.

6.1.3.1 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

Σαν μέθοδο εισαγωγής το Code Division Multiple Access (CDMA) είναι εναλλακτικό του TDMA. Ωστόσο υπάρχουν μερικές διαφορές μεταξύ TDMA και CDMA.

Η βασική αρχή του CDMA είναι η διαχείριση των χρηστών των κινητών χωρίς τη διαίρεση της ραδιο-φέρουσας (radio carrier) σε time slots.

Αντιθέτως, σε κάθε κινητό MS δίνεται ένα "κλειδί αποκωδικοποίησης". Έπειτα η πληροφορία για μερικά κινητά MS εκπέμπεται στο downlink. Τότε μέσω λειτουργιών του κινητού MS γίνεται η ανάλυση και η αποκωδικοποίηση μόνο της πληροφορίας που το αφορά. Η ασφάλεια εξασφαλίζεται καθώς το κινητό MS δεν έχει το "κλειδί αποκωδικοποίησης" που έχει σταλεί στα άλλα κινητά οπότε και δεν θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει την πληροφορία που απευθύνεται σε αυτά.

Το πρόβλημα παρεμβολής αποφεύγεται χρησιμοποιώντας "ευφείς" λειτουργίες, αλλά όσο ο αριθμός των χρηστών στην ίδια φέρουσα αυξάνεται, γίνεται πιο δύσκολο για το κινητό να αποκωδικοποιήσει την δική του πληροφορία. Γι'αυτό είναι επιθυμητή η ύπαρξη ενός Wide Bandwidth όταν χρησιμοποιείται CDMA. Αυτό μας οδηγεί στον όρο **WCDMA**.

Οι υπηρεσίες του UMTS εμπεριέχουν μεταφορά μεγάλης ποσότητας δεδομένων προς και από το κινητό.

Δεδομένου του μεγάλου bandwidth, κάθε σύνδεση τερματικού WCDMA έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί διάφορες υπηρεσίες ταυτόχρονα.

6.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ GSM ΣΕ UMTS

Το GSM έχει εξελιχθεί για να συναντήσει τις απαιτήσεις των δεδομένων υψηλής ταχύτητας μέσω δύο συμπληρωματικών εξελίξεων.

Πρώτον, το υπάρχον δίκτυο έχει εξελιχθεί ώστε να παρέχει υψηλά bit rates για ευρεία περιοχή κάλυψης, μέσω HSCSD και packet-switched data μέσω General Packet Radio Services (GPRS) το οποίο παρέχει ταχύτητες δεδομένων έως 115 Kbits/s.

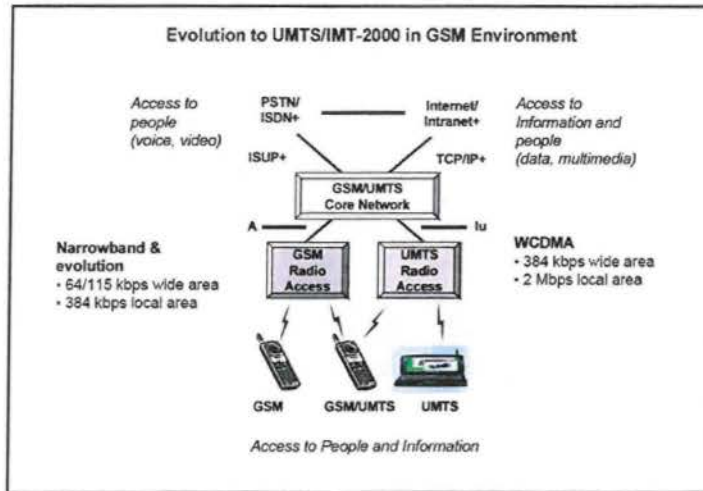
Δεύτερον, το GSM έχει εξελιχθεί για να συναντήσει τις απαιτήσεις της τρίτης γενιάς προσφέροντας ταχύτητες δεδομένων έως 384 kbits/s σε όλες τις υπάρχουσες GSM συχνότητες. Για να γίνει αυτό, μια υψηλού επιπέδου μέθοδος modulation έχει χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει τα δεδομένα packet-switched και circuit-switched.

Για να επιτευχθεί αυτό το επίπεδο throughput, δύο air interfaces έχουν συνυπάρξει : το εξελιγμένο GSM (TDMA) και το νέο UMTS interface (WCDMA).

Χρησιμοποιώντας dual-mode GSM/UMTS κινητά τηλέφωνα - με την κάλυψη που παρέχει το GSM και τις νέες λειτουργίες που παρέχει το UMTS - οι operators μπορούν να προσθέσουν επιπλέον υπηρεσίες στα GSM δίκτυα τους με απόλυτη διαφάνεια.

Το ραδιοδίκτυο πρόσβασης είναι ένα μοναδικό δίκτυο για του δύο τύπους του air interface. Για το UMTS ραδιοδίκτυο πρόσβασης, κάποιες από τις υπάρχουσες ιδέες έχουν ξανααρησιμοποιηθεί αλλά πολλές αρχές και δομές είναι καινούργιες. Το core δίκτυο του UMTS είναι μια εξέλιξη των σημερινών δικτύων GSM circuit και packet switch δικτύων.

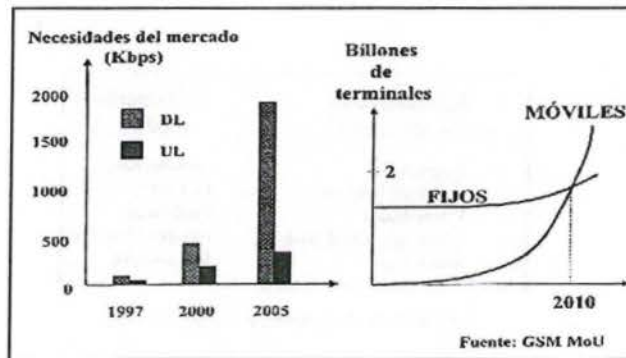
Σαν αποτέλεσμα το GSM MSC έχει εξελιχθεί ώστε να υποστηρίξει την circuit-switched πρόσβαση από το κινητό προς τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα (π.χ. PSTN, PLMN) ή τα δίκτυα δεδομένων (π.χ. internet) οπότε και έγινε GSM-UMTS MSC. Αυτό σημαίνει ότι το ίδιο MSC χειρίζεται και TDMA και WCDMA προσβάσεις. Αυτό εμπεριέχει roaming και handover μεταξύ των δύο ραδιοδικτύων για το ίδιο κινητό.



Σχήμα 6.3 Εξέλιξη του GSM σε UMTS

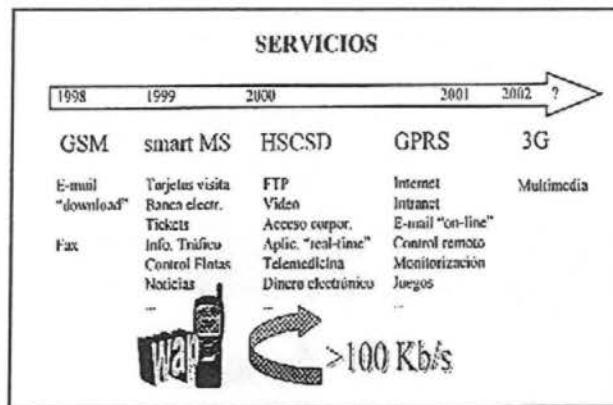
6.2.1 Εξέλιξη της αγοράς και η τεχνολογία

Ο κόσμος της κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσεται θεαματικά και εξαπλώνεται στην αγορά με γρήγορους ρυθμούς. Ωστόσο, η αγορά έχει κάθε φορά και περισσότερες απαιτήσεις για εξυπηρέτηση, πράγμα που σημαίνει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων πολύ πιο υψηλούς από αυτούς που διαθέτει το GSM.



Σχήμα 6.4 Εξέλιξη της αγοράς

Τα κινητά 3G επιτρέπουν 2Mbps, αλλά το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων μπορούν να προσαρμοστούν στην απαιτούμενη ανάγκη εξυπηρέτησης.



Σχήμα 6.5 Εξέλιξη της τεχνολογίας

Οι βασικοί στόχοι που θέλει να πετύχει το 3G είναι περιληπτικά :

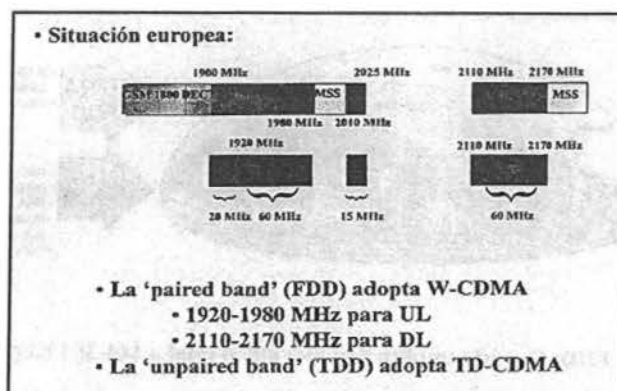
- Στάνταρ σε παγκόσμιο επίπεδο
- Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του interface του ράδιο από 144Kbps σε 2Mbps τουλάχιστον.
- Ικανότητα δημιουργίας και διαπραγμάτευσης προσωπικών υπηρεσιών
- Υποστήριξη υπηρεσιών multimedia
- Ποιότητα υπηρεσίας σε σχέση με το σταθερό δίκτυο

2nd Generation (GSM, IS95, DCS...)	3rd Generation (UMTS...)
Single layer	Multilayered
Fixed air interface	Flexibility
Single Band	Dual band
Coverage_based plan	Grade of Service
Voice + sms	Multimedia

Σχήμα 6.6 Διαφορές μεταξύ 2G-3G

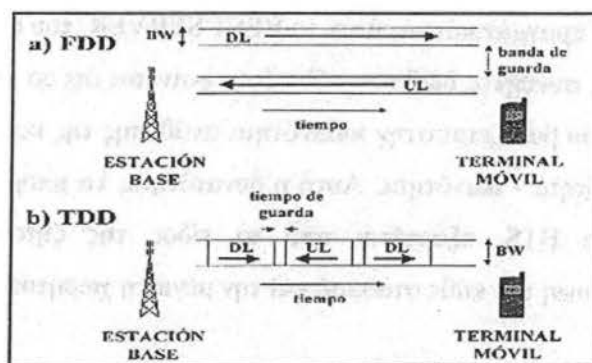
6.2.2 Interface του ράδιο του UMTS

Το εύρος συχνοτήτων του UMTS παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Παρατηρείται η συνύπαρξη δύο τεχνολογιών FDD και TDD στο UMTS. Το FDD έχει το ίδιο μέγεθος DL και UL, ενώ το TDD είναι "χωρίς ταίρι". Εδώ ήδη βλέπουμε την ασυμμετρία DL - UL που ήταν αναγκαία για την υποστήριξη των περιεχομένων multimedia.



Σχήμα 6.7 Εύρος συχνοτήτων του UMTS

Στο UMTS συνυπάρχουν δύο τεχνικές multiplex, FDD και TDD, ο συνδυασμός τους επιτρέπει την προσαρμογή στις καινούργιες ανάγκες χωρητικότητας και ελαστικότητας.



Σχήμα 6.8 Τεχνικές multiplex

6.2.3 Κυψελοειδής δομή του UMTS

Η καινούργια κυψελοειδής δομή είναι προσαρμοσμένη στην κατάσταση των δύο τεχνικών multiplex. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι το εύρος FDD προορίζεται για εφαρμογές outdoor: χρήστες με ολική κινητικότητα και δυνατότητα από τον χρήστη μέχρι 384 Kbps, ενώ το εύρος TDD είναι κατάλληλο για εφαρμογές indoor: χρήστες με χαμηλή κινητικότητα και δυνατότητα μέχρι 2 Mbps.

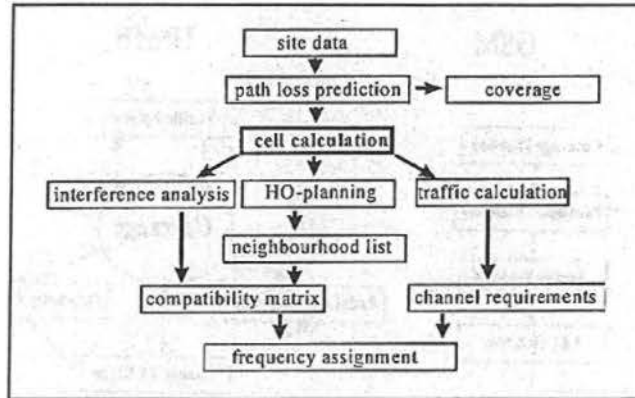


Σχήμα 6.9 Περιοχές εφαρμογής FDD και TDD

Το μοντέλο της κυψελοειδής δομής, πρέπει επίσης να είναι διαφορετικό. Η θεωρία του GSM εξηγείται μέσω ενός εξαγωνικού ομογενούς μοντέλου, ενώ στο 2G το μοντέλο που καλύτερα προσαρμόζεται στην πραγματικότητα ήταν το BEST SERVER, του οποίου ο χάρτης κυψελών προσαρμοζόταν στις συνθήκες διάδοσης. Ωστόσο, φαίνεται ότι το καλύτερο μοντέλο για το UMTS είναι αυτό που βασίζεται στην πιθανότητα ανάθεσης της κυψέλης στο χρήστη, με τη ζητούμενη χωρητικότητα - ικανότητα. Αυτή η δυνατότητα, να μπορεί το κινητό να συνδεθεί με κάποιο από τα BTS, εξαρτάται από το είδος της ζητούμενης υπηρεσίας, την ραδιοηλεκτρική κάλυψη του κάθε σταθμού και την μέγιστη χωρητικότητα.

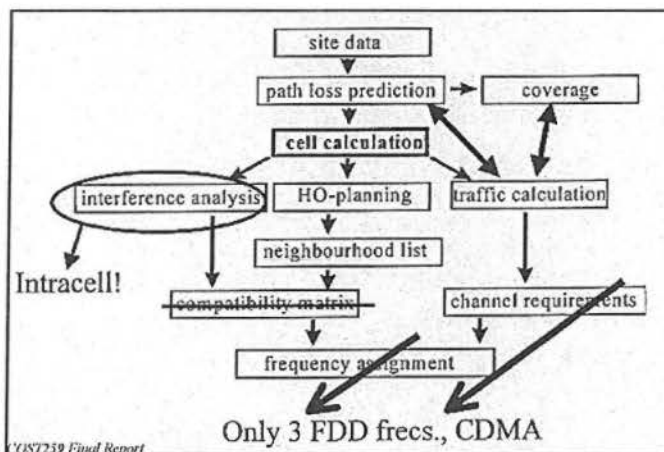
6.2.4 Ραδιοσχεδιασμός σε σύστημα 3G

Οι σημαντικότερες απαιτήσεις 2G που επηρεάζουν τον σχεδιασμό είναι: κάλυψη αρχικά σε ανοιχτούς χώρους αν και αργότερα εξελίσσεται σε indoor, παρεμβολές, Handover, μοντέλο BEST SERVER, άριστη ανάθεση συχνοτήτων. Η διαδικασία σχεδιασμού αν και πολύπλοκη ήταν αρκετά γραμμική.



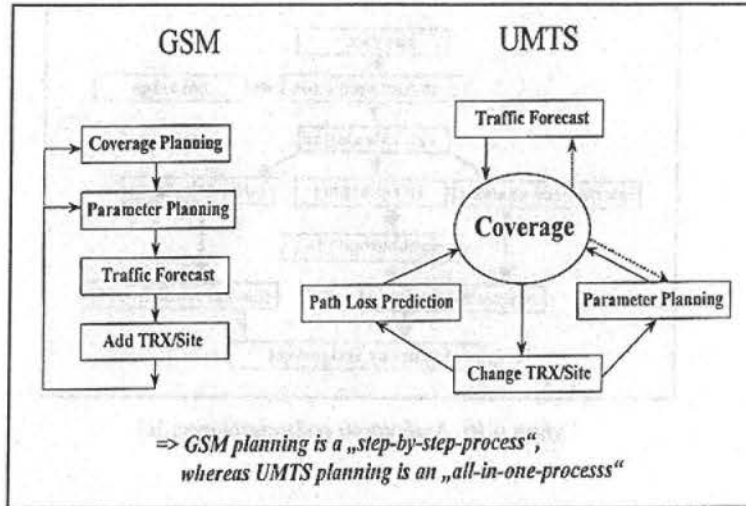
Σχήμα 6.10 Διαδικασία ραδιοσχεδίασης 2G

Ωστόσο στο 3G δεν μπορεί να εφαρμοστεί παρόμοια διαδικασία, διότι οι απαιτήσεις αλλάζουν. Πρέπει να εξασφαλιστεί η κάλυψη outdoor, αλλά θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε χώρους indoor και μικροκυψέλες, η κίνηση δεν είναι ομοιογενής, υπάρχει δυναμική διαχείριση των μέσων και το μέγεθος είναι ανάλογο με την χωρητικότητα. Πάντως η σημαντικότερη διαφορά σε επίπεδο ραδιοσχεδιασμού είναι ότι αφορά τη συχνότητα. Στο 3G δεν έχει νόημα ο σχεδιασμός συχνοτήτων, επειδή αρχικά προβλέπεται η ανάθεση δύο συχνοτήτων ανά operator. Το UMTS χρειάζεται έναν συνολικό σχεδιασμό για την χωρητικότητα, κάλυψη και ποιότητα υπηρεσιών.



Σχήμα 6.11 Ραδιοσχεδιασμός 3G

Εάν στο 2G μπορούμε να μιλήσουμε για μια διαδικασία ραδιοσχεδιασμού που γίνεται βήμα - βήμα, στο σχεδιασμό UMTS έχουμε μία μόνο διαδικασία για όλα.



Σχήμα 6.12 GSM έναντι UMTS

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η κινητή τηλεφωνία έχει μετατραπεί σε ένα μεγάλο κοινωνικό φαινόμενο, και γιατί όχι, σε μια τεράστια εμπορική δύναμη. Οι Operators κάνουν μεγάλες επενδύσεις που είναι μακροπρόθεσμα οικονομικά αποδοτικές, σε σχέδια εγκατάστασης αναγκαίων δικτύων για να προωθήσουν την υπηρεσία. Αυτές οι επενδύσεις δικαιολογούνται μόνο αν αναμένεται ένα πιο ευημερές μέλλον σε αυτόν τον τομέα. Η τεχνολογία GSM έχει καταφέρει να συγκεντρώσει τα πλεονεκτήματα με έξτρα υπηρεσίες και μια αποδεκτή ποιότητα που έχει προσελκύσει τους συνδρομητές.

Ο βασικός σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εμβαθύνει στο ραδιοσχεδιασμό και την υλοποίηση ενός δικτύου GSM. Πρώτα παρουσιάστηκαν οι θεωρητικές βάσεις του GSM και έπειτα προχώρησαμε σε έναν συνδυασμό θεωρίας - πρακτικής για να δώσουμε μια πιο πραγματική εικόνα του τι μπορεί να σημαίνει ένα δίκτυο με αυτά τα χαρακτηριστικά.

Έτσι μπορέσαμε να δούμε ποιοι μπορεί να είναι οι στόχοι και ιδιαίτερα σημεία ενός ολικού δικτύου τέτοιου επιπέδου. Έχει εξηγηθεί όλη η διαδικασία σχεδιασμού τόσο για την κατάσταση τοποθέτησης όσο και για τις συχνότητες. Έχουμε δείξει τη διαδικασία του σχεδίου μάκρο – μικρο και ρίκο κυψέλες σε επίπεδο σχεδιασμού. Επίσης όλη η διαδικασία για την ετοιμασία του δικτύου και η μέθοδος αποδοχής εκ μέρους του πελάτη.

Όλα αυτά, προσπαθήσαμε να τα παρουσιάσουμε από μια πρακτική άποψη, μέσα από την εμπειρία που αποκόμισαμε τόσα χρόνια δουλεύοντας σε αυτόν τον χώρο. Δείχνοντας τα πιο σημαντικά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν, τις πιθανές λύσεις τους, τη χρήση των πιο σύγχρονων εργαλείων σχεδίασης και εξοπλισμού. Αλλά κυρίως θέλησαμε να δείξουμε ότι αυτή είναι μια ομαδική δουλειά ανάμεσα σε πολλά τμήματα, που χρειάζεται συνεχή επικοινωνία και αφοσίωση.

Το δίκτυο DCS είναι ο τελευταίος κρίκος του GSM προς την λεγόμενη 3η Γενιά, η οποία με την καινούργια τεχνολογία UMTS επιτρέπει αφάνταστες υπηρεσίες. Άλλωστε δεν θα υπάρξει μια απότομη αλλαγή, αλλά μια συνύπαρξη με το GSM που θα εξελίσσεται σε UMTS. Αυτή η μετάβαση, οι ομοιότητες και οι διαφορές, πάντα προσπαθώντας να εμβαθύνουμε στη

ραδιοσχεδίαση, εξετάστηκαν με λεπτομέρεια σε αυτήν την εργασία και ελπίζουμε να σας φανούν τόσο χρήσιμα όσο ήταν για εμάς μέχρι τώρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. GSM Radio Network Planning and Optimisaton Course, Network Consultants, Μάρτιος 1999
2. BSS Radio Network Parameters Course, Siemens Training Institute, Οκτώμβριος 1999
3. “Comunicaciones Móviles” Hernando Rabanos, José María
4. Third Generation Wireless Systems Course, Ιούνιος 2000
5. “End-to-end Quality of service over cellular Networks” G. Gomez, R. Sanchez

