



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός εσωτερικού συστήματος διανομής  
σήματος πολλαπλών παρόχων κινητής τηλεφωνίας  
σε εμπορικό κέντρο

**ΒΙΤΩΡΑΤΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Ναύπακτος, Απρίλιος 2013





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός εσωτερικού συστήματος διανομής  
σήματος πολλαπλών παρόχων κινητής τηλεφωνίας  
σε εμπορικό κέντρο

**ΒΙΤΩΡΑΤΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**Επιβλέπων: ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .

.....  
Ασαρίδης  
Ηλίας

.....  
Τριανταφύλλου  
Βασίλειος

.....  
Λούβρος  
Σπυρίδων

Ναύπακτος, 30 Απριλίου 2013





## Περίληψη

Στις μέρες μας, καθώς το βιοτικό επίπεδο γίνεται υψηλότερο, τόσο ο αριθμός των χρηστών της κινητής τηλεφωνίας, όσο και οι απαιτήσεις τους, αυξάνονται. Αυτό σημαίνει ότι οι συνδρομητές θέλουν να έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα τους οποτεδήποτε και οπουδήποτε κι αν βρίσκονται: στην εξοχή ή στο κέντρο της πόλης, μέσα σε κτίρια ή ακόμα και σε υπόγεια γκαράζ. Και φυσικά όλα αυτά με υψηλή ποιότητα συνομιλίας.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της ποιότητας και της παροχής υπηρεσιών, όχι μόνο ενός αλλά πολλών παρόχων, με την χρήση μιας τηλεπικοινωνιακής εγκατάστασης σε ένα Εμπορικό Κέντρο. Οι μετρήσεις και η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκαν εντός του Εμπορικού Κέντρου.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τέσσερα (4) κεφάλαια. Τα πρώτα τρία περιέχουν το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με το θέμα ενώ το τελευταίο περιέχει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση του έργου και την ενεργοποίηση του.

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της κινητής τηλεφωνίας. Γίνεται περιγραφή της κυψελοειδούς δομής, καθώς περιγράφονται οι θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας των συστημάτων ασύρματων επικοινωνιών GSM, UMTS και LTE.

Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται βάση στις διαφορές μεταξύ των ενεργών και παθητικών DAS, όπως επίσης περιγράφονται τα βασικά στοιχεία που αποτελούν τέτοια συστήματα.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών και η συμβατότητα ανάμεσα στα συστήματα κατανομής κεραιών διαφορετικών παρόχων.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 4, όπου γίνεται περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την μελέτη του χώρου του Εμπορικού, της διαδικασίας λήψης μετρήσεων και της επιλογής των θέσεων των κεραιών εξυπηρέτησης. Τέλος, παρουσιάζεται η εγκατάσταση που υλοποιήθηκε και εξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα βελτίωσης της ραδιοκάλυψης.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από την Βιτωράτου Μαρία, φοιτήτρια του τμήματος Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων – Παραρτήματος Ναυπάκτου του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Μεσολογίου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 υπό την επίβλεψη του καθηγητή του τμήματος Δρ. Λούβρο Σπυρίδων.

Στον καθηγητή μου κ. Λούβρο οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

Ευχαριστώ επίσης, όλους του καθηγητές του Τεχνικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Μεσολογίου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στους ανθρώπους της εταιρείας Cosmote S.A, για τις πολύτιμες γνώσεις που απέκτησα κατά την διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης, και την σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επιπλέον τον Σ. Τοτόμη και τον Γ. Τσακρίο, για την ανυπολόγιστη ηθική υποστήριξη, τη συνεχή συμπαράσταση και την κατανόηση που έδειξαν όλο αυτόν τον καιρό.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου, για την στήριξη, την εμπιστοσύνη και την αγάπη που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	i
Ευχαριστίες .....	ii
Περιεχόμενα .....	iii
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	1
ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ .....	1
1.1 Η κυψελοειδής δομή .....	2
1.2 GSM - Global System for Mobile communications.....	7
1.3 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System .....	13
1.4 LTE - Long Term Evolution .....	16
1.5 Handover - Αλλαγή κυψέλης (Μεταπομπή) .....	17
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	19
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ .....	19
2.1 Παθητικό Σύστημα Κατανεμημένων Κεραίων (Passive DAS).....	19
2.1.1 Στοιχεία μιας Παθητικής κεραίας.....	20
2.1.1.1 Ομοαξωνικά καλώδια (Coax Cables).....	20
2.1.1.2 Διαχωριστές (Splitters).....	21
2.1.1.3 Εξασθενητές (Attenuators).....	22
2.1.1.4 Συζεύκτης 3 dB (Coupler 3 dB) .....	23
2.1.1.5 Φίλτρα (Filters) .....	24
2.1.2 Σχεδιασμός παθητικών DAS .....	25
2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Παθητικού DAS .....	26
2.1.4 Εφαρμογές ενός παθητικού DAS .....	27
2.2 Ενεργό Σύστημα Κατανεμημένων Κεραίων (Active DAS).....	28
2.2.1 Σχεδιασμός ενεργών DAS.....	28
2.2.2 Ενεργό DAS για μεγάλα κτίρια.....	29
2.2.3 Ενεργό DAS για μικρά κτίρια .....	32
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	35
ΣΥΝΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ .....	35
3.1 Συμβατότητα συστημάτων κατανεμημένων κεραίων πολλαπλών παρόχων.....	36
3.2 Συστήματα συνδυασμού.....	37
3.3 Αλλοίωση ενδοδιαμόρφωσης.....	40
3.4 Ελάττωση της παθητικής ενδοδιαμόρφωσης .....	41
3.5 Παράγωγα ενδοδιαμόρφωσης .....	43
3.6 Συνεγκατάσταση εκπομπής GSM / UMTS .....	44

3.7 Παρασιτικές εκπομπές (Spurious Emissions) .....	45
3.8 Κοινό κεραιοσύστημα εσωτερικού χώρου με συνδυασμό GSM900 και UMTS .....	46
3.9 Συνεγκατάσταση εκπομπής UMTS / UMTS.....	48
3.9.1 Συντελεστής ισχύος παρεμβολών γειτονικών καναλιών.....	49
3.9.2 Το πρόβλημα του συντελεστή ισχύος παρεμβολών των γειτονικών καναλιών σε συνδυασμό με το σχεδιασμό DAS .....	51
3.10 Προδιαγραφές εγκατάστασης πολλαπλών παρόχων .....	52
3.10.1 Συμφωνία παρόχων .....	54
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	56
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ (Indoor Coverage) .....	56
4.1 Σχεδιαστική προσέγγιση και οικονομικές εκτιμήσεις.....	57
4.1.1 Εσωτερική κάλυψη: Η παραδοσιακή προσέγγιση .....	57
4.1.1.1 Τοποθέτηση κυψελών πιο κοντά.....	58
4.1.1.2 Ανάλυση της χωρητικότητας του δικτύου συναρτήσει της απόστασης των κυψελών .....	59
4.2 Αρχικός σχεδιασμός.....	66
4.2.1 Μελέτη του χώρου .....	69
4.2.2 Επιλογή κεραίας – εξυπηρετητή .....	72
4.2.3 Ανάλυση της Μελέτης.....	75
4.3 Υλοποίηση σχεδιασμού.....	89
4.4 Έλεγχος – Απόδειξη βελτίωσης κάλυψης.....	92
4.5 Παρουσίαση υλοποίησης .....	95
Ακρωνύμια .....	99
Βιβλιογραφία.....	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	102

# 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

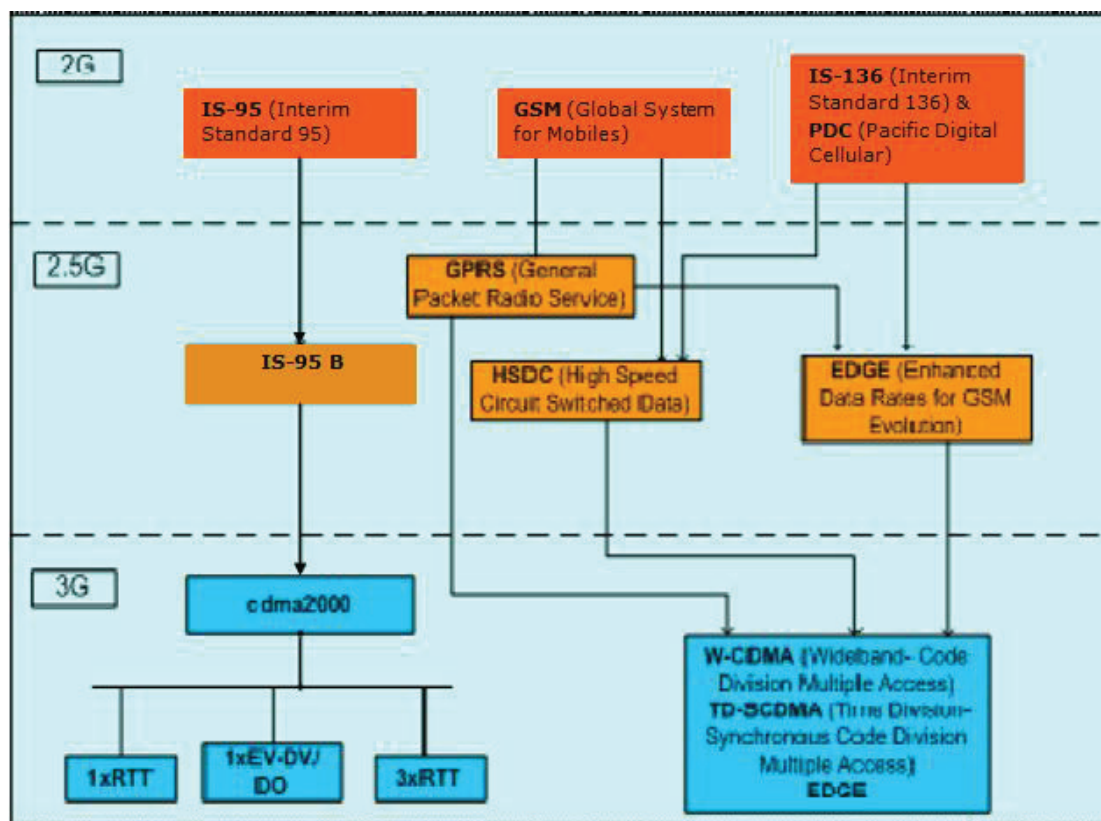
## ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

Στη συμβατική κινητή τηλεφωνία η ηλεκτρομαγνητική κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής, γινόταν με την τοποθέτηση της κεραίας του Σ/Β - σταθμού βάσης (base station) - σε κατάλληλο ύψωμα ανάλογα με την ιδιομορφία του γεωγραφικού ανάγλυφου. Η χρησιμοποιούμενη κεραία ήταν ισοτροπική και εξέπεμπε με μεγάλη ισχύ έτσι ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή (με ακτίνα από 50 έως και 100 km). Εάν κατά τη διάρκεια της κλήσης ο χρήστης ξεπερνούσε τα όρια της ζώνης, η κλήση διακοπτόταν, έχοντας όπως ονομάζεται στον χώρο των τηλεπικοινωνιών “drop call”, και θα έπρεπε να επιχειρηθεί εκ νέου η σύνδεση με το δίκτυο. Ένα ακόμα πιο σοβαρό μειονέκτημα ήταν το γεγονός ότι ο αριθμός των χρηστών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σύστημα περιοριζόταν στο διαθέσιμο αριθμό καναλιών ή με άλλα λόγια, κάθε στιγμή ένας ραδιοδιάυλος μπορούσε να εξυπηρετήσει μόνο ένα συνδρομητή σε όλη τη γεωγραφική περιοχή κάλυψης. Έτσι, καθώς ο αριθμός των συνδρομητών αυξανόταν συνεχώς, υπήρχε η συνεχής ανάγκη νέας παραχώρησης συχνοτήτων από την αρμόδια τηλεπικοινωνιακή αρχή. Όμως, αν αναλογιστούμε τον αριθμό των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας που υφίσταται σήμερα, καταλαβαίνουμε ότι όσο μεγάλο κι αν ήταν το φάσμα των συχνοτήτων που θα παραχωρούταν, δε θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να δώσει λύση στο πρόβλημα.

Το αδιέξοδο αυτό παρακάμφθηκε σχεδιάζοντας συστήματα που βασίζονται σε μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου. Αυτή της κυψελοειδούς δομής.

## 1.1 Η κυψελοειδής δομή

Πραγματική επανάσταση από εμπορική άποψη προέκυψε με την πρόοδο του διαδικτύου και την ραγδαία ανάπτυξη σε σχετικές τεχνολογίες (ανάπτυξη των δυνατοτήτων των υπολογιστών). Η ελευθερία κίνησης που επικρατεί σε τηλεπικοινωνιακές αγορές έχει οδηγήσει σε αύξηση των απαιτήσεων για περισσότερων μορφών και καλύτερης ποιότητας επικοινωνίες. Η ευχρηστία καθώς και η πληθώρα υπηρεσιών και διευκολύνσεων που παρέχεται έχουν στενή σχέση. Από την δημιουργία του πρώτου αναλογικού τηλεφώνου έως τα συστήματα τέταρτης γενιάς (4G-LTE systems) αντανakλάται το υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας. Πράγματι, ο όρος ψηφιακή σύγκλιση έχει χρησιμοποιηθεί προκειμένου να βοηθηθεί ο ορισμός της συγχώνευσης φωνής, βίντεο και πηγών δεδομένων. Η πολυπλοκότητα αυτή οδήγησε στην εισαγωγή του κυτταρικού ή αλλιώς κυψελοειδούς συστήματος κινητής ραδιοτηλεφωνίας.



Σχήμα 1.1 : Ψηφιακή Σύγκλιση

Σε ένα κυψελοειδές σύστημα, η επιθυμητή περιοχή που θα λαμβάνει κάλυψη από τον εκάστοτε πάροχο διαιρείται σε κυψέλες (cells). Συνήθως τα αναπαριστούμε ως εξάγωνα όμως το πραγματικό σχήμα των κυττάρων – κυψελών δεν είναι το τέλειο εξάγωνο. Η ιδανική περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης θα ήταν η κυκλική. Όμως, οι κυκλικές μορφές κυψελών εμφανίζουν επικαλυπτόμενες περιοχές κι έτσι καθιστούν πολύ δύσκολο τον προγραμματισμό. Συνεπώς, αφού το εξάγωνο προσεγγίζει περισσότερο από κάθε άλλο γεωμετρικό σχήμα τον κύκλο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι παρατεταγμένα εξάγωνα ταιριάζουν μεταξύ τους ακριβώς χωρίς να επικαλύπτονται, αλλά και χωρίς να αφήνουν κενά δημιουργήθηκε η ιδέα της θεωρητικής αναπαράστασης της περιοχής κάλυψης ενός σταθμού βάσης με εξάγωνο. Στην πραγματικότητα, βέβαια, η περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης έχει ασαφές σχήμα και επιπλέον γειτονικές περιοχές κάλυψης, επικαλύπτονται μερικώς στην περιοχή των ορίων τους. Παρόλα αυτά, επικράτησε η ονομασία αυτών των περιοχών ως “κυψέλες” και των συστημάτων που βασίστηκαν σε αυτή τη δομή ως “κυψελοειδών συστημάτων”. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1.2) απεικονίζεται η θεωρητική, η ιδανική και η πραγματική περιοχή κάλυψης.



Σχήμα 1.2: Θεωρητική,Ιδανική,Πραγματική κάλυψη

Κάθε κυψέλη αντιστοιχεί στη καλυπτόμενη περιοχή ενός πομπού ή μιας μικρής ομάδας πομπών ενώ το μέγεθός του εξαρτάται από την εκπεμπόμενη ισχύ. Η εκπεμπόμενη ισχύς ποικίλει ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους και την κίνηση που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Προτιμάται η χρήση χαμηλής ισχύος πομπών με σκοπό την επίτευξη της αποδοτικής επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων συχνοτήτων. Πράγματι, εάν η ισχύς των χρησιμοποιούμενων πομπών είναι πολύ ισχυρή, για

εκατοντάδες χιλιόμετρα οι συχνότητες δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν δεδομένου ότι περιορίζονται στην καλυπτόμενη περιοχή του πομπού. Το εύρος των συχνοτήτων που διατίθεται για ένα κυψελοειδές ράδιο σύστημα κατανέμεται σε μια ομάδα κυψελών (θεμελιώδης κυψέλη) και επαναχρησιμοποιείται από όλες τις ομάδες κυψελών που αποτελούν την επιθυμητή περιοχή κάλυψης του παρόχου. Συμπερασματικά, οι κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα δεδομένου της χαμηλής ισχύος θα πρέπει να έχουν επαρκή (γεωγραφική ή μη) απόσταση μεταξύ τους ώστε να αποφευχθούν παρεμβολές. Πλεονέκτημα της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι η σημαντική αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου σε αριθμό χρηστών.

Προκειμένου λοιπόν ένα κυψελοειδές σύστημα να λειτουργήσει σωστά, πρέπει να τηρούνται δύο κύριες συνθήκες:

- Η στάθμη της ισχύος ενός πομπού μέσα σε ένα μονό κύτταρο πρέπει να περιορίζεται ώστε να μειώνεται η παρεμβολή που προκαλείται σε πομπούς γειτονικών κυττάρων. Εάν διατηρείται μία απόσταση μεταξύ των πομπών ίση με περίπου 2,5 – 3 φορές της διαμέτρου του κυττάρου η παρεμβολή θα βρίσκεται στα επιθυμητά όρια.
- Οι συχνότητες πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ύστερα από έναν ορισμένο σχεδιασμό, εφόσον γειτονικά κύτταρα δεν μπορούν να μοιραστούν ίδια κανάλια. Για αυτό το σκοπό προκειμένου να ανταλλαχθούν οι πληροφορίες που απαιτούνται ώστε να διατηρούνται οι συνδέσεις επικοινωνίας εντός του κυψελοειδούς δικτύου, δεσμεύονται συγκεκριμένα κανάλια για πληροφορίες σηματοδότησης.

### Θεμελιώδεις κυψέλες – Συστάδα (cluster)

Σε ένα κυψελοειδές σύστημα οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε συστάδες (θεμελιώδη κυψέλη). Ο αριθμός των κυψελών σε μια συστάδα πρέπει να καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αξιοποιείται η συνεχής επανάληψή της εντός της καλυπτόμενης περιοχής του παρόχου. Συνηθίζεται οι συστάδες να περιέχουν 4, 7, 12 ή 21 κυψέλες. Ο αριθμός των κυψελών σε κάθε συστάδα διατηρεί σημαντικό ρόλο διότι όσο μικρότερος είναι τόσο αυξάνει ο αριθμός καναλιών ανά κυψέλη. Επομένως, η χωρητικότητα κάθε κυψέλης αυξάνεται. Εντούτοις, το μικρό μέγεθος μιας συστάδας (το μέγεθος της συστάδας καθορίζεται από τον αριθμό κυψελών που την αποτελούν)

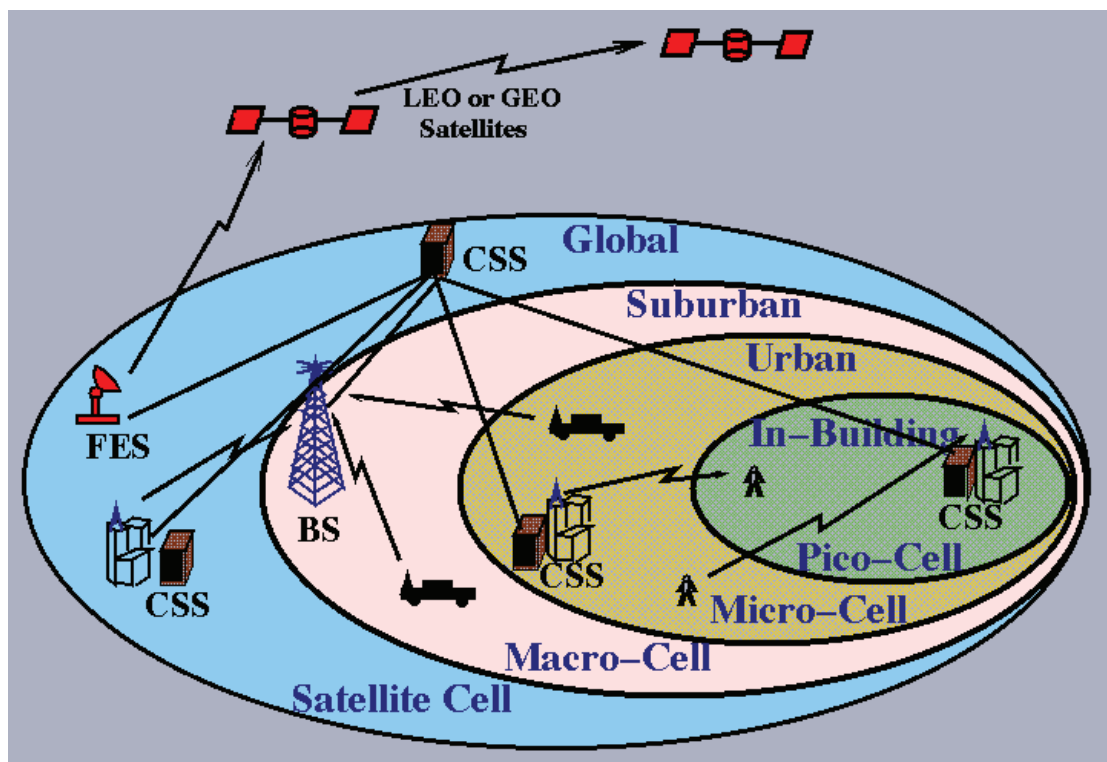


εντείνει το μέγεθος της παρεμβολής που είναι πιθανό να εμφανιστεί μεταξύ γειτονικών συστάδων. Ισορροπίες μεταξύ αυτών αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη ενός σωστά δομημένου λειτουργικού δικτύου.

Τύποι Κυψελών

Η πληθυσμιακή κάλυψη σε μια χώρα ποικίλει με αποτέλεσμα και οι ανάγκες ραδιοκάλυψης να διαφέρει. Για την επίλυση αυτού διαφορετικοί τύποι κυψελών είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν με κυριότερα είδη τα εξής:

- Μακροκυψέλη (Macrocell)
- Μικροκυψέλη (Microcell)
- Πικοκυψέλη (Picocell)
- Επιλεκτική κυψέλη (Selective cell)
- Κυψέλη - Ομπρέλα (Umbrella Cell)



Εικόνα 1.1: Οργάνωση Κυττάρων

**Μακροκυψέλη** - Τα macrocells είναι μεγάλες κυψέλες και χρησιμοποιούνται κυρίως για τις απομακρυσμένες και αραιά κατοικημένες περιοχές. Έχουν ακτίνα κάλυψης με ελάχιστη τιμή 1 km και μέγιστη 20 km. Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το σήμα για να διανύσει αποστάσεις μεγαλύτερες των 35 km, είναι τόσο μεγάλο, που έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται ο συγχρονισμός των ραδιοδιαύλων. Τοποθετούνται συνήθως σε τάρτσες κτιρίων ή σε υψώματα.

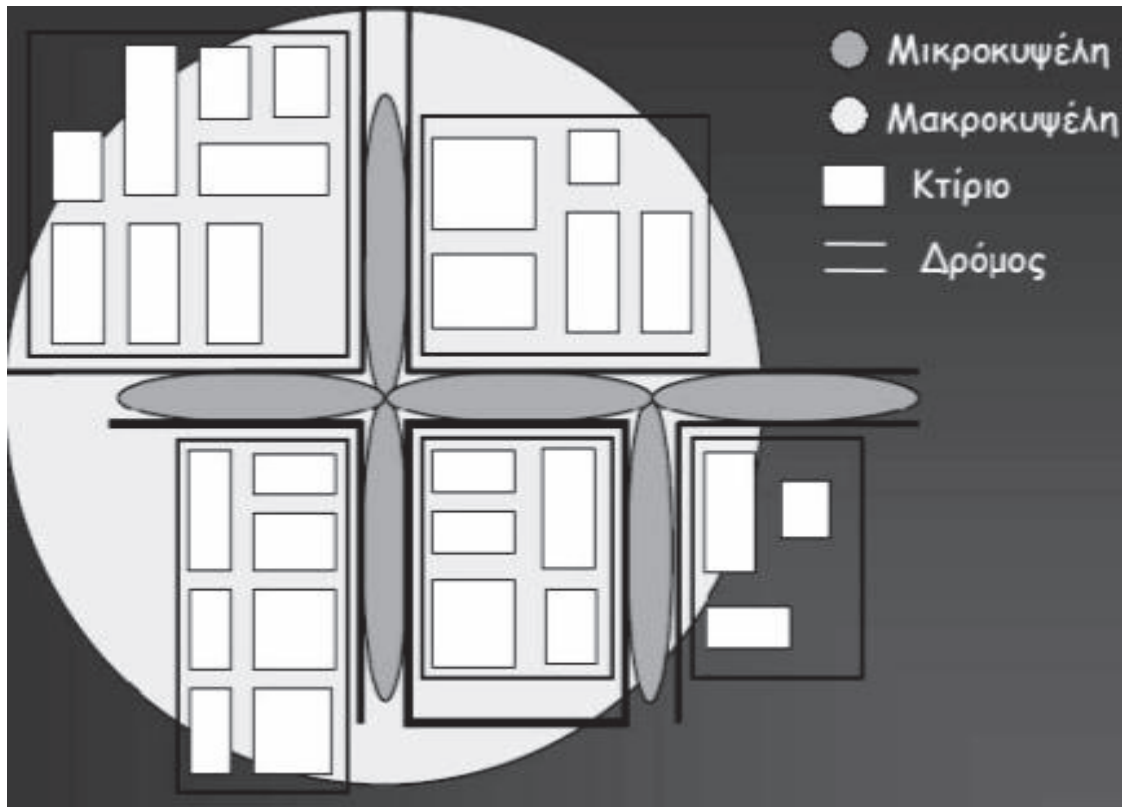
**Μικροκυψέλη** - Οι πυκνά κατοικημένες περιοχές όπως για παράδειγμα κεντρικές περιοχές πόλεων, συνήθως εξυπηρετούνται από μικροκυψέλες. Τα microcells μας εξυπηρετούν όπου υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Ο διαχωρισμός αυτών των περιοχών σε μικρότερες κυψέλες, αυξάνει τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών καθώς επίσης και την ικανότητα αυτών. Η στάθμη ισχύος που εκπέμπεται από τις κυψέλες αυτές μειώνεται και επομένως και η δυνατότητα της παρεμβολής μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Η ακτίνα κάλυψης αυτών των κυψελών κυμαίνεται από 100 m έως 1 Km. Τοποθετούνται στο ύψος των στύλων φωτισμού και είναι συνήθως μεγάλης κατευθυντικότητας.

**Πικοκυψέλη** - Πρόκειται για στοιχειώδη κυψέλη που εξασφαλίζει ασύρματη κάλυψη εσωτερικών χώρων (ένα δωμάτιο ή ένα διάδρομο). Η ακτίνα ραδιοκάλυψής της είναι της τάξης των 10 m.

**Επιλεκτική Κυψέλη** - Η χρήση μιας κυψέλης με πλήρη κάλυψη 360 μοιρών δεν κρίνεται πάντοτε απαραίτητη ή και αξιοποιήσιμη. Υπάρχουν περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε εισόδους σηράγγων (tunnels) που απαιτούνται κύψέλες με συγκεκριμένης κατεύθυνσης κάλυψη. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται μια επιλεκτική κυψέλη με κάλυψη 120 μοιρών.

**Κυψέλη-Ομπρέλα** - Σε έναν αυτοκινητόδρομο που διασχίζει πολλές και μικρές κυψέλες υπάρχουν χρήστες κινούμενοι με μεγάλες ταχύτητες, παράγοντας ένα σημαντικό αριθμό μεταπομπών (HOs) μεταξύ των διαφορετικών μικρών γειτονικών κυψελών, με αποτέλεσμα να υπερφορτώνονται τα κανάλια ελέγχου. Προκειμένου να καλυφθούν τα κενά (περιοχές χωρίς ραδιοκάλυψη) που ενδεχομένως να υπάρχουν, να απορροφηθεί μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, να ικανοποιηθούν μεταπομπές που προέρχονται από συμφόρηση στις μακροκυψέλες ή να δεσμευτούν μεταπομπές των χρηστών που κινούνται γρήγορα, μειώνοντας τον αριθμό των HOs, εισάγεται η έννοια των κυψελών τύπου Umbrella Cell (Εικόνα 1.2). Η χρησιμοποίηση τέτοιων κυψελών με

μεγάλη επιφάνεια υπερκαλύπτει διάφορες μακροκυψέλες (από 10 έως 100 μακροκυψέλες).



Εικόνα 1.2: Παράδειγμα χρησιμοποίησης μικροκυψελών και κυψέλης ομπρέλας. Οι δρόμοι, που παρουσιάζουν μεγάλη κίνηση και έχουν γύρω τους ψηλά κτίρια, καλύπτονται με μικροκυψέλες, ώστε να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση σε κανάλια και να υπάρξει επαρκής ραδιοκάλυψη.

### **1.2 GSM - Global System for Mobile communications**

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (ETSI) το 1982, άρχισε την μελέτη για την δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G).

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

Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκαν επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1993 από την WIND Hellas (πρώην TIM ή πρώην TELESTET).

Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό πρότυπο, αφού υιοθετήθηκε από πολλές άλλες χώρες των άλλων Ηπείρων, εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων.

### Αρχιτεκτονική

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

1) Την Συσκευή χρήστη (User Equipment): Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2) Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BSS): Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε λόφους, ταρατσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο βασικό σταθμό πομπό-δέκτη (BTS) και στη μονάδα ελέγχου σταθμού βάσης (BSC).

- Το BTS φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης Α θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή Β, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του Α για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή Β στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο του παρόχου του Α. Το κέντρο του εκάστοτε παρόχου εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο Β και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του Β κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο Α. Το πεδίο μιας GSM κεραίας ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 msec το καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες, διάρκειας 0.577 msec η καθεμία (8X0,577 ή 16X0,577) . Κάθε χρήστης

χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές. Οι 8 ή 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα TDMA κανάλι, ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.

- Το BSC ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο κέντρο μεταγωγής κινητών υπηρεσιών (MSC) και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16 kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.

3) Το Υποσύστημα Δικτύου και μεταγωγής (NSS) αποτελείται από:

Το MSC, το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων / εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων. Όταν ένα MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64 kbps φωνής, όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των καταχωρητών VLR και HLR. Το HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, η εμβέλεια κάθε τέτοιου κέντρου του σε τοπικό επίπεδο. Το VLR είναι ένα εικονικό κέντρο εγγραφής. Δηλαδή, όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR, δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του τότε αναλαμβάνει το VLR το οποίο έχει μια βάση δεδομένων, όπου συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής, στο κέντρο της πόλης.

### **Χωρητικότητα Δικτύων GSM – Erlang**

Σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιο μοντέλο τηλεφωνικής «κίνησης» με σκοπό την υψηλή ποιότητα παροχής υπηρεσιών. Το μοντέλο αυτό σχεδιάζεται βάσει κάποιων πραγματικών παρατηρήσεων με βάση την τηλεφωνική συμπεριφορά των συνδρομητών. Για την κατασκευή του μοντέλου αυτού παίρνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως ο αριθμός των συνδρομητών, το πόσο συχνά και σε ποιες περιοχές κάνουν χρήση του κινητού τους (τις ώρες αιχμής-γιορτές), τη μέση διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης, παράγοντες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί εκ των προτέρων η ικανοποίηση των χρηστών. Για να υπολογιστεί η

τηλεφωνική "κίνηση" χρησιμοποιείται μια μονάδα μέτρησης, το Erlang. Ένα Erlang δείχνει το φορτίο κίνησης που μεταφέρεται από ένα κανάλι που είναι δεσμευμένο. Αν έχουμε 100 χρήστες από τους οποίους οι 30 κάνουν 2 κλήσεις την ώρα διάρκειας 3 λεπτών, 15 να κάνουν 4 κλήσεις την ώρα διάρκειας 8 λεπτών και 55 να κάνουν 30 κλήσεις την ώρα διάρκειας ενός λεπτού τότε ο συνολικός φόρτος κίνησης είναι 38,5 Erlangs με μέση κίνηση / χρήστη να είναι 38,5 mErlangs. ( $30 \cdot 2 \cdot 3 = 180$ ,  $180/60\text{min} = 3$  Erlangs) ( $15 \cdot 4 \cdot 8 = 480$ ,  $480/60\text{min} = 8$  Erlangs) ( $55 \cdot 30 \cdot 1 = 1650$ ,  $1650/60\text{min} = 27,5$  Erlangs) ( $0,1$  Erlangs = 6min,  $1$  Erlangs = 60min). «Η τηλεφωνική κίνηση / συνδρομητή ορίζεται ως η μέση πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο συνδρομητή να κάνει χρήση του τηλεφώνου του κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε ώρες αιχμής». Μετρήσεις που έχουν γίνει σε δίκτυα GSM έχουν δείξει ότι 0,025 Erlang / συνδρομητή είναι υπεραρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες της συνδρομητικής βάσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής μπορεί να κάνει μία κλήση διάρκειας 90 δευτερολέπτων/ώρα. Στην πράξη κανένα, τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στον κόσμο δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα όλους τους συνδρομητές του, σε συνθήκες καταγεγραμμένης ζήτησης όπως για παράδειγμα σε περίπτωση σεισμού. Με βάση τα παραπάνω τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν σχεδιάσει τα δίκτυα τους να έχουν Gos (Grade of Service) - η πιθανότητα να μπλοκαριστεί μια κλήση - λιγότερο από 2%. Έτσι αν είχαμε 100 συνδρομητές με Gos 2% με μέση κίνηση / χρήστη να είναι 38.5 mErlangs τότε έχουμε  $100 \cdot 0,0385 \cdot 5 = 3,85$  Erlangs με Gos 2% χρειάζονται 9 κανάλια σύμφωνα με τον ειδικό πίνακα Erlang blocking probability. Το Erlang πήρε το όνομά του από τον Δανό μηχανικό τηλεπικοινωνιών A.K.Erlang.

### **Πιστοποίηση και Ασφάλεια**

Ένας χρήστης για να μπορέσει να χρησιμοποιήσει ένα δίκτυο, θα πρέπει πρώτα το δίκτυο να τον πιστοποιήσει. Για να γίνει αυτό κάθε κινητό θα πρέπει να διαθέτει ένα κρυμμένο κλειδί το οποίο βρίσκεται συγκεκριμένα στην κάρτα SIM του και στο Κέντρο Πιστοποίησης (AuC). Όταν ενεργοποιείται το κινητό, το Κέντρο Πιστοποίησης στέλνει ένα τυχαίο αριθμό στο κινητό και αυτόν τον αριθμό τον χρησιμοποιούν μαζί με το κρυμμένο κλειδί και με έναν κρυπτογραφημένο αλγόριθμο για την δημιουργία ενός νέου αριθμού. Το κινητό στέλνει πίσω στο κέντρο πιστοποίησης τον αριθμό αυτό και το κέντρο πιστοποίησης με την σειρά του ελέγχει αν είναι ίδιος με αυτόν που έφτιαξε. Αν ο αριθμός είναι ίδιος τότε ο χρήστης πιστοποιήθηκε, ειδάλως τον ειδοποιεί ότι διαδικασία εγγραφής στο δίκτυο ήταν ανεπιτυχής. Κάθε κινητό τηλέφωνο έχει την δικιά

του διεθνή ταυτότητα (IMEI). Η ταυτότητα αυτή είναι ένας μοναδικός 16ψήφιος για κάθε συσκευή που αντιστοιχεί στην μάρκα του κινητού, αριθμός σειράς, στοιχεία κατόχου, ημερομηνία αγοράς συσκευής. Ένα δίκτυο τηλεφωνίας GSM αποθηκεύει σε 3 διαφορετικές λίστες τα IMEI των συνδρομητών της. Πρώτη λίστα είναι η λευκή λίστα, που υπάρχουν όλα τα IMEI το κινητών που λειτουργούν φυσιολογικά και μπορούν να συνδεθούν δίκτυο με ασφάλεια. Δεύτερη λίστα είναι η γκρι λίστα, που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που είναι υπό-παρακολούθηση λόγω πιθανών προβλημάτων που δημιουργούν. Τρίτη λίστα είναι η μαύρη λίστα που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που έχουν δηλωθεί από τους κατόχους τους σαν κλεμμένα ή απολεσθέντα και ανάλογα την περίπτωση διενεργείται παρακολούθηση των κινητών αυτών αν χρησιμοποιούνται ή δεν είναι επιτυχής η εγγραφή τους με το δίκτυο. Οι λειτουργίες αυτές ανήκουν στο MSC.

### **Υπηρεσίες Δικτύου**

#### *•Πραγματοποίηση κλήσεων*

Η βασικότερη υπηρεσία του GSM είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης και λήψη τηλεφωνικών κλήσεων. Σε κάθε κανάλι υπάρχουν 8 έως 16 χρονοθυρίδες και μπορούν να το μοιραστούν περισσότεροι του ενός χρήστες, έτσι για την πραγματοποίηση μιας κλήσης δεσμεύεται μια χρονοθυρίδα κάθε φορά.

#### *•Εκτροπή κλήσεων*

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει στο χρήστη την δυνατότητα προώθησης αναπάντητων ή μη εφικτών ή κατειλημμένων ή άμεσων εισερχόμενων κλήσεων προς έναν άλλο προορισμό (αριθμό).

#### *•Απόκρυψη κλήσεων*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να απενεργοποιήσει την εμφάνιση του αριθμού τηλεφώνου του στον καλούντα αριθμό.

#### *•Φραγή κλήσεων*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιήσει φραγή εισερχόμενων ή εξερχόμενων ή εισερχόμενων διεθνών ή εξερχόμενων διεθνών ή σε περιαγωγή ή και όλων κλήσεων για όσο διάστημα θέλει.

### •*Cell Broadcast*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη στην οθόνη του κινητού την εμφάνιση σύντομων τοπικών πληροφοριών.

### •*Ειδοποίηση κλήσεων*

Είναι μια υπηρεσία δικτύου δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ενημερώνεται με γραπτό μήνυμα για τον ποιος και πότε επιχείρησε να επικοινωνήσει μαζί του και δεν καταστεί δυνατό λόγω μη εφικτής σύνδεσης μαζί του ή ήταν απενεργοποιημένη η μονάδα του.

### •*SMS-Short Messaging Service*

Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την αποστολή και την λήψη κειμένου μέχρι και 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων από ένα κινητό προς ένα οποιοδήποτε άλλο κινητό με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει κάποιο κέντρο υπηρεσίας SMS για την διαχείριση τους. Έτσι η υπηρεσία SMS έχει 2 επιμέρους υπηρεσίες, τις SMS-MO και SMS-MT.

#### - SMS-MO (SMS-Mobile Originated)

Γίνεται η αποστολή ενός γραπτού μηνύματος, από το κινητό προς το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

#### - SMS-MT (SMS-Mobile Terminated)

Γίνεται η παράδοση του γραπτού μηνύματος στον παραλήπτη, από το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

### •*MMS-Multimedia Messaging Service*

Είναι μια υπηρεσία 2.5G και προσφέρει την αποστολή και την λήψη μηνυμάτων εμπλουτισμένων με περιεχόμενο multimedia.

### •*Advice of Change*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενημερώνεται μετά από κάθε εξερχόμενη κλήση στην οθόνη του κινητού του, την διάρκεια και την χρέωση της κλήσης του.

### •*Αναμονής και κράτησης κλήσεων-Συνδιάσκεψη*

Είναι μια υπηρεσία προστιθέμενης αξίας και δίνει την δυνατότητα σε έναν χρήστη να πραγματοποιεί ή να δέχεται μια κλήση ενώ έχει ήδη μια κλήση σε εξέλιξη. Στην πρώτη



περίπτωση όταν επιχειρείται μια νέα κλήση προς αυτόν ακούει ένα χαρακτηριστικό ήχο που τον προειδοποιεί, τότε ο χρήστης τότε μπορεί να απορρίψει αυτή την νέα κλήση ή να βάλει σε κράτηση την αρχική του κλήση για να επικοινωνήσει με την αναμένουσα, αυτή την εναλλαγή μπορεί να την κάνει όσες φορές θέλει. Επίσης αν ο χρήστης διαθέτει την υπηρεσία αναγνώρισης κλήσεων μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο αυτών υπηρεσιών και να τον ενημερώνει στην οθόνη του κινητού του για τον τηλεφωνικό αριθμό που επιχειρεί την κλήση προς σ'αυτόν. Στην δεύτερη περίπτωση όταν πραγματοποιεί μια κλήση ο συνδρομητής βάζει σε κράτηση την αρχική του συνομιλία ενώ μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των 2 κλήσεων. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να γίνει εφόσον επιτρέπεται από τον παροχέα, χρήση της υπηρεσίας τηλεσυνδιάσκεψης που επιτρέπει την ταυτόχρονη συνομιλία μέχρι και 5 + 1 ατόμων.

### •Roaming

Στην υπηρεσία αυτή επιτρέπεται σε συνδρομητές που βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου τους, να δέχονται και να πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις και να έχουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, εφόσον βέβαια επιτρέπεται από τον παροχέα τους και τον παροχέα του «ξένου» δικτύου.

### •Τεχνολογία CSD

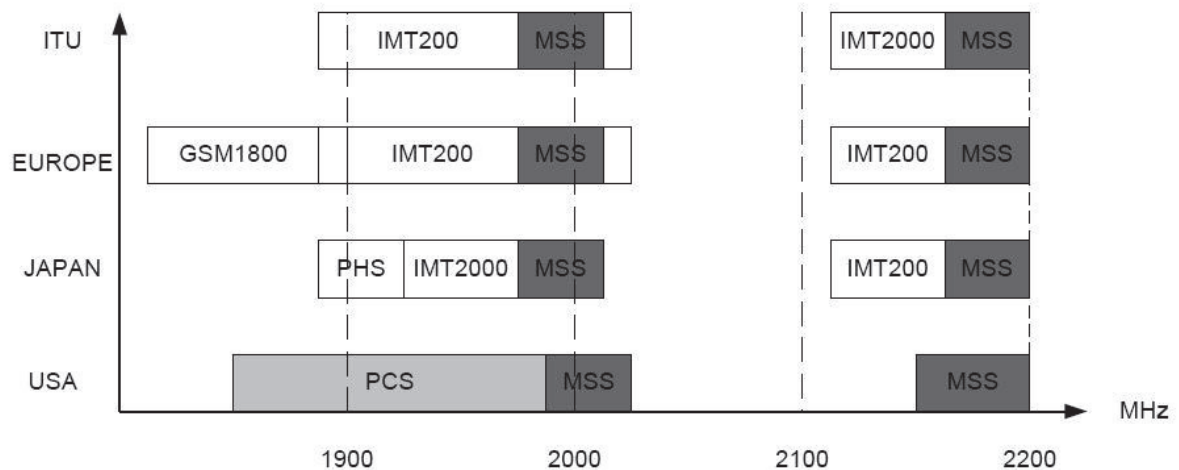
Το CSD μια τεχνολογία όπου βασίζεται μια από τις πιο βασικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας των δικτύων GSM, η οποία επιτρέπει μέσω σύνδεσης μεταγωγής κυκλώματος τη μεταφορά δεδομένων στη ταχύτητα των 9,6 ή 14,4kbps (συμμετρική σύνδεση) για upload-download ή 28.800kbps για download (ασύμμετρη σύνδεση) και στο HSCSD τα 57,6 kbps για download και 14,4kbps για upload (ασύμμετρη σύνδεση).

Η ταχύτητα μίας χρονοθυρίδας μπορεί να είναι 9.600kbps ή 14.400kbps αλλά μπορεί να φτάνει και ως τα 48kbps σε δίκτυα 2.5G.

## **1.3 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System**

Το 1992 το παγκόσμιο συνέδριο τηλεπικοινωνιών (WRC) αναγνώρισε το εύρος συχνοτήτων των 1885-2025 MHz και των 2110-2200 MHz για τα μελλοντικά IMT-2000 συστήματα. Εξ' αυτών οι συχνότητες εύρους 1980-2010 και 2170-2200 MHz προβλέπονται για τα δορυφορικά τμήματα αυτών των μελλοντικών συστημάτων. Η

Ευρώπη και Ιαπωνία αποφάσισαν να υλοποιήσουν το επίγειο τμήμα του UMTS, το UTRA στις συνδυαζόμενες συχνότητες 1920-1980 και 2110-2170 MHz. Επίσης, η Ευρώπη αποφάσισε να υλοποιήσει το UTRA στα ξεχωριστά εύρη συχνοτήτων 1900-1920 MHz και 2010-2015 MHz.



Σχήμα 1.3: Φάσμα συχνοτήτων UMTS

### Αρχιτεκτονική

Το σύστημα UMTS αποτελείται από τις παρακάτω βασικές μονάδες:

1. Τον εξοπλισμό χρήστη (mobile equipment), που αποτελείται από την κινητή τερματική μονάδα και είναι αυτή που εκτελεί την αποστολή των σημάτων και τον τερματικό εξοπλισμό, δηλαδή την κινητή συσκευή (τηλέφωνο, laptop).
2. Το USIM domain, που περιέχει δεδομένα και εκτελεί διαδικασίες για την ασφαλή και ξεκάθαρη αναγνώριση του χρήστη. Ουσιαστικά λειτουργεί όπως η κάρτα sim στο GSM. Τα δύο τμήματα αυτά απαρτίζουν το User Equipment domain.
3. Το δίκτυο κορμού (core network), που αποτελείται από τις οντότητες που θα παρέχουν την υποστήριξη για τη λειτουργία του δικτύου και των παρεχόμενων υπηρεσιών. Το core network απαρτίζεται από 3 ξεχωριστά μέρη.
  - Το δίκτυο εξυπηρέτησης (serving network) που διαχειρίζεται τις λειτουργίες του δικτύου κορμού που έχουν να κάνουν με το σταθμό

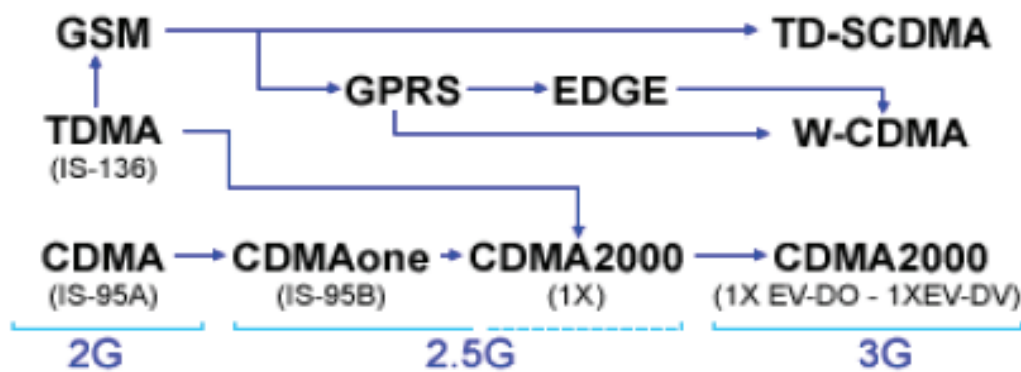
πρόσβασης του χρήστη. Όταν ο τελευταίος μετακινείται τις μεταφέρει στον αντίστοιχο σταθμό κάλυψης.

- Το Home Network domain, το οποίο διαχειρίζεται τις λειτουργίες που αφορούν την μόνιμη βάση του χρήστη. Η USIM είναι σχετική με την εγγραφή του χρήστη στο HN.
- Το Transit Network domain.

### Υπηρεσίες Δικτύου

Οι βασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που προσφέρει το UMTS σύστημα είναι οι:

1. Υπηρεσίες bearer: δηλαδή υπηρεσίες που υποστηρίζουν τη μετάδοση σημάτων μεταξύ σημείων πρόσβασης (access points) μέσω του χαμηλότερου επιπέδου επικοινωνίας. Στη μεταφορά της πληροφορίας από αυτές τις υπηρεσίες η ποιότητα καθορίζεται από παράγοντες όπως η μέγιστη καθυστέρηση στη μεταφορά δεδομένων, του BER δηλαδή του λόγου των λανθασμένων δεδομένων που στάλθηκαν προς τα συνολικά δεδομένα και του ρυθμού μετάδοσης. Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις αυτών των παραγόντων συγκεντρώνονται στα στατιστικά της ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Οι υπηρεσίες bearer θα καλύψουν τις επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο, όπως η μεταφορά δεδομένων φωνής και εικόνας καθώς και αυτές που δεν γίνονται σε πραγματικό χρόνο, όπως web-browsing, email κτλ. Οι υπηρεσίες μπορούν να χωριστούν σε αυτές που είναι «ανεκτικές» σε κάποια λανθασμένη μετάδοση και σε αυτές που απαιτητικώς πρέπει η ποιότητα να είναι καλύτερη.
2. Τηλε-υπηρεσίες: που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών με βάση πρωτόκολλα καθιερωμένα σε συμφωνία μεταξύ των παρόχων κινητών υπηρεσιών. Χρησιμοποιούν τις δυνατότητες που παρέχει το χαμηλότερο επίπεδο. Οι τηλευπηρεσίες περιλαμβάνουν υπηρεσίες multimedia. Η αρχή για τη σχεδίαση του δικτύου είναι οι τηλε-υπηρεσίες, δηλαδή το ανώτερο επίπεδο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ανεξάρτητο των υπηρεσιών bearer που αφορά το χαμηλό επίπεδο, έχοντας υπόψη ότι τα επίπεδα επικοινωνούν σύμφωνα με το μοντέλο OSI.
3. Υποστηρικτικές υπηρεσίες, που δεν προσφέρονται στο χρήστη ανεξάρτητα και υποστηρίζουν ή διαμορφώνουν τις βασικές υπηρεσίες (υπηρεσίες bearer και τηλε-υπηρεσίες).



Σχήμα 1.4: Εξέλιξη από το 2G στο 3G

### 1.4 LTE - Long Term Evolution

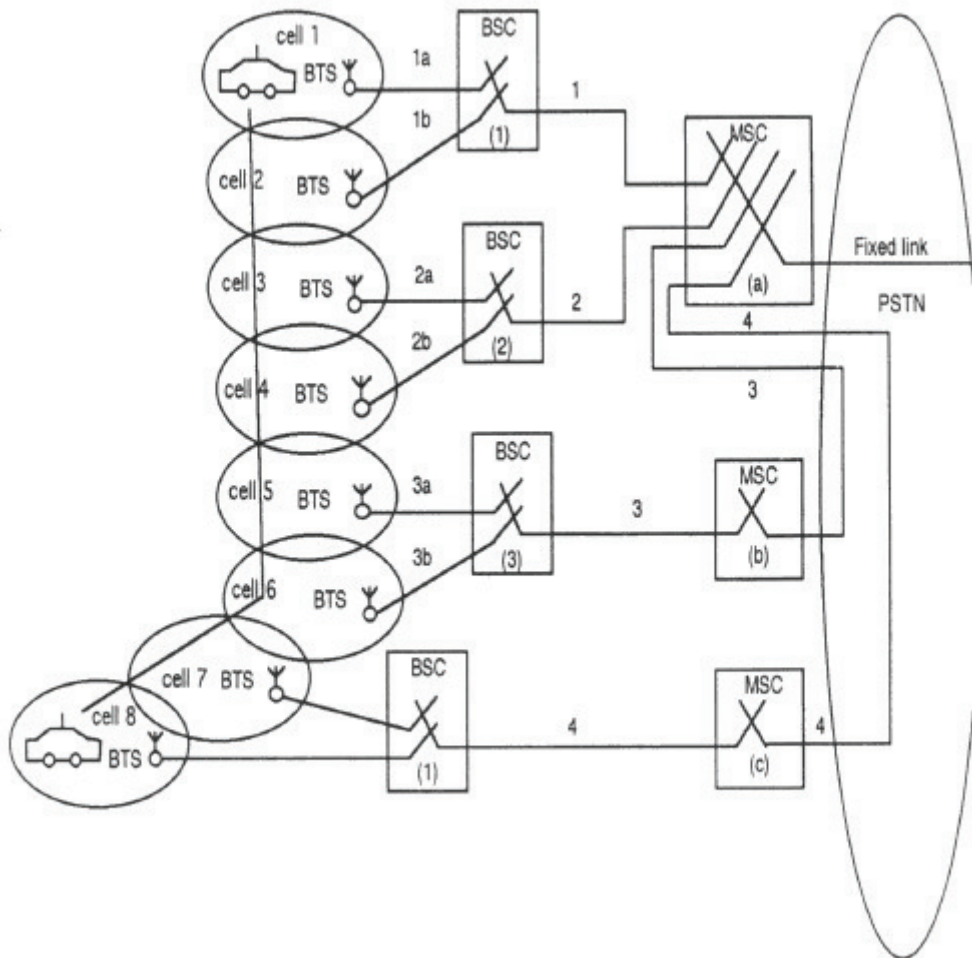
**Long Term Evolution**, ή **LTE** ονομάζεται η τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM / EDGE και UMTS / HSPA, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP. Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM / UMTS. Ο στόχος του LTE είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με τη χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος. Λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς. Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη κατερχόμενη ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανερχόμενη (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz και υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου (GSM, UMTS, CDMA2000). Η απλούστερη αρχιτεκτονική αποσκοπεί σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

## **1.5 Handover - Αλλαγή κυψέλης (Μεταπομπή)**

Το handover, είναι η εναλλαγή μιας κλήσης που βρίσκεται σε εξέλιξη, σε διαφορετικό κανάλι επειδή ο χρήστης βρίσκεται εν κινήση. Έχει υπολογιστεί ότι ο μέσος χρόνος παραμονής σε μία κυψέλη μιας κινούμενης μονάδας είναι 4,5 λεπτά. Το κανάλι που θα εξυπηρετεί την κλήση μπορεί να βρίσκεται είτε στην ίδια κυψέλη (Intracell HO), είτε σε διαφορετική (Intercell HO). Το Intracell HO μπορεί να εμφανιστεί είτε μεταξύ διαφορετικών καναλιών της ίδιας κυψέλης, είτε μεταξύ διαφορετικών χρονοθυρίδων (timeslots) του ιδίου καναλιού. Κατά τη διάρκεια ενός Intercell HO, ο έλεγχος της εκπομπής και της λήψης της μεταδιδόμενης πληροφορίας μπορεί να μεταφερθεί μεταξύ κυψελών που ανήκουν σε ίδιο ή διαφορετικό BSC, του ιδίου ή διαφορετικού MSC. Θα πρέπει να πούμε ότι είναι δυνατόν να διεξαχθεί HO μεταξύ καναλιού σηματοδότησης και καναλιού κίνησης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποκατάστασης της κλήσης (call establishment). Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως «directed retry procedure». Επίσης τα HO, μπορούν να ενεργοποιηθούν από το ίδιο το κινητό ή το MSC σαν λύση για την καταπολέμηση της αυξημένης κίνησης σε μια κυψέλη, την ώρα που δεν απασχολείται. Το κινητό ελέγχει τα κανάλια επικοινωνίας με 16 γειτονικές κυψέλες και δημιουργεί μια λίστα με τις 6 πιο πιθανές κυψέλες για HO που έχουν το δυνατότερο σήμα. Οι πληροφορίες περνάνε στο BSC και στο MSC και χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο του handover. Ο αλγόριθμος «μικρότερης επιτρεπτής απόδοσης» δίνει το δικαίωμα αλλαγής της ισχύς στο HO, έτσι ώστε όταν το σήμα φθίνει ποιο κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο, η ισχύς του κινητού να αυξάνεται ενώ αν αυξάνοντας την ισχύ δεν βελτιωθεί τελικά το σήμα, δημιουργείται νέα μεταπομπή. Στα διπλής ζώνης (Dual Band) δίκτυα GSM (900GSM-1800GSM) μπορεί να γίνει ταυτόχρονη χρήση των δύο αυτών συστημάτων με handovers, χωρίς να γίνεται αντιληπτό από τη κινητή μονάδα. Ο συνδρομητής θα πρέπει, όμως, να διαθέτει κινητή μονάδα που να υποστηρίζει τα δύο συστήματα ταυτόχρονα. Τέλος, υπάρχουν ακόμα δύο ιδιαίτερα είδη HO. Αυτά που εμφανίζονται σε ένα extended cell από την εσωτερική στην εξωτερική κυψέλη και αντιστρόφως, και αυτά που εμφανίζονται λόγω ύπαρξης κάποιας κυψέλης-ομπρέλας. Η ιδιαιτερότητα των τελευταίων έγκειται στο ότι ακριβώς επειδή μια κυψέλη-ομπρέλα υφίσταται στην περιοχή κάλυψης αρκετών μακροκυψελών, ελλοχεύει ο κίνδυνος της υπερφόρτωσης του πρώτου. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, μια κυψέλη-ομπρέλα έχει πάντα τη μικρότερη προτεραιότητα. Έτσι, για να γίνει HO προς μια κυψέλη-ομπρέλα θα πρέπει

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

να μην υπάρξει κάποια μακροκυψέλη που να μπορεί να συνεχίσει τη διεξαγωγή κάποιας κλήσης με επιτυχία. Δηλαδή, umbrella HO γίνεται μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει διαφορετικά. Αλλά και σε αυτήν την περίπτωση, ξαναγίνεται HO προς μια μακροκυψέλη αμέσως μόλις αυτό είναι εφικτό. Τέλος, όταν τίθεται θέμα ποιότητας ή παρεμβολής και γίνει HO προς μια κυψέλη-ομπρέλα, τότε δεν επιτρέπεται να γίνει HO προς τη μακροκυψέλη από όπου προήρθε το πρόβλημα για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 1.5: Ενδεχόμενα μεταπομπής μιας κλήσης

# **2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

## **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ**

### **2.1 Παθητικό Σύστημα Κατανεμημένων Κεραιών (Passive DAS)**

#### **Εισαγωγή**

Πριν αρχίσει η σχεδίαση παθητικών κατανεμημένων συστημάτων κεραιών θα πρέπει να έχει κατανοηθεί αρκετά καλά η λειτουργία των περισσότερων στοιχείων που χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό. Οι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου θα πρέπει να πληρούν τις εσωτερικές κατευθυντήριες γραμμές που ισχύουν για το συγκεκριμένο κτίριο. Σε γενικές γραμμές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν βραδύκαυστα / βραδυφλεγή καλώδια και συστατικά. Θα πρέπει να γνωρίζουμε πολύ καλά πώς να ελαχιστοποιήσουμε οποιαδήποτε προβλήματα παθητικής ενδοδιαμόρφωσης (PIM). Επίσης θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές, ιδίως κατά το σχεδιασμό υψηλής ισχύος παθητικών κατανεμημένων συστημάτων κεραιών. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού πολλών φορέων (carries) υψηλής ισχύος σταθμούς βάσης εξωτερικού δικτύου, θα είναι η παραγωγή υψηλής ισχύος στους διαχωριστές και στα στοιχεία που βρίσκονται κοντά στο σταθμό βάσης.

## 2.1.1 Στοιχεία μιας Παθητικής κεραίας

### 2.1.1.1 Ομοαξωνικά καλώδια (Coax Cables)

Ομοαξωνικά καλώδια χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλους τους τύπους καταναμημένων συστημάτων κεραίας, ιδιαίτερα σε παθητικά συστήματα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να επιλεγθεί η σωστή βάση σε σχέση με τους τύπους καλωδίων. Για τις ακριβείς προδιαγραφές ενός συγκεκριμένου καλώδιου, υπάρχει αναφορά στο τεχνικό δελτίο του προμηθευτή που χρησιμοποιείται. Συχνά, υπάρχει ένας δείκτης απόστασης τυπωμένος επί του καλώδιου κάθε 50 cm ή 1 m, γεγονός που καθιστά εύκολο τον έλεγχο στις αποστάσεις των εγκατεστημένων καλωδίων.

Cable type	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
$\frac{1}{4}$ inch	13	19	20
$\frac{1}{2}$ inch	7	10	11
$\frac{7}{8}$ inch	4	6	6.5
1 $\frac{1}{4}$ inch	3	4.4	4.6
1 $\frac{5}{8}$ inch	2.4	3.7	3.8

Πίνακας 2.1: Εξασθένηση ομοαξωνικού καλώδιου

Στον ανωτέρω πίνακα αναφέρονται οι απώλειες που υπάρχουν σε κάθε μίλι για συχνότητες για τις πιο συνηθισμένες διατομές καλωδίων. Ακριβώς λόγω των μεγάλων απωλειών, είναι επιθυμητή η χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν μικρότερων ως προς το μήκος καλωδίων καθώς και χρήση μικρής διατομής για λόγους ευκολίας εγκατάστασης.

#### **Υπολογισμός της απώλειας απόστασης του παθητικού καλώδιου**

Είναι σχετικά εύκολο να υπολογίσουμε την συνολική απώλεια ενός παθητικού ομοαξωνικού καλώδιου για μια συγκεκριμένη συχνότητα.

Παράδειγμα: Η συνολική απώλεια για ένα ομοαξωνικό καλώδιο 67 m και  $\frac{1}{2}$  inch στην συχνότητα των 1800 MHz είναι:

$$\text{Συνολική απώλεια} = \text{απόσταση (m)} \times \text{απόσβεση / m} = 67 \times 0,1 \text{ dB / m} = 6.7 \text{ dB}.$$

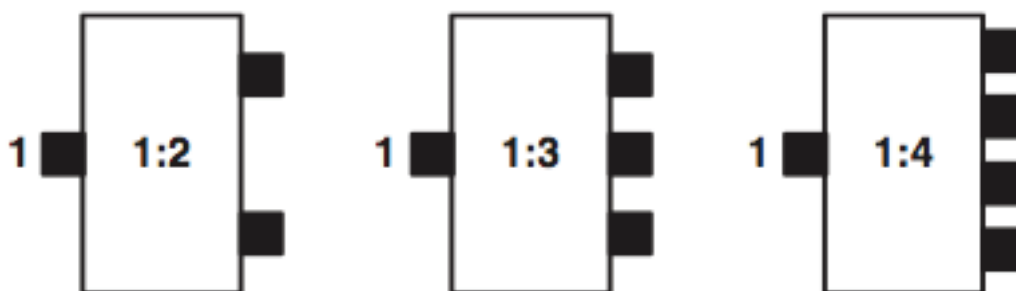


### Μειώνοντας το κόστος του έργου με την επιλογή καλωδίου

Το μεγαλύτερο ποσοστό στο κόστος των καλωδίων στην εφαρμογή παθητικών συστημάτων εσωτερικού χώρου δεν είναι τόσο το κόστος του καλωδίου όσο η τιμή για την εγκατάσταση του. Η εγκατάσταση ενός άκαμπτου, με μεγάλο βάρος καλωδίου σε ένα κτίριο είναι μια μεγάλη πρόκληση. Συγκεκριμένα οι τύποι καλωδίων με μέγεθος 7/8 inch και επάνω απαιτούν μια δύσκολη εργασία. Αυτά τα βαριά καλώδια στην κυριολεξία απαιτούν ολόκληρες ομάδες εγκαταστατών και είναι μια πρόκληση η εγκατάστασή τους, χωρίς τον χωρισμό του καλωδίου σε μικρότερα τμήματα. Αναγκαία παραμένει η προσεκτική εξέταση της τιμής του καλωδίου σε σχέση με την απόδοση (link budget). Ίσως είναι καλύτερα να υπάρχει μια απώλεια 2 dB αν μπορεί να αποφευχθούν κατά 50% τα έξοδα εγκατάστασης επιλέγοντας ένα λεπτότερο μέγεθος καλωδίου.

#### 2.1.1.2 Διαχωριστές (Splitters)

Οι διαχωριστές και οι διαιρέτες ισχύος είναι τα πιο κοινά παθητικά στοιχεία σε κατανεμημένα συστήματα κεραιών, διαιρώντας το σήμα από ή προς περισσότερες κεραιές. Τα splitter χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό ενός ομοαξονικού καλωδίου σε δύο ή περισσότερες γραμμές και αντίστροφα. Όταν διαχωρίζεται το σήμα, η ισχύς κατανέμεται μεταξύ των θυρών. Εάν το σήμα διαχωριστεί σε δύο θύρες, η ισχύς που είναι διαθέσιμη σε κάθε μία από αυτές είναι η μισή της αρχικής μείον την απώλεια παρεμβολής, συνήθως περίπου 0,1 dB. Είναι πολύ σημαντικό να τερματίσουμε όλες τις θύρες του splitter. Αν κάποια δεν χρησιμοποιείται, για αποφυγή διαφυγής ισχύος, θα πρέπει να τερματιστεί με ένα τερματικό φορτίο (termination load).



Σχήμα 2.1: Διαχωριστές ομοαξονικών καλωδίων

### Άνισοι διαχωριστές (Tappers)

Οι tappers χρησιμοποιούνται για να διαιρούν το σήμα / ισχύ από μια σε δύο γραμμές. Η διαφορά από το πρότυπο 1:02 splitter είναι ότι η ισχύς δεν διαχωρίζεται ισομερώς στις θύρες.

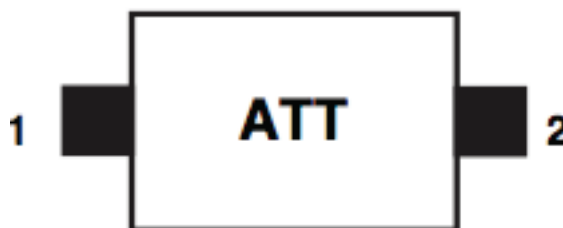


Σχήμα 2.2: Άνισοι Διαχωριστές

Αυτό είναι πολύ χρήσιμο για μελέτες, όπου εγκατασταθίσταται ένα βαρύ κεντρικό καλώδιο και στη συνέχεια χωρίζει την ισχύ τερματίζοντας στις διάφορες κεραίες κατά μήκος του κεντρικού καλωδίου. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η ανάγκη να εγκατασταθούν πολλά παράλληλα βαριά καλώδια διατηρώντας τις απώλειες σε χαμηλά επίπεδα. Πρόκειται για μια εφαρμογή που χρησιμοποιείται συνήθως σε πολύροφα κτίρια, όπου εγκαθιστώντας ένα «κάθετο» καλώδιο η ισχύς διαμοιράζεται στους μεμονωμένους ορόφους.

#### 2.1.1.3 Εξασθενητές (Attenuators)

Κάθε εξασθενητής (attenuator) εξασθενεί το σήμα ανάλογα με την τιμή του. Για παράδειγμα ένας εξασθενητής 10 dB θα μετριάσει το σήμα κατά 10 dB. Οι εξασθενητές χρησιμοποιούνται για να «μεταφέρουν» τα υψηλότερα σήματα ισχύος σε ένα επιθυμητό εύρος λειτουργίας ώστε να αποφευχθεί υπερφόρτωση του ενισχυτή.

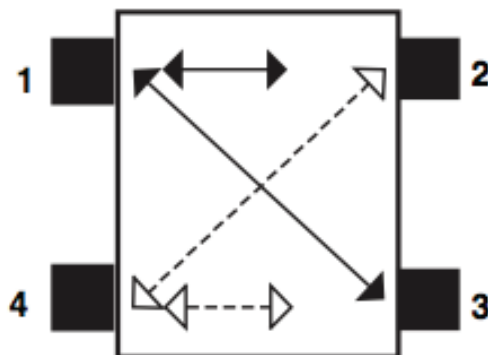


Σχήμα 2.3: RF Εξασθενητής

Τυπικές τιμές για τους εξασθενητές είναι 1, 2, 3, 6 10, 12, 18, 20, 30 και 40 dB. Αν συνδυαστούν οι παράπανω τιμές μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή. Εξασθενητές με μεταβαλλόμενη τιμή είναι επίσης διαθέσιμοι αλλά μόνο για σήματα χαμηλής ισχύος. Κατά την εξασθένηση σημάτων υψηλής ισχύος για πολλούς παρόχους (multioperator), θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας ειδικός τύπος εξασθενητή, για την αποφυγή προβλημάτων ενδοδιαμόρφωσης (PIM).

#### **2.1.1.4 Συζεύκτης 3 dB (Coupler 3 dB)**

Ένας coupler 3 dB χρησιμοποιείται κυρίως για το συνδυασμό σημάτων από δύο πηγές σήματος. Την ίδια στιγμή ο coupler θα χωρίσει τα δύο συνδυασμένα σήματα σε δύο θύρες εξόδου. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο κατά το σχεδιασμό παθητικών καταναμημένων συστημάτων κεραιών.

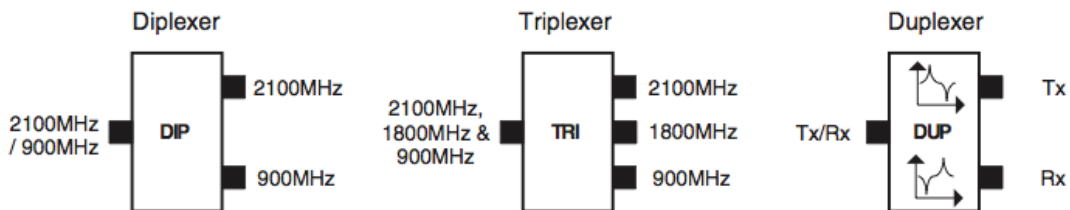


Σχήμα 2.4: Συζεύκτης 3 db

Ο coupler 3 dB έχει τέσσερις θύρες. Ένα ζεύγος από αυτές απομονώνεται από το άλλο (θύρες 2 και 3 / 1 και 4). Αν η ισχύς τροφοδοτείται στη θύρα 1, η ισχύς αυτή διανέμεται στις θύρες 2 και 3 (- 3 dB). Η θύρα 4 θα είναι χωρίς ισχύ υπό την προϋπόθεση ότι οι θύρες 2 και 3 πρέπει να ταιριάζουν. Κανονικά ένα τερματικό φορτίο θα πρέπει να συνδεθεί στη θύρα 4 (termination load).

### 2.1.1.5 Φίλτρα (Filters)

Κατά τον σχεδιασμό εσωτερικών συστημάτων υπάρχουν 2 τύποι φίλτρων, το duplexer και το diplexer ή triplexer.



Σχήμα 2.5: Φίλτρα

#### **Duplexer**

Ο duplexer χρησιμοποιείται για να διαχωριστεί ένα συνδυασμένο Tx / Rx σήμα σε ξεχωριστές Tx και Rx γραμμές. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η απομόνωση μεταξύ των ζωνών συχνοτήτων, καθώς και η απώλεια παρεμβολής όπως επίσης και οι προδιαγραφές ενδοδιαμόρφωσης (PIM).

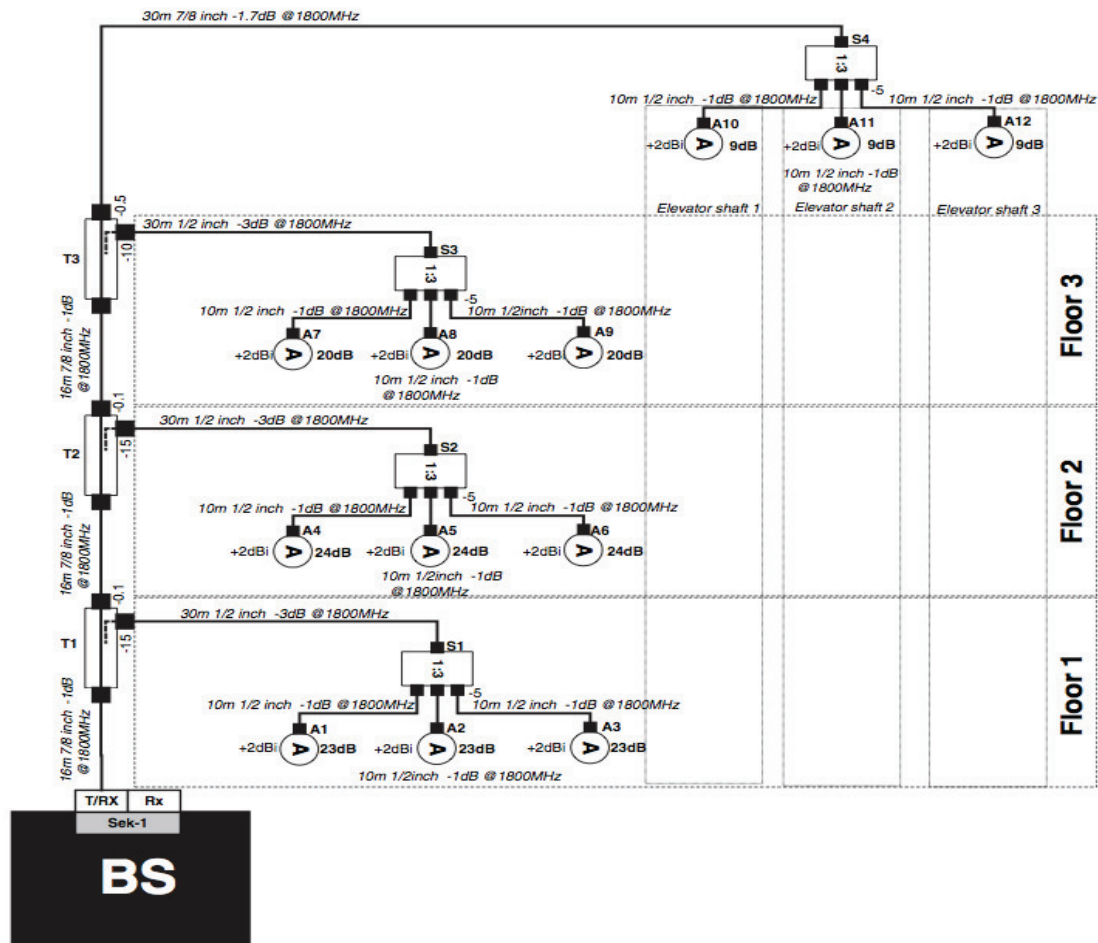
#### **Diplexer / Triplexer**

Ο diplexer θα διαχωρίσει ή συνδυάσει ολόκληρες ζώνες μεταξύ τους. Για παράδειγμα αν ως είσοδος χρησιμοποιείται συνδυασμός 2100 και 1800 MHz και ως έξοδος ξεχωριστή 2100 και 1800 MHz ξεχωριστά. Να ληφθούν υπόψη η απομόνωση μεταξύ των ζωνών καθώς και η απώλεια παρεμβολής όπως και οι προδιαγραφές ενδοδιαμόρφωσης PIM. Μια εκδοχή η οποία μπορεί να διαχωρίσει ή να συνδυάσει 900, 1800 και 2100 MHz είναι επίσης διαθέσιμη με την βοήθεια ενός triplexer. Ορισμένοι κατασκευαστές συνδυάζουν στοιχεία με την χρήση τόσο ενός diplexer ή triplexer όσο και ενός duplexer.

Με την γνώση της λειτουργίας όλων των παθητικών στοιχείων, ένα κατανομημένο σύστημα παθητικής κεραίας μπορεί να σχεδιαστεί. Τα παθητικά συστήματα DAS είναι η πλέον δημοφιλής μέθοδος για έργα εσωτερικών χώρων ειδικά όταν πρόκειται για μικρά κτίρια.

### **2.1.2 Σχεδιασμός παθητικών DAS**

Ο σχεδιασμός ενός παθητικού κεραιοσυστήματος είναι σχετικά εύκολος. Το σημαντικότερο που πρέπει να γίνει είναι ο υπολογισμός της μέγιστης απώλειας σε κάθε κεραία του συστήματος και στη συνέχεια να γίνει ο υπολογισμός του link budget ανάλογα τις περιοχές που καλύπτει κάθε κεραία. Θα χρειαστεί να προσαρμοστεί ο σχεδιασμός του παθητικού κεραιοσυστήματος (DAS) ανάλογα με τους περιορισμούς του κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη το μέρος και τον τρόπο που θα εγκατασταθεί το βαρύ ομοαξωνικό καλώδιο. Συνηθίζεται ο μηχανικός που θα εκπονήσει την μελέτη να κάνει μια προμελέτη με βάση τα σχέδια του κτιρίου πριν από την αρχική μελέτη του χώρου και στη συνέχεια θα προσαρμόσει αυτό το σχέδιο για να καλύψει τις ανάγκες εγκατάστασης του κτιρίου. Στην πραγματικότητα, ο ρόλος του μηχανικού περιορίζεται συχνά περισσότερο σε σχέδια εγκατάστασης. Είναι πολύ σημαντικό ο μηχανικός να γνωρίζει όλες τις αποστάσεις και τύπους καλωδίων ώστε να μπορεί να υπολογίσει την απώλεια από το σταθμό βάσης σε κάθε κεραία. Ως εκ τούτου θα πρέπει να κάνει μια λεπτομερή μελέτη του χώρου του κτιρίου εξασφαλίζοντας ότι υπάρχουν διαδρομές καλωδίων προς όλες τις κεραίες. Κατά τον σχεδιασμό ενός DAS συχνά θα υπάρχουν περιορισμοί για την τοποθεσία που μπορεί να εγκατασταθούν τελικά τα ομοαξωνικά καλώδια. Οι περιορισμοί της εγκατάστασης υπαγορεύουν τον σχεδιασμό ενός παθητικού DAS και λόγω αυτού του γεγονότος η τελική λύση αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης απόδοσης και του περιβάλλοντος κάλυψης. Χρειάζεται ακριβή καταμέτρηση κάθε απώλειας που μπορεί να έχουν τα στοιχεία του συστήματος ώστε να ελεγχθεί το link budget και να τοποθετηθούν τις κεραίες.



Σχήμα 2.6: Υποθετικός σχεδιασμός για ένα 3οροφο κτίριο

### 2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Παθητικού DAS

Η χρήση ενός παθητικού DAS παρέχει πολλά υπέρ αλλά και κατά. Να σημειωθεί πως ο σχεδιασμός ενός παθητικού DAS για εσωτερικούς χώρους δεν αποτελεί πάντα την βέλτιστη λύση. Ένας έμπειρος μηχανικός γνωρίζει τα πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται :

- Στην απλότητα του σχεδιασμού ενός τέτοιου δικτύου.
- Στην συμβατότητα μεταξύ των εξαρτημάτων από διαφορετικούς κατασκευαστές.
- Στην αντοχή που προσφέρεται σε δύσκολες καιρικές συνθήκες.

Όπως είναι φυσικό υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα:

- Δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί τακτικός έλεγχος ποιότητας του συστήματος. Ο σταθμός βάσης δεν θα σηματοδοτήσει συναγερμό ακόμη και για λάθη κοντά σε αυτόν.
- Η αναβάθμιση του δικτύου ίσως είναι και αδύνατη πολλές φορές. Η ακαμψία των ομοαξονικών καλωδίων καθιστά δύσκολη την όποια παρέμβαση.
- Η απόδοση του δικτύου μπορεί να είναι μειωμένη λόγω των απωλειών των διαφόρων παθητικών στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα.
- Η εκπομπή κάθε κεραίας εξυπηρέτησης δεν μπορεί να είναι η ίδια με αποτέλεσμα να μην μπορεί να δημιουργηθεί ένα ομοιόμορφο επίπεδο κάλυψης.
- Απαιτείται ένας υψηλής ισχύος σταθμός βάσης και ένα ειδικό δωμάτιο εξοπλισμού (BTS Room) για την υποστήριξη εξοπλισμού, τροφοδοσίας, κλπ.

Είναι πάντως γεγονός ότι ένα παθητικό DAS είναι ο πιο δημοφιλής σχεδιασμός σε παγκόσμια βάση. Ωστόσο, η ανάγκη για 3G / UMTS και HSPA υπηρεσιών και για ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα στις υπηρεσίες δεδομένων στο μέλλον θα επηρεάσει την προτίμηση για την επιλογή τύπων DAS.

Οι συχνότητες, που ενδεχομένως χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, κατά πάσα πιθανότητα θα είναι όλο και πιο υψηλές. Τα συστήματα διαμόρφωσης που εφαρμόζονται σε υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες δεδομένων, είναι πολύ ευαίσθητα στις απώλειες των καλωδίων. Σίγουρα παθητικά συστήματα θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στο μέλλον αλλά μόνο για μικρά κτίρια, με λίγες κεραίες, ενώ οι απώλειες πρέπει να διατηρούνται στο ελάχιστο.

### **2.1.4 Εφαρμογές ενός παθητικού DAS**

Ένα παθητικό DAS είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα διανομής για συστήματα εσωτερικών χώρων για την κάλυψη κινητών υπηρεσιών. Το παθητικό DAS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολύ μικρά κτίρια με χαμηλή ισχύ στο σταθμό βάσης και λίγες κεραίες μέχρι και σε μεγάλα αεροδρόμια, πανεπιστημιούπολεις, κλπ. Η υποβάθμιση των υπηρεσιών δεδομένων μπορεί να είναι ένα θέμα εάν η εξασθένιση του

συστήματος γίνει πολύ υψηλή για τις 3G / HSPA τεχνολογίες. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με τη διαίρεση του DAS σε μικρά τμήματα ή τομείς, το καθένα από τα οποία εξυπηρετείται από έναν τοπικό σταθμό βάσης. Παρόλα αυτά η λύση αυτή έχει μεγάλο κόστος και συνήθως είναι αναποτελεσματική. Μια πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να τονιστεί, κατά το σχεδιασμό με παθητικά στοιχεία είναι να μην υπερβαίνεται η μέγιστη ονομαστική ισχύς που το συγκεκριμένο στοιχείο μπορεί να χειριστεί. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα για τα παθητικά DAS διαφορετικών παρόχων, όπου συνδυάζονται σταθμοί βάσης σε υψηλά επίπεδα ισχύος στο ίδιο σύστημα.

### **2.2 Ενεργό Σύστημα Κατανεμημένων Κεραιών (Active DAS)**

Η αρχή λειτουργίας ενός ενεργού DAS όπως και σε ένα παθητικό DAS είναι η διανομή του σήματος στις εσωτερικές κεραίες. Ωστόσο υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Το ενεργό DAS βασίζεται συνήθως σε λεπτά καλώδια, οπτικές ίνες και καλώδια δικτύου, κάνοντας το έργο εγκατάστασης πιο εύκολο σε σύγκριση με τα άκαμπτα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τα παθητικά συστήματα. Το ενεργό DAS αποτελείται από πολλά μέρη, η ακριβής διαμόρφωση των οποίων εξαρτάται από τον κατασκευαστή.

#### **2.2.1 Σχεδιασμός ενεργών DAS**

Η ικανότητα για την αντιστάθμιση των απωλειών καλωδίου διασυνδέοντας τις μονάδες σε ένα ενεργό DAS καθιστά το σύστημα πολύ εύκολο και γρήγορο στο σχεδιασμό και είναι εύκολο να εγκατασταθεί σε ένα κτίριο.

Κατά τον σχεδιασμό ενός παθητικού DAS θα πρέπει να γνωρίζει ο μηχανικός που θα το σχεδιάσει, την ακριβή διαδρομή του καλωδίου και την απόσταση για κάθε καλώδιο προκειμένου να υπολογιστούν οι απώλειες. Η απόδοση θα είναι το ίδιο για όλες τις κεραίες στο σύστημα. Στο ενεργό σύστημα θα αντισταθμιστούν όλες οι απώλειες των καλωδίων με τη χρήση ενισχυτών. Αυτό γίνεται συνήθως αυτόματα μετά την σύνδεση των μονάδων του συστήματος. Ως εκ τούτου, ο σχεδιαστής δεν χρειάζεται να πραγματοποιήσει μια λεπτομερή κατόπτευση του χώρου. Δεν έχει σημασία που είναι εγκατεστημένα τα καλώδια καθώς το σύστημα θα προσαρμόσει οποιαδήποτε



ανισορροπία των καλωδίων. Όπως επίσης, ο σχεδιαστής δεν χρειάζεται να υπολογίσει το link budget για όλες τις κεραιές στο κτίριο. Όλες οι κεραιές θα έχουν τον ίδιο βαθμό «θορύβου» και την ίδια ισχύ κατερχόμενης ζεύξης (downlink), δίνοντας πραγματικά ομοιόμορφη κάλυψη σε όλο το κτίριο. Το ενεργό DAS είναι πολύ γρήγορο και εύκολο για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη βελτιστοποίηση. Είναι σημαντικό να υπάρχει ένα καταναμημένο σύστημα κεραιάς που μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί και να προσαρμοστεί στην ανάγκη του κτιρίου. Είναι εξίσου σημαντικό για τους χρήστες του κτιρίου, τον ιδιοκτήτη του κτιρίου και τον διαχειριστή του συστήματος. Το ενεργό DAS μπορεί να επιλύσει αυτό το θέμα, είναι εύκολο και ευέλικτο στην προσαρμογή και την αναβάθμισή του. Δεν υπάρχει καμία ανάγκη να επαναληφθεί ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση, εάν υπάρξουν αλλαγές και προσθήκες στο σύστημα. Υπάρχει πάντα η ίδια ισχύς στην κεραία, ανεξάρτητα από τον αριθμό ή την απόσταση των κεραιών.

### **2.2.2 Ενεργό DAS για μεγάλα κτίρια**

Ιδανικά σε ένα ενεργό DAS δεν θα υπάρχουν παθητικά στοιχεία τα οποία δεν αντισταθμίζονται από το σύστημα. Συνεπώς το ενεργό DAS είναι σε θέση να παρακολουθεί την απόδοση ολόκληρου του κεραιοσυστήματος και να σημάνει συναγερμό σε περίπτωση βλάβης ή διακοπής της σύνδεσης των καλωδίων και των κεραιών. Τέτοια συστήματα, μπορούν να υποστηρίξουν είτε ένα πάροχο είτε μεγάλα δίκτυα πολλών παρόχων.

#### **Μη αναγκαία η υψηλή ισχύς**

Η κύρια φιλοσοφία της αρχιτεκτονικής που κρύβεται πίσω από το ενεργό DAS είναι τόσο ο τελευταίος ενισχυτής της κατερχόμενης ζεύξης όσο και ο πρώτος ενισχυτής της ανερχόμενης ζεύξης, να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κεραία. Στην ίδια τοποθεσία με την κεραία βρίσκεται η απομακρυσμένη μονάδα (remote unit) αποφεύγοντας οποιαδήποτε αχρείαστη απώλεια των «παθητικών» ομοαξωνικών καλωδίων. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω τεχνική, έχοντας την απομακρυσμένη μονάδα κοντά στην κεραία, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιείται υψηλή ισχύς κατερχόμενης (downlink) ζεύξης από τον σταθμό βάσης ώστε να αντισταθμίσει τις απώλειες στο παθητικό ομοαξωνικό καλώδιο. Για το λόγο αυτό, το σύστημα

βασίζεται σε χαμηλή προς μέση ισχύ μετάδοσης από τα radio units καθώς όλη η ισχύς κατερχόμενη ζεύξης τους θα μεταδοθεί στις κεραιές με πολύ χαμηλές απώλειες.

### **Καλύτερη απόδοση δεδομένων στην ανερχόμενη (uplink) ζεύξη**

Το ενεργό DAS έχει μεγάλα πλεονεκτήματα για την απόδοση των δεδομένων στην ανερχόμενη (uplink) ζεύξη. Έχοντας την πρώτη ανερχόμενη ζεύξη στην κινητή μονάδα (remote unit) χωρίς απώλειες πίσω στο σταθμό βάσης, θα δώθει ώθηση στην αποστολή δεδομένων.

### **Μεγάλα συστήματα**

Με την χρήση οπτικών ινών και έχοντας μικρές απώλειες, ένα τυπικό ενεργό DAS μπορεί να φτάσει αποστάσεις ακόμα και πάνω από 5 km. Τα καλώδια μεταξύ των μοναδων επέκτασης (expansion units) και των απομακρυσμένων μονάδων (remote units) μπορούν να φτάσουν έως και 250 m, κάνοντας αυτές τις λύσεις προσιτές για μεγάλα κτίρια και πιο συγκεκριμένα κτίρια που αποτελούνται από γραφεία, σε νοσοκομεία ή εμπορικά κέντρα.

### **Κόστος εγκατάστασης**

Ένα τυπικό ενεργό DAS απαιτεί +10 dBm εισερχόμενη ισχύ από τον σταθμό βάσης. Δεν κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση ενός μεγάλου σταθμού βάσης, υψηλής ισχύος που απαιτεί και μεγάλο χώρο για τα μηχανήματα. Όλα τα απαραίτητα υλικά μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα μικρό χώρο.

Η μικρή κατανάλωση ισχύος λόγω της ανάγκης για λιγότερη ισχύ από τον σταθμό βάσης κάνει το κόστος πιο μικρό και πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

### **Τα μέρη ενός ενεργού DAS**

Με σκοπό την ορθότερη χρήση ενός ενεργού DAS για λύσεις εσωτερικού χώρου, πρέπει να υπάρχει εξικαίωση με τα υλικά που θα το απαρτίζουν. Μερικά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν για την μετάδοση της πληροφορίας την αναλογική τεχνολογία, άλλα την ψηφιακή και άλλα πλέον την μετάδοση “over IP”.

Τα ονόματα των μονάδων, οι αριθμοί των θυρών (ports), οι τύποι των καλωδίων μπορεί να διαφέρουν από κατεσκευαστή σε κατασκευαστή, η λειτουργία όμως παραμένει η ίδια και μπορούν να υποστηρίξουν συνήθως και τις τρεις τεχνολογίες (GSM – UMTS – LTE).

- **Κύρια Μονάδα**

Η κύρια μονάδα (main unit) συνδέεται με τον χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης ή τον αναμεταδότη. Διανέμει το σήμα στο υπόλοιπο σύστημα μέσω των μονάδων επέκτασης (expansion units) ενώ συνδέεται με αυτές με την βοήθεια οπτικών ινών. Η κύρια μονάδα είναι ο «εγκέφαλος» του συστήματος και επίσης δημιουργεί και ελέγχει τα σήματα στο σύστημα μαζί με τους ενισχυτές.

Η κύρια μονάδα επίσης παρακολουθεί την απόδοση του DAS στέλλοντας ανα τακτά χρονικά διαστήματα, δεδομένα σε όλα τα μέρη του συστήματος. Σε περίπτωση σφάλματος στέλνει ένα σήμα κινδύνου στο σταθμό βάσης που επιτρέπει στον εκάστοτε πάροχο να εντοπίσει ακριβώς την πηγή του προβλήματος και να το επιλύσει άμεσα.

- **Μονάδα επέκτασης**

Οι μονάδες επέκτασης (expansion units) διανέμονται στο κτίριο και τοποθετούνται κυρίως στους χώρους όδευσης των καλωδίων. Μια μονάδα επέκτασης συνδέεται συνήθως με την κύρια μονάδα μέσω οπτικών ινών. Μετατρέπει το οπτικό σήμα από την κύρια μονάδα σε ένα ηλεκτρικό σήμα και στη συνέχεια το διανέμει στις απομακρυσμένες μονάδες (remote units).

Ιδανικά η μονάδα επέκτασης τροφοδοτείται με ισχύ την απομακρυσμένη μονάδα μέσω του ήδη υπάρχοντος καλωδίου σήματος ώστε να αποφύγει την ανάγκη για παροχή τοπικής ισχύος σε κάθε κεραία.

- **Εγκαταστάσεις οπτικών ινών**

Μερικά συστήματα χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τόσο την μονότροπη όσο και την πολύτροπη λειτουργία των οπτικών ινών, ενώ μερικά άλλα συστήματα χρησιμοποιούν μόνο την μονότροπη λειτουργία. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη αυτό όταν στον σχεδιασμό συμπεριλαμβάνεται η επαναχρησιμοποίηση των ήδη εγκατεστημένων οπτικών ινών στο κτίριο λόγω του γεγονότος ότι οι παλιές εγκαταστάσεις είναι κυρίως πολύτροπης λειτουργίας. Η εγκατάσταση των οπτικών ινών απαιτεί τόσο πολύ καλή

γνώση του αντικειμένου όσο και πειθαρχία για αυτό ο εγκαταστάτης θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός κατά την εγκατάσταση.

- Απομακρυσμένη μονάδα

Μία απομακρυσμένη μονάδα (remote unit) εγκαθίσταται κοντά στην κεραία ώστε να συγκρατηθούν οι απώλειες σε χαμηλά επίπεδα και να βελτιωθεί η απόδοση της ζεύξης. Η απομακρυσμένη μονάδα μετατρέπει το σήμα στο φυσιολογικό downlink ραδιοσήμα και το ραδιοσήμα από τα κινητά στο κατά την ανερχόμενη ζεύξη (uplink) μετατρέπεται και διανέμεται πίσω στη μονάδα επέκτασης. Η απομακρυσμένη μονάδα βρίσκεται κοντά στην κεραία, κανονικά είναι συνδεδεμένη με ένα μικρού μήκους RF καλώδιο. Αυτό εξασφαλίζει την βέλτιστη RF απόδοση και δίνει την δυνατότητα στο DAS να ανιχνεύει την περίπτωση που η κεραία αποσυνδέεται από το σύστημα.

Τροφοδοτείται με ισχύ από την μονάδα επέκτασης προκειμένου να αποφευχθεί η δαπανηρή τροφοδοσία σε κάθε κεραία ξεχωριστά. Επιπλέον ένα remote unit πρέπει να μην εμπεριέχει ανεμιστήρες ή άλλα θορυβώδη εσωτερικά εξαρτήματα, ώστε να μπορέσει το σύστημα να εγκατασταθεί σε ένα γραφείο.

Η διασύνδεση των remote με τις expansion μονάδες γίνεται με ένα λεπτό ομοαξονικό ή CAT5 καλώδιο, γεγονός που καθιστά πολύ εύκολη και γρήγορη την εγκατάσταση σε σύγκριση με τα άκαμπτα ομοαξονικά καλώδια που χρησιμοποιούνται για τα παθητικά DAS.

### **2.2.3 Ενεργό DAS για μικρά κτίρια**

Το ενεργό DAS συνήθως θεωρείται ιδανικό για μεγάλα κτίρια, για μικρά κτίρια συνήθως προτιμάται το pure active DAS.

- Κύρια Μονάδα

Η κύρια μονάδα συνδέεται απευθείας με την μονάδα επέκτασης με λεπτά ομοαξονικά, CAT5 ή άλλα δικτύου καλώδια, ενώ δεν γίνεται καμία χρήση των οπτικών ινών. Αυτό το μικρό σύστημα έχει τις ίδιες λειτουργίες με τα μεγάλα συστήματα. Ακόμη και το λεπτομερές σύστημα συναγερμού είναι ίδιο.

- Κόστος εγκατάστασης

Και τα δύο αυτά συστήματα είναι εύκολα στην εγκατάσταση. Συχνά η IT ομάδα του κτιρίου μπορεί να πραγματοποιήσει την εγκατάσταση για τον χειριστή, με αποτέλεσμα και το κόστος να μοιράζεται. Με τον τρόπο αυτό ο ιδιοκτήτης ή χρήστης του κτιρίου πληρώνει για την εγκατάσταση και ο πάροχος πληρώνει για τον εξοπλισμό και την υποδομή. Αυτό θα δημιουργήσει ένα πιο πιστό πελάτη, ο οποίος είναι τώρα μέρος του έργου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μονάδες στο ενεργό DAS δεν μπορούν πάντα να εγκατασταθούν σε σκληρό περιβάλλον, με υγρασία και σκόνη διότι μπορεί να προκληθούν βλάβες. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να ελέγχονται οι οδηγίες εγκατάστασης και τα χαρακτηριστικά.

- Εφαρμογές ενός αμιγώς ενεργού DAS

Κατά κύριο λόγο, ένα αμιγώς ενεργό DAS είναι ιδανικό για μεγάλα κτίρια ή πανεπιστημιούπολεις. Το χαμηλό κόστος εγκατάστασης του συστήματος με τη χρήση και επαναχρησιμοποίηση λεπτών καλωδίων δικτύου κάνει αυτή την λύση ιδανική για κτίρια εταιριών, ξενοδοχεία και νοσοκομεία. Η εγκατάσταση είναι εύκολη και γρήγορη. Η ύπαρξη της κύριας μονάδας κοντά στην κεραία ενισχύει την απόδοση σε αυτά τα κτήρια, όπου η 3G/HSPA υπηρεσία είναι απαραίτητη.

Η ακτινοβολία από τα κινητά και τις κεραίες του DAS είναι μια απειλή για τους χρήστες του κτιρίου. Το αμιγώς ενεργό DAS έχει εγκατεστημένες τις απομακρυσμένες μονάδες κοντά στις κεραίες, πράγμα που ενισχύει την απόδοση της ανερχόμενης ζεύξης (uplink). Επειδή το σύστημα εξισορροπεί τις απώλειες, δεν υπάρχει καμία εξασθένηση του σήματος από την κεραία προς τον σταθμό βάσης. Ως εκ τούτου το κινητό μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας πολύ χαμηλή ισχύ μετάδοσης. Αυτό κάνει την προσέγγιση αυτή ιδανική για εγκαταστάσεις όπως για παράδειγμα, σε νοσοκομεία.

Η μικρή έκδοση ενός αμιγώς ενεργού κεραιοσυστήματος έχει όλα τα πλεονεκτήματα των μεγάλων συστημάτων αλλά δεν βασίζεται σε εγκατάσταση οπτικών ινών. Το γεγονός αυτό μειώνει την πολυπλοκότητα κατά την διαδικασία εγκατάστασης. Το σύστημα είναι ιδανικό για μικρα και μεσαίου μεγέθους κτίρια.

Η αξιοπιστία είναι ένας λόγος ανησυχίας λόγω του αριθμού των μονάδων που διανέμονται σε όλο το κτίριο. Θα πρέπει να επιλεγεί ένας πάροχος ο οποίος θα μπορεί να προσφέρει αξιοπιστία και υψηλό μέσο χρόνο μεταξύ των σφαλμάτων.

### Χαρακτηριστικά καλωδιακού DAS

- Κύρια μονάδα

Η κύρια μονάδα συνδέει το κεραιοσύστημα με διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Διανέμει τα σήματα άμεσα στις μονάδες με τη χρήση των οπτικών ινών. Σε πολλές περιπτώσεις η ίνα είναι ένα σύνθετο καλώδιο που συνδυάζει τόσο την ίνα όσο και το καλώδιο χαλκού για την παροχή υπηρεσίας στην απομακρυσμένη μονάδα. Εναλλακτικά η ισχύς τροφοδοτείται τοπικά στην απομακρυσμένη μονάδα.

- Οπτική απομακρυσμένη μονάδα

Μία οπτική απομακρυσμένη μονάδα (optical remote unit) εγκαθίσταται σε όλο το κτίριο και μετατρέπει το οπτικό σήμα των κύριων μονάδων πίσω στην κανονική RF και τα σήματα από τα κινητά τηλέφωνα μετατρέπονται και διαβιβάζονται στην κύρια μονάδα. Τυπικά θα πρέπει να λειτουργεί με μέτρια προς υψηλή ισχύ εξόδου RF και να έχει συχνά δύο ή περισσότερες συνδέσεις κεραίας, για τις κεραίες του DAS.

### Εφαρμογές ενός ενεργού Das οπτικών ινών

Το σύστημα είναι ιδανικό για συστήματα όπου υπάρχει ανάγκη για πολλαπλές υπηρεσίες, εκτός από τα «απλά» GSM και UMTS. Ωστόσο, ο συνδυασμός όλων αυτών των υπηρεσιών στο ίδιο DAS είναι πρόκληση, όταν πρόκειται για τη διαφοροποίηση μεταξύ των πόρων και των σύνθετων πηγών ενέργειας. Η τροφοδοσία μιας οπτικής απομακρυσμένης μονάδας μπορεί επίσης να είναι μια πρόκληση, όταν χρησιμοποιείται το σύνθετο καλώδιο που έχει και το καλώδιο χαλκού για το συνεχές ρεύμα και το καλώδιο οπτικών ινών. Πρέπει να δοθεί προσοχή σχετικά με την γαλβανική απομόνωση μεταξύ των κτιρίων και την γείωση. Η λογική η μονάδα να βρίσκεται κοντά στην κεραία βελτιώνει την απόδοση των δεδομένων σε αυτά τα κτίρια, όπου η 3G / HSPA υπηρεσία είναι απαραίτητη. Τα συστήματα εποπτεύεται πλήρως σε όλη τη διαδρομή προς την κεραία, άρα υπάρχει πλήρης γνώση της απόδοσης του DAS. Η αξιοπιστία είναι ένας λόγος ανησυχίας, λόγω του αριθμού των μονάδων που διατίθενται σε όλο το κτίριο. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί ένας πάροχος που μπορεί να εγγυηθεί ικανοποιητική αξιοπιστία. Θα πρέπει επίσης να γίνει διακριτή η θέση όλων των εγκατεστημένων μονάδων, έτσι ώστε να μπορούν να προσπελαστούν κατά τη συντήρηση.

# 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΣΥΝΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Συχνά παρουσιάζεται η ανάγκη για ένα εσωτερικό σύστημα κατανεμημένων κεραιών (DAS), το οποίο να μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία περισσότερων του ενός δικτύου ή τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η ανάγκη είναι πιθανόν να παρουσιαστεί σε δημόσια κτίρια, αεροδρόμια, συνεδριακά κέντρα και τούνελ, εκεί δηλαδή όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλη εξυπηρέτηση και δυσκολία στην υλοποίηση ανεξάρτητων κεραιοσυστημάτων.

Από οικονομικής άποψης οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας έχουν σημαντικό όφελος από την από κοινού εγκατάσταση ενός εσωτερικού κεραιοσυστήματος. Φαίνεται πως και από την πλευρά των ιδιοκτητών των κτιρίων είναι προτιμότερο το κοινό κεραιόσυστημα με πλεονεκτήματα την μία διαδικασία εγκατάστασης – συντονισμού έργου, το ένα σύστημα κεραιών καθώς και του ενός χώρου για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Προκειμένου να συνδεθούν περισσότεροι πάροχοι στο ίδιο κεραιόσυστημα, χρειάζεται να συνδυαστούν διαφορετικοί σταθμοί βάσης, αναμεταδότες και συχνότητες στο ίδιο σύστημα. Ο συνδυασμός παρόχων και συχνοτήτων σε κοινό κεραιόσυστημα δεν αποτελεί ένα ασήμαντο ζήτημα, καθώς πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε πολλά πιθανά προβλήματα που μπορούν να υποβαθμίσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

### **3.1 Συμβατότητα συστημάτων κατανεμημένων κεραιών πολλαπλών παρόχων**

Υπάρχουν κάποιες σημαντικές παράμετροι των ασύρματων επικοινωνιών στις οποίες πρέπει να δίνεται βαρύτητα κατά τον σχεδιασμό συστημάτων DAS. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

#### **Απομόνωση εκπομπής / λήψης (Rx / Tx Isolation)**

Τα λαμβανόμενα και εκπεμπόμενα σήματα (Rx/Tx) κάθε σταθμού βάσης, πρέπει να διαχωρίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εκάστοτε κατασκευαστή. Όταν συνδυάζονται οι Rx/Tx θύρες στους σταθμούς βάσης, κανονικά δεν πρέπει να προκύπτει πρόβλημα, λόγω του εσωτερικού διπλού φίλτρου το οποίο διαχωρίζει την ανερχόμενη (uplink) από την κατερχόμενη ζεύξη (downlink). Ωστόσο, θα πρέπει να υπάρξει έλεγχος ότι το κατερχόμενο σήμα από ένα σταθμό βάσης δεν θα φτάσει σε κανένα από τους άλλους σταθμούς που λαμβάνουν, σύμφωνα με τις προδιαγραφές απομόνωσης.

Κατά την λειτουργία ενός ενεργού κοινού εσωτερικού κεραιοσυστήματος (DAS), όπου η κύρια μονάδα χρειάζεται χωριστά σήματα για την ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη (uplink / downlink) είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η διαφορετική Rx είσοδος για το ανερχόμενο σήμα, από το DAS προς τον σταθμό βάσης και η Tx/Rx θύρα για το κατερχόμενο σήμα μόνο. Αυτό που θα βοηθήσει στον σχεδιασμό είναι ένας συνδυαστής (combiner) ο οποίος μπορεί να παρέχει εξαιρετική απομόνωση των ανερχόμενων και κατερχόμενων σημάτων. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως οι περισσότεροι σταθμοί βάσης, θα σημάνουν συναγερμό σοβαρού προβλήματος (RSSI alarm) στον δέκτη, λόγω του μηδενικού ανερχόμενου σήματος στην κεντρική θύρα του δέκτη (Tx/ Rx). Αρκεί να ακυρώσει κανείς αυτή την σήμανση συναγερμού στο σύστημα δικτύου, ώστε τέτοιου είδους προβλήματα να εξαλείφονται. Μια τυπική τιμή απομόνωσης εκπομπής / λήψης είναι αυτή των 25 – 30 dB (χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το εσωτερικό φίλτρο και ο combiner στο σταθμό βάσης).

#### **Απώλεια αποδόσεως (Return Loss)**

Εδώ γίνεται αναφορά στην αντίρροπη ισχύ, δηλαδή την ανακλώμενη ισχύ από το συνδυαζόμενο εσωτερικό κεραιοσύστημα. Προκειμένου να μην προκληθούν συναγερμοί στάσιμων (VSWR alarm) στον σταθμό βάσης, θα πρέπει να διατηρηθεί η



ανακλώμενη ισχύς χαμηλότερα από την τιμή ενεργοποίησης του συναγερμού. Μια τυπική τιμή είναι  $>10\text{dB}$  (η διαφορά μεταξύ ομόρροπης και αντίρροπης ισχύς).

### **Απομόνωση εσωτερικών συχνοτήτων (Inter-band Isolation)**

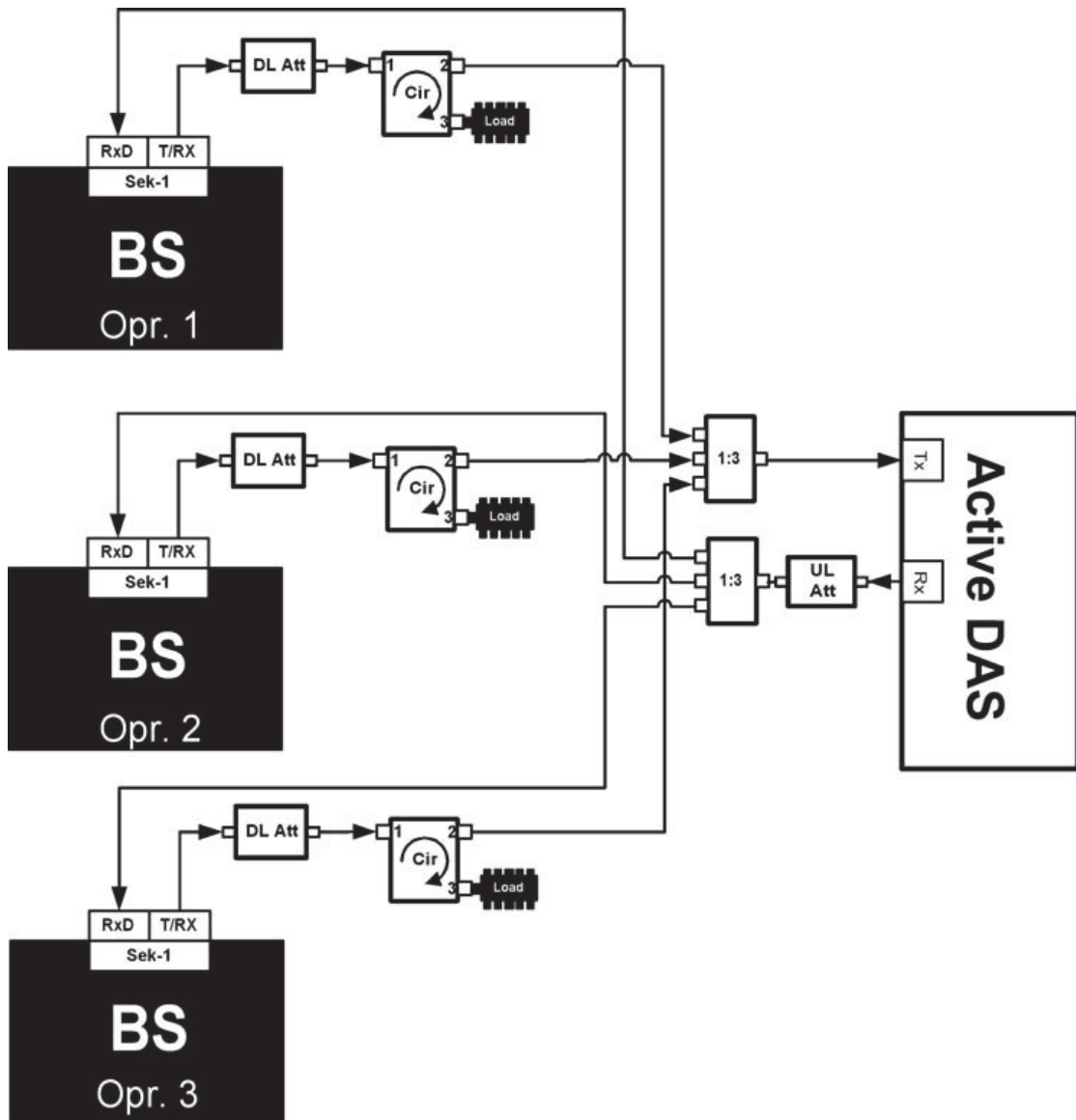
Αφορά την απομόνωση μεταξύ των GSM-DCS-UMTS συχνοτήτων. Προκειμένου να μην από-ευαισθητοποιηθεί ο δέκτης στον σταθμό βάσης είναι σημαντικό να επιτευχθεί η μέγιστη απόρριψη συχνοτήτων πέραν των επιθυμητών. Οι βασικές προδιαγραφές σχετικά με το θέμα καθορίζονται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών (ETSI). Η ακριβής τιμή εξαρτάται από την κατασκευή του σταθμού βάσης, κατά πόσο θα επιτραπεί στον σταθμό βάσης να απευαισθητοποιείται και το πώς θα διαμορφωθούν οι συχνότητες. Μια τυπική τιμή για την απομόνωση των συχνοτήτων είναι περισσότερο από  $50\text{dB}$ .

### **Παθητική ενδο-διαμόρφωση (Passive Inter-modulation)**

Η παθητική ενδο-διαμόρφωση (PIM) είναι ένα από τα σημαντικότερα πιθανά προβλήματα στα συνδυαστικά συστήματα. Είναι πολύ σημαντικό να επιλεγθεί ένα συνδυαστικό σύστημα με χαμηλή ενδο-διαμόρφωση ( $-155\text{dBc}$  στα  $2 \times 20\text{ W}$ ). Η εσωτερική ενδο-διαμόρφωση αποτελεί σημαντική ανησυχία για τα συνδυαστικά συστήματα, ειδικά όταν συνδυάζονται υψηλής ισχύος φέροντα κύματα, σε συστήματα πολλαπλών παρόχων. Η πυκνότητα ισχύος διαφόρων παρόχων που εκπέμπουν σε πολλές συχνότητες μπορεί να είναι υψηλή.

## **3.2 Συστήματα συνδυασμού**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να συνδυαστούν παρόχοι και διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας στο ίδιο DAS, από την κατασκευή ενός προσωπικού συνδυαστή με χρήση διακριτών ευρυζωνικών στοιχείων (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1) έως τη χρήση συνδυαστών κοίλων φίλτρων (cavity filter combiners), όπου τα φίλτρα συντονίζονται στις συγκεκριμένες ανερχόμενες και κατερχόμενες συχνότητες του κάθε παρόχου (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2).



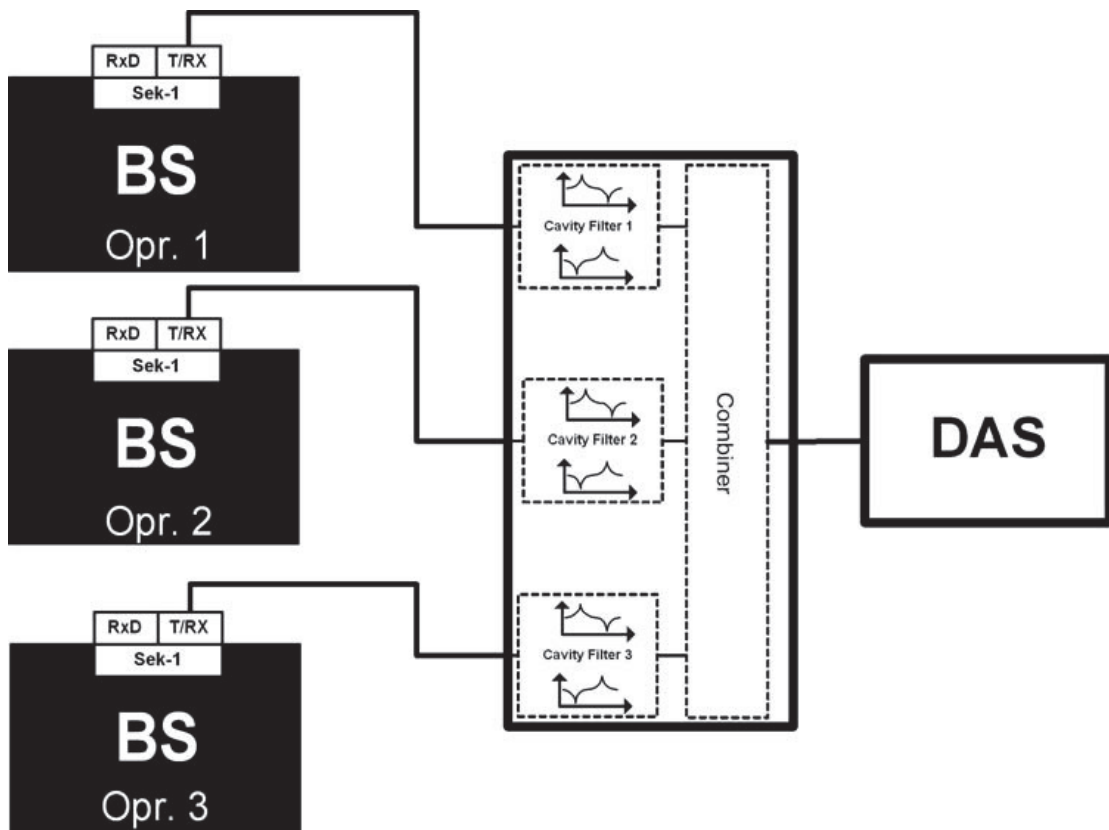
Σχήμα 3.1 Συνδυασμός τριών παρόχων χρησιμοποιώντας διακριτά παθητικά στοιχεία.

Το ευρυζωνικό σύστημα του σχήματος 3.1 είναι ιδανικό όταν συνδυάζονται χαμηλής ισχύος σήματα σε ένα κοινό εσωτερικό κεραιοσύστημα (DAS). Σημειώνεται πως ο εξασθενητής εκπομπής, που χρησιμοποιείται για να οριοθετεί το κατερχόμενο σήμα στη σωστή τιμή της εισόδου στο ενεργό εσωτερικό κεραιοσύστημα, είναι εγκατεστημένος πριν από τον κυκλοφορητή (circulator). Τυπικοί εξασθενητές έχουν μάλλον κακή επίδοση παθητικής ενδοδιαμόρφωσης στα 120-140 dBc. Συνεπώς, συνιστάται να χρησιμοποιείται ένας χαμηλής ενδοδιαμόρφωσης εξασθενητής. Αυτό θα κρατήσει τα επίπεδα ισχύος στο κυκλοφορητή στο ελάχιστο, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης παθητικής ενδοδιαμόρφωσης. Σημειώνεται πως αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιείται για ένα ενεργό DAS, όπου η απαιτούμενη ισχύς της κατερχόμενης ζεύξης στην είσοδο, στην κύρια μονάδα είναι

περίπου 5 dBm. Συνεπώς χρησιμοποιούνται χαμηλής ισχύος σταθμοί βάσης, με περίπου 30 dBm ισχύ εξόδου.

Οι κατερχόμενες και ανερχόμενες ζεύξεις μπορούν να διαχωριστούν με την χρήση κυκλοφορητών. Αυτό εξασφαλίζει πως οι πομποί ενός σταθμού βάσης για το κατερχόμενο σήμα δεν τροφοδοτούν τους άλλους σταθμούς, ενισχύοντας την απομόνωση.

Η χρήση ενός κατά παραγγελία συνδυαστή ρυθμιζόμενου φίλτρου (σχήμα 3.2), παρέχει συνήθως πολύ καλύτερη απόδοση. Αυτός ο συνδυαστής πρέπει να έχει πολύ χαμηλή παθητική ενδο-διαμόρφωση και υψηλή απομόνωση, ακόμα και με υψηλή ισχύ, ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται όταν συνδυάζονται συστήματα υψηλής ισχύος με ένα παθητικό DAS. Ο combiner είναι συντονισμένος στις συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων κάθε παρόχου και έτσι υπάρχει ορθή συνεργασία μεταξύ των φορέων και των συχνοτήτων τους ως προς την απομόνωσή τους. Τέλος, να επισημανθεί πως μόνο υψηλής ποιότητας εξαρτήματα συνιστώνται για χρήση σε κάθε σύστημα με combiner.



Σχήμα 3.2 Συνδυασμός τριών παρόχων χρησιμοποιώντας συνδυαστές κοιλότητας

### **3.3 Αλλοίωση ενδοδιαμόρφωσης**

Όταν δύο ή περισσότερα σήματα συνυπάρξουν σε μία μη γραμμική συνιστώσα, παθητική ή ενεργητική, θα παραχθούν και άλλα σήματα σαν προϊόντα των σημάτων εισόδου. Η αλλοίωση ενδο-διαμόρφωσης (IMD) θα εμφανιστεί σε ενισχυτές, όταν λειτουργούν σε μη γραμμική λειτουργία. Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό να γίνεται χρήση των ενισχυτών σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους. Για παράδειγμα σύμφωνα με το ETSI έχουμε όριο λειτουργίας στο GSM900 τα -36 dBm. Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι παραμένει ο ενισχυτής εντός του γραμμικού παραθύρου λειτουργίας του έτσι ώστε να έχει γραμμική απόδοση και χαμηλή παραμόρφωση. Εάν ξεπεραστούν τα όρια βάση προδιαγραφών του ενισχυτή, μπορεί να κερδηθούν μερικά dB περισσότερα στην ισχύ εξόδου, αλλά αυτό θα προκαλέσει προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης με συνέπεια τη δημιουργία παρεμβολών ενδοδιαμόρφωσης.

#### **Τι είναι οι παρεμβολές ενδο-διαμόρφωσης**

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες αλλοίωσης της ενδοδιαμόρφωσης:

1. Ενδοδιαμόρφωση δέκτη: όταν ένα ή περισσότερα εκπεμπόμενα σήματα συνδυαστούν στους δέκτες ενός RF ενισχυτή.
2. Ενδοδιαμόρφωση πομπού: όταν ένα ή περισσότερα εκπεμπόμενα σήματα συνδυαστούν σε μια μη γραμμική συνιστώσα στον πομπό.
3. Παθητική ενδοδιαμόρφωση: Συνήθως οι αρμόδιοι για τον σχεδιασμό του ραδιοφάσματος ανησυχούν σχετικά με τα προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης που προκαλούνται από τα ενεργά εξαρτήματα όπως οι πομποί, οι ενισχυτές και οι δέκτες. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει κατανοητό πως και τα παθητικά στοιχεία, όπως καλώδια, διαιρέτες (splitters), κεραίες μπορούν επίσης να παράγουν ενδο-διαμόρφωση, την παθητική ενδοδιαμόρφωση. Συνήθως η παθητική ενδο-διαμόρφωση προκαλείται από την ένωση διαφορετικών τύπων υλικών, όπως για παράδειγμα το σημείο σύνδεσης του καλωδίου με τον σύνδεσμο (connector). Η σύνδεση οποιουδήποτε εσωτερικού ή εξωτερικού στοιχείου σε ένα παθητικό εξάρτημα μπορεί να προκαλέσει παθητική ενδο-διαμόρφωση.

Η επίδοση της παθητικής ενδοδιαμόρφωσης οφείλεται συχνά στη μεγάλη διαφορά μεταξύ ποιότητας και χαμηλού κόστους των παθητικών εξαρτημάτων. Συνήθως τα καλής ποιότητας παθητικά εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένων των κεραιών, κατασκευάζονται με το ίδιο υλικό ως βάση, με μόνο λίγες ή και καθόλου εσωτερικές συνδέσεις ή συναρμολογούμενα κομμάτια και με υψηλό επίπεδο κατασκευής.

Το πρόβλημα της παθητικής ενδο-διαμόρφωσης συχνά υποτιμάται, ιδιαίτερα κατά τον σχεδιασμό παθητικών συστημάτων για μεγάλα, υψηλής χωρητικότητας παθητικά DAS, πολλαπλών παρόχων και συχνοτήτων. Η συγκέντρωση υψηλής ισχύος σε ένα παθητικό κεραιοσύστημα εσωτερικού χώρου (DAS), ειδικά κοντά στους σταθμούς βάσης, μπορεί να είναι υψηλή.

### ***Παράδειγμα***

Παρακάτω δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα μιας λύσης πολλαπλών παρόχων σε ένα αεροδρόμιο, με τον εξής σχηματισμό: τέσσερις πάροχοι με GSM δίκτυο όπου ο καθένας χρησιμοποιεί 8 συχνότητες, μεταδίδοντας 40 dBm (10W) από τους σταθμούς βάσης τους. Αυτό αποτελεί ένα σύνολο 32 συχνοτήτων. Η συνολική σύνθεση ισχύος είναι έως και 55dBm (320W) στο πρώτο στοιχείο του παθητικού εσωτερικού κεραιοσυστήματος (DAS). Ακόμα και αν ο αρχικός διαιρέτης στο εσωτερικό κεραιοσύστημα μπορεί να χειριστεί 700 W, υπάρχει πιθανότητα να υπάρξει πρόβλημα. Πόσο όμως υψηλή είναι η παραγόμενη ισχύς ενδοδιαμόρφωσης;

Μια τυπική τιμή για έναν «πρότυπο» διαιρέτη είναι -120 dBc, δηλαδή η ενδοδιαμόρφωση τρίτης τάξεως είναι 120 dB κάτω από την συχνότητα του φέροντος κύματος (carrier). Με 40dBm ισχύ για ένα φέρον στον διαιρέτη, η ενδοδιαμόρφωση μπορεί να φτάσει τα  $40-120 = -80 \text{ dBm}$ .

Ανάλογα με τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται, αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα, δηλαδή θα μπορούσε να επιδράσει στην ανερχόμενη ζεύξη μιας από τις ραδιοκυματικές υπηρεσίες του εσωτερικού κεραιοσυστήματος. Αν ξεπεραστεί η ισχύς των στοιχείων, ή υπάρξει κάποια κακή σύνδεση κάπου στο παθητικό DAS, τότε η παθητική ενδοδιαμόρφωση θα αυξηθεί δραματικά.

### **3.4 Ελάττωση της παθητικής ενδοδιαμόρφωσης**

Η παθητική ενδοδιαμόρφωση προκύπτει όταν δύο ή περισσότερα σήματα δρουν σε μία παθητική συσκευή (καλώδιο, υποδοχή, απομονωτής, διακόπτης, κεραία) και

αυτή ανταποκρίνεται μη γραμμικά σε αυτά. Η μη γραμμικότητα συνήθως προκαλείται από ανόμοια μέταλλα, μη καθαρές συνδέσεις στο εσωτερικό ή άλλα φαινόμενα διάβρωσης. Οι κακές συνδέσεις είναι επίσης μία τυπική πηγή, και συχνά τα αποτελέσματα δεν φαίνονται στα χαμηλά επίπεδα ισχύος, αλλά αυξάνονται εκθετικά σε υψηλά επίπεδα ισχύος. Τότε η παθητική συσκευή αρχίζει να ενεργεί όπως ένα μίκτης συχνοτήτων με έναν τοπικό ταλαντωτή και με μία είσοδο σήματος (RF input), δημιουργώντας δικά της ανεπιθύμητα σήματα.

Υπάρχουν κάποιοι κανόνες στο πως να γίνεται ο σχεδιασμός ώστε να εξασφαλίζεται χαμηλή ενδο-διαμόρφωση:

- Όλα τα παθητικά στοιχεία πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες προδιαγραφές - 155dBc με 2x20W.
- Φορτία υψηλής ισχύος πρέπει να χρησιμοποιούνται ως σημεία τερματισμού.
- Υποδοχείς τύπου 7/16 είναι ιδανικό να χρησιμοποιούνται.
- Όλοι οι υποδοχείς θα πρέπει να εγκατασταθούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές, χρησιμοποιώντας τα σωστά εργαλεία.
- Καλώδια χαμηλής ενεργής ενδοδιαμόρφωσης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με όλες τους υποδοχείς πλήρως συγκολλημένους.
- Είναι σημαντικό να γίνει σωστή σύνδεση των καλωδίων. Χρειάζεται δεξιοτεχνία και όλα τα μέταλλα να καθαρίζονται πριν να τοποθετηθούν στους συνδέσμους.
- Εργαλεία, καλώδια και σύνδεσμοι που ταιριάζουν και είναι του ίδιου κατασκευαστή πρέπει να χρησιμοποιούνται.
- Ορθή εγκατάσταση, δηλαδή:
  - Τα καλώδια να μην παραμένουν ελεύθερα, αλλά να ασφαρίζονται καταλλήλως με τα ανάλογα στηρίγματα.
  - Ανεπιθύμητη είναι η μηχανική πίεση στα τηλεπικοινωνιακά εξαρτήματα.
  - Όλες οι εσωτερικές τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις να καθαρίζονται όπως προτείνεται από τον κατασκευαστή.

### **3.5 Παράγωγα ενδοδιαμόρφωσης**

Οι συχνότητες που παράγονται από την ενδοδιαμόρφωση μπορούν να υπολογιστούν με μαθηματικά μοντέλα των γραμμικών κυκλωμάτων (όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1). Η ορολογία που χρησιμοποιείται για να ορίσει τα παράγωγα της ενδοδιαμόρφωσης κατατάσσει το βαθμό τους σαν πρώτου βαθμού, δευτέρου βαθμού, τρίτου βαθμού, τετάρτου βαθμού και ούτω καθεξής. Οι παραγόμενες συχνότητες υπολογίζονται ως το άθροισμα ή την διαφορά μεταξύ των προϊόντων αυτών της ενδοδιαμόρφωσης (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3). Θεωρητικά δεν υπάρχουν όρια στα αποτελέσματά τους, ωστόσο συνήθως μόνο λίγα μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρές συνέπειες.

Η κύρια πηγή ανησυχίας σε τέτοιες λύσεις κοινού εσωτερικού κεραιοσυστήματος είναι τα παράγωγα της ενδοδιαμόρφωσης τρίτου βαθμού,

$$2f_1 + f_2, 2f_1 - f_2$$

και κατά συνέπεια θα πρέπει να γίνει προσπάθεια ελαχιστοποίησης του προβλήματος αυτού. Η ισχύς των παραγώγων των υψηλότερων βαθμών, όπως αυτών του πέμπτου με ένατου και ακόμα υψηλότερου, είναι τόσο χαμηλή που δεν δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να ελέγχεται.

Inter-modulation class	Result
Second order 2 CH	$f_1 + f_2$ $f_1 - f_2$ $2f_1$ $2f_2$
Third order 2 CH	$2f_1 + f_2$ $2f_1 - f_2$ $f_1 + 2f_2$ $2f_2 - f_1$
Third order 3 CH	$f_1 + f_2 - f_3$ $f_1 + f_3 - f_2$ $f_2 + f_3 - f_1$
Fifth order 2 CH	$3f_2 - 2f_1$ $3f_1 - 2f_2$
Fifth order 3 CH	$2f_1 + f_2 - 2f_3$ $f_1 + 2f_2 - 2f_3$ $2f_1 + f_3 - 2f_2$ $f_1 + 2f_3 - 2f_2$ $2f_2 + f_3 - 2f_1$ $2f_1 + f_2 - 2f_3$
Seventh order 2 CH	$4f_1 - 3f_2$ $4f_2 - 3f_1$
7th order 3 CH	$3f_1 + f_2 - 3f_3$ $f_1 + 3f_2 - 3f_3$ $3f_2 + f_3 - 3f_1$ $3f_3 + f_2 - 3f_1$

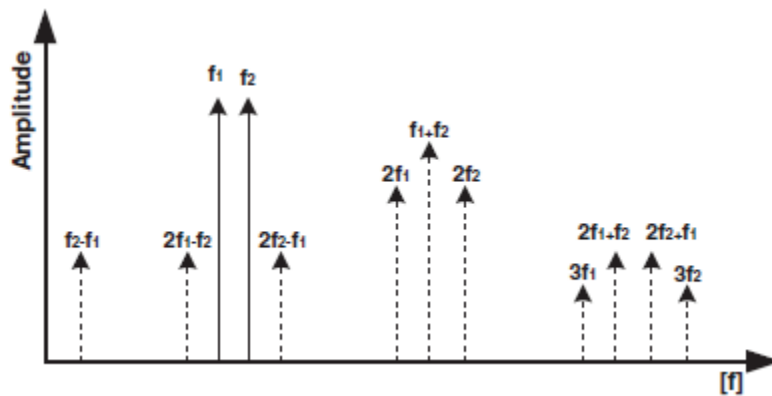
Πίνακας 3.1 Στοιχεία και αποτελέσματα παθητικής ενδοδιαμόρφωσης

Τα παράγωγα δευτέρου, τετάρτου ή έκτου βαθμού συνήθως έχουν μικρό αντίκτυπο λόγω του γεγονότος ότι οι συχνότητες που απορρέουν από την παθητική ενδοδιαμόρφωση είναι εξασθενημένες από τα φίλτρα που υπάρχουν στους σταθμούς βάσης.

### **3.6 Συνεγκατάσταση εκπομπής GSM / UMTS**

Κατά την ανάπτυξη διαφορετικών ασύρματων συστημάτων και ζωνών συχνοτήτων που χρησιμοποιούν το ίδιο κεραιοσύστημα εσωτερικού χώρου για την διανομή σήματος, υπάρχουν ανησυχίες που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Θα πρέπει να γίνει επιβεβαίωση πως ένα σύστημα δεν προκαλεί προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης το οποίο θα υποβαθμίσει την λειτουργία του ίδιου ή άλλων συστημάτων.





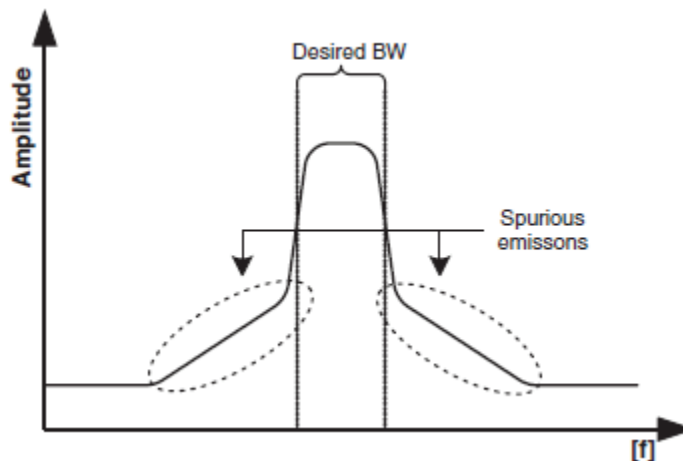
Σχήμα 3.3 Παράγωγα πρώτης και δεύτερης τάξης ενδοδιαμόρφωσης

Το πρόβλημα αυξάνεται εκθετικά ανάλογα με την ισχύ που τροφοδοτείται το κεραιосύστημα. Όσο μεγαλύτερη η ισχύς τόσο μεγαλύτερο το πρόβλημα, κυρίως λόγω της εσωτερικής ενδοδιαμόρφωσης.

### **3.7 Παρασιτικές εκπομπές (Spurious Emissions)**

Η μεγαλύτερη πηγή προβλημάτων της συνεγκατάστασης προέρχεται από τις παρασιτικές εκπομπές των πομπών του GSM (Σχήμα 3.4). Γι'αυτό συνίσταται να χρησιμοποιούνται πάντα υψηλής ποιότητας φίλτρα διέλευσης συχνοτήτων σε όλους τους πομπούς των συστημάτων πολλαπλών παρόχων ή πολλών κοινών εσωτερικών κεραιοσυστημάτων, όπου συνδυάζονται GSM και UMTS τεχνολογίες. Αυτά τα φίλτρα κανονικά είναι μέρος του σταθμού βάσης, στον συνδυαστή, αλλά για επιβεβαίωση πρέπει να ελέγχονται οι προδιαγραφές του σταθμού βάσης.

Οι παρασιτικές εκπομπές από την GSM τεχνολογία περιορίζονται στην ανερχόμενη ζεύξη της μπάντας συχνοτήτων του UMTS (1920-1980 MHz) στο μέγιστο - 96dBm που μετράται σε 100kHz εύρους ζώνης (ισοδύναμα στα -80dBm σε κανάλι των 3,84MHz). Οποιαδήποτε εγκατάσταση πολλαπλών παρόχων ή διαφορετικών συστημάτων θα πρέπει να σχεδιάζεται αναλόγως προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις της ανερχόμενης ζεύξης στο UMTS σύστημα.



Σχήμα 3.4 Παρασιτικές εκπομπές από έναν πομπό

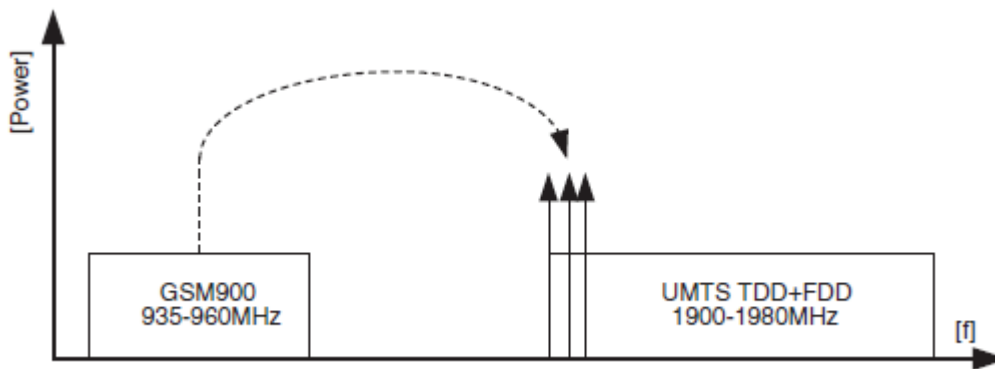
### Μεγάλες επιπτώσεις στο UMTS

Όπως γνωρίζουμε το UMTS σύστημα περιορίζεται από το θόρυβο: οποιαδήποτε αύξηση του θορύβου στην ανερχόμενη ζεύξη του UMTS θα επηρεάσει σοβαρά την επίδοσή του. Μόνο μια μικρή αύξηση του θορύβου θα αντιστάθμιζε τον έλεγχο εισόδου: με μεγάλη αύξηση του θορύβου θα καταρρεύσει η κυψέλη και θα εμποδιστεί κάθε κίνηση σε αυτή.

Ο αριθμός των παρόχων του GSM στο σύστημα παίζει σημαντικό ρόλο: όταν διπλασιάζεται ο αριθμός των παρόχων του GSM (στο ίδιο επίπεδο), οι παρασιτικές εκπομπές αυξάνονται κατά 3 dB.

### 3.8 Κοινό κεραιοσύστημα εσωτερικού χώρου με συνδυασμό GSM900 και UMTS

Συνδυάζοντας GSM900 και UMTS στο ίδιο κεραιοσύστημα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην δεύτερη αρμονική του GSM900 η οποία πολύ πιθανόν να εμπίπτει με την ανερχόμενη ζώνη του UMTS (όπως στο σχήμα 3.5)



Σχήμα 3.5 Δεύτερης και τρίτης τάξεως παράγωγα από την παρεμβολή μεταξύ των GSM900 και UMTS

### Κοινό κεραιосύστημα εσωτερικού χώρου με συνδυασμό GSM1800 και UMTS

Όταν συνδυάζεται το GSM1800 και το UMTS στο ίδιο κεραιосύστημα, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα τρίτης τάξεως προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Η τρίτης τάξεως ενδοδιαμόρφωση που προκαλείται μέσω του GSM1800 είναι πιθανόν να συμπίπτει με την ανερχόμενη ζώνη συχνοτήτων του UMTS, εάν δεν δοθεί έμφαση στην κατανομή των συχνοτήτων στο GSM1800 (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6). Όταν γίνεται ο σχεδιασμός των συχνοτήτων αυτών, συνίσταται προσοχή σε αυτό το πρόβλημα με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί. Αυτό μπορεί να γίνει πρόκληση σε λύσεις με πολλαπλούς παρόχους, όπου ο συντονισμός συχνοτήτων μεταξύ των ανταγωνιστικών φορέων πρέπει να είναι υλοποιήσιμος.

#### Παράδειγμα

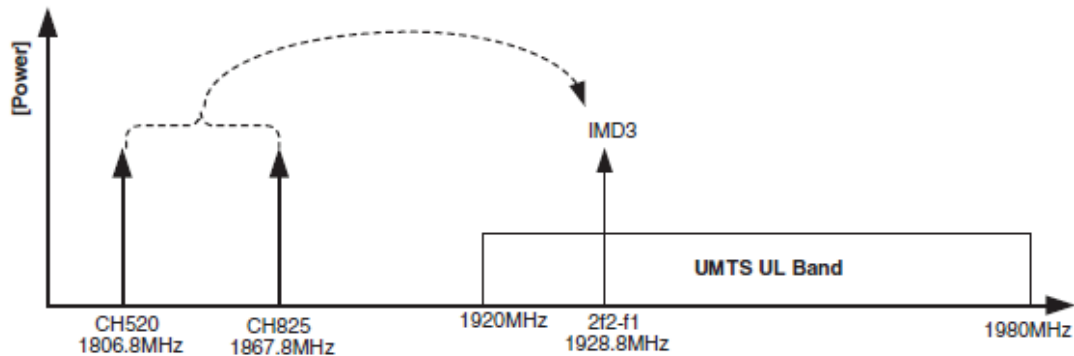
Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με τρίτης τάξεως ενδοδιαμόρφωση στα 1800MHz. Χρησιμοποιώντας CH520 (1806,8MHz) και CH825 (1867,8MHz) θα παραχθεί αυτή η τρίτης τάξεως παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης:

$$2f_1+f_2=5481.4\text{MHz}$$

$$2f_1-f_2=1745.8\text{MHz}(\text{επιτυγχάνει στο GSM1800 την ανερχόμενη ζεύξη CH690})$$

$$f_1+2f_2=5542.4\text{MHz}$$

$$2f_2-f_1=1928.8\text{MHz}(\text{επιτυγχάνει την ανερχόμενη ζεύξη στο UMTS})$$



Σχήμα 3.6 Τρίτης τάξεως παράγωγα από την παρεμβολή μεταξύ των GSM1800 και UMTS

Συνίσταται ιδιαιτέρως οι συχνότητες να σχεδιαστούν στο GSM1800, έτσι ώστε να μην συμπίπτουν με την ζώνη των ανερχόμενων ζεύξεων του εκάστοτε UMTS καναλιού που είναι σε χρήση. Είναι γεγονός ότι το UMTS έχει ικανοποιητική περιορισμένη ζώνη παρεμβολών, αλλά ένα υψηλό σήμα περιορισμένης ζώνης στην ανερχόμενη ζεύξη στο σταθμό βάσης στο UMTS μπορεί να προκαλέσει τη φραγή του δέκτη.

Γνωρίζοντας πως το πρώτο DCS κανάλι χρησιμοποιεί CH520=1806.8MHz και ότι το πρόβλημα είναι τα η τρίτου βαθμού ενδοδιαμόρφωση ( $2f_2-f_1$ ), μπορούμε να υπολογίσουμε ποια μπορεί να είναι η μεγαλύτερη συχνότητα, ώστε να βεβαιωθούμε πως η τρίτου βαθμού ενδοδιαμόρφωση θα ενεργήσει ακριβώς κάτω από την ζώνη διαμόρφωσης διαίρεσης συχνοτήτων (FDD) 1919,8 MHz του UMTS, και δεν θα δημιουργηθούν προβλήματα (εάν η διαμόρφωση με διαίρεση χρόνου (TDD) δεν είναι σε χρήση). Η υψηλότερη επιτρεπόμενη συχνότητα είναι:

$$1919,8\text{MHz} = 2 * f_2 - 1806.88\text{MHz} = (1919.88\text{MHz} + 1806.88\text{MHz}) / 2$$

$$= 1863,38\text{MHz} = \text{CH802 (1863.2MHz)}$$

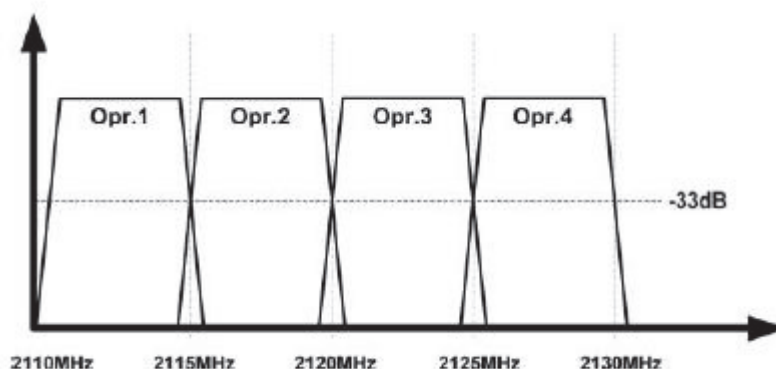
Με το CH502 ως μία συχνότητα σε λειτουργία, πρέπει διασφαλίσουμε πως δεν θα επιλέγονται συχνότητες άνω του CH802 όπως το άλλο κανάλι.

### **3.9 Συνεγκατάσταση εκπομπής UMTS / UMTS**

Σε ένα κοινό κεραιοσύστημα για εσωτερικούς χώρους είναι πολύ πιθανό οι πάροχοι να έχουν γειτονικά ενεργά κανάλια στο ίδιο κεραιοσύστημα. Λόγω της περιορισμένης επιλεκτικότητας των φίλτρων που χρησιμοποιούνται στις κινητές συσκευές και στους σταθμούς βάσης, η ισχύς από το ένα κανάλι θα διαρρεύσει σε γειτονικά κανάλια.

### 3.9.1 Συντελεστής ισχύος παρεμβολών γειτονικών καναλιών

Αυτό αποτελεί ένα μείζον θέμα κατά την συνεγκατάσταση UMTS παρόχων στο ίδιο κτίριο. Διευκρινίζεται πως η καταστολή γειτονικών καναλιών που πρέπει να είναι καλύτερη από 33 dB (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7), αλλά αυτό πολλές φορές δεν αρκεί, ειδικά σε λύσεις εσωτερικού χώρου που τυπικά υπάρχουν χρήστες πολύ κοντά στις κεραίες. Ένας χρήστης που εξυπηρετείται από άλλον πάροχο (και κατά συνέπεια δεν είναι υπό την ισχύ μιας κυψέλης) είναι πιθανό να προκαλέσει ενδοκαναλικές παρεμβολές συντελεστή ισχύος (ACIR), όταν η κινητή συσκευή είναι κοντά στην κεραία, έχοντας χαμηλή απώλεια διαδρομής. Αντίστροφα, οι γειτονικοί παρόχοι θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στον χρήστη του δικού τους δικτύου όταν αυτός βρίσκεται κοντά στην κεραία του άλλου φορέα.



Σχήμα 3.7 Κατανομή καναλιών στο UMTS

#### **Αύξηση του θορύβου στον σταθμό βάσης**

Η παρεμβολή ενός γειτονικού καναλιού θα προκαλέσει αύξηση του θορύβου στην ανερχόμενη ζεύξη του σταθμού βάσης, υποβαθμίζοντας έτσι την χωρητικότητα με το φορτίο του θορύβου.

#### *Παράδειγμα*

Μπορούμε να υπολογίσουμε πόση θα είναι η αύξηση του θορύβου που ένα κινητό θα προκαλέσει, καθώς και το φορτίο του θορύβου στη κυψέλη, όταν η κινητή συσκευή εξυπηρετείται από κάποιο γειτονικό πάροχο και όταν αυτή είναι κοντά στην κεραία μας. Η κινητή συσκευή σε αυτή την περίπτωση εκπέμπει στο γειτονικό κανάλι στα 21 dBm. Η κινητή συσκευή (UE) σε απόσταση 10m από την κεραία (απώλειες ελευθέρου

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

χώρου = 59 dB ), και έχοντας 10 dB απώλειες από τον σταθμό βάσης έως την κεραία και με 2 dBi κέρδος κεραίας οι απώλειες θα είναι

$$59 + 10 - 2 = 67 \text{ dB} :$$

$$P_{\text{RxAdj}} = P_{\text{TxE}} - \text{ACIR} - \text{PL}$$

όπου  $P_{\text{RxAdj}}$  είναι το επίπεδο ισχύος του γειτονικού καναλιού,  $P_{\text{TxE}}$  είναι το επίπεδο ισχύος εκπομπής του κινητού στο γειτονικό κανάλι, ACIR είναι η απόρριψη των παρεμβολών των γειτονικών καναλιών και οι απώλειες διαδρομής PL από την γειτονική κινητή συσκευή έως τον σταθμό βάσης.

$$P_{\text{RxAdj}} = 21 \text{ dBm} - 33 \text{ dB} - 67 \text{ dB} = -79 \text{ dBm}$$

Τώρα μπορεί να υπολογιστεί το νέο επίπεδο θορύβου (υποθέτοντας ένα κατώφλι στάθμης θορύβου στον σταθμό βάσης το -105dBm):

$$\text{Συνολική ισχύς} = \text{ισχύς}_1 + \text{ισχύς}_2 \dots \text{ισχύς}_n$$

Πρέπει να μετατρέψουμε τα dBm σε mW:

$$P \text{ (mW)} = 10^{\text{dBm}/10}$$

$$-105 \text{ dBm} = 31,6 \times 10^{-12} \text{ (mW)}$$

$$-79 \text{ dBm} = 12,58 \times 10^{-9} \text{ (mW)}$$

Στη συνέχεια μπορούν να προστεθούν οι δύο ισχύς :

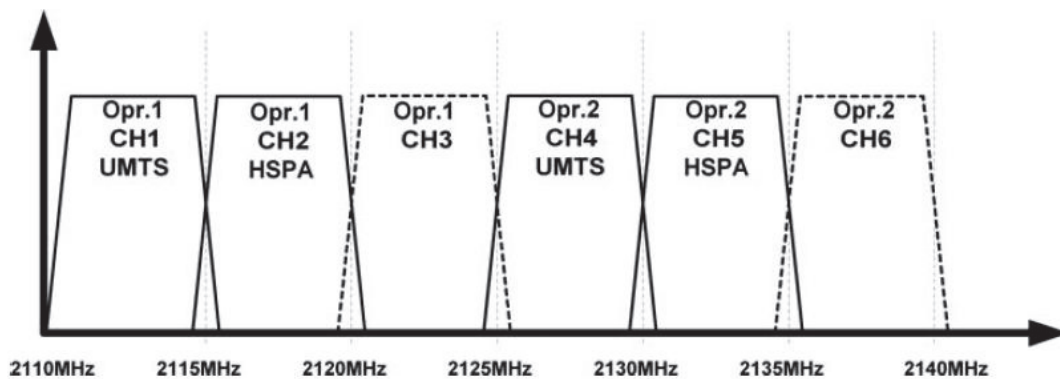
$$\text{Συνολική ισχύς θορύβου} = 31,6 \times 10^{-12} + 12,58 \times 10^{-9} = 12,62 \times 10^{-9} \text{ (mW)}$$

Μετατρέπουμε την ισχύ του θορύβου πάλι σε dBm:

$$\text{Κατώφλι στάθμης θορύβου (dBm)} = 10 \log (12,62 \times 10^{-9} \text{ (mW)}) = -79 \text{ (dBm)}$$

Τα -105 dBm από τον σταθμό βάσης παίζουν πολύ μικρό ρόλο: είναι εκτός των άλλων 26 dB χαμηλότερα από την ισχύ της γειτονικής κινητής συσκευής. Αυτός ο θόρυβος

του γειτονικού καναλιού προκαλεί την κατάρρευση της ανερχόμενης ζεύξης της κυψέλης, καταργώντας έτσι οποιαδήποτε κίνηση στο κύτταρο και ρίχνοντας όλες τις κλήσεις που είναι σε εξέλιξη.



Σχήμα 3.8 Τυπική χρήση καναλιού δύο παρόχων με χρήση UMTS/HSPA, και ένα τρίτο κανάλι για μελλοντική χρήση

### **3.9.2 Το πρόβλημα του συντελεστή ισχύος παρεμβολών των γειτονικών καναλιών σε συνδυασμό με το σχεδιασμό DAS**

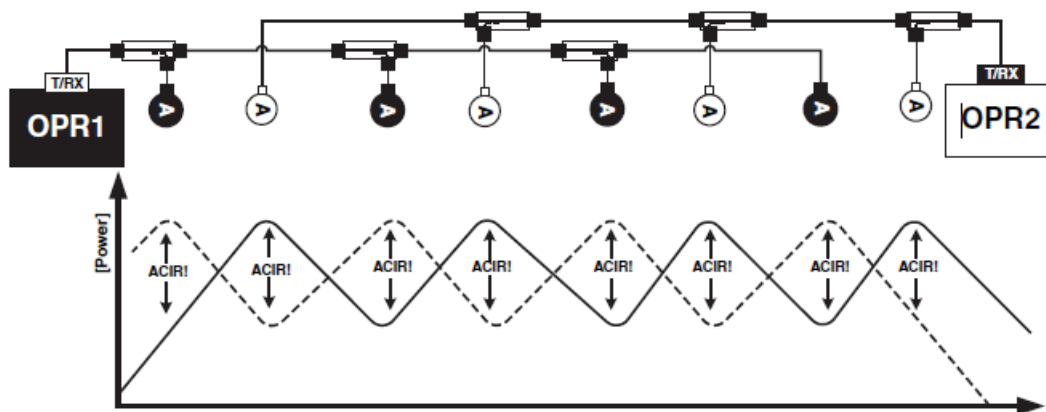
Οι παρεμβολές ισχύος των γειτονικών καναλιών αποτελούν μια σημαντική ανησυχία για το εσωτερικό των κτιρίων, όταν ένας πάροχος χρησιμοποιεί γειτονικές συχνότητες και ανεξάρτητα κεραιοσυστήματα εσωτερικού χώρου. Το πρόβλημα αποδεικνύεται στα σχήματα 3.8 και 3.9. Δύο χωριστά κεραιοσυστήματα εσωτερικού χώρου που λειτουργούν εντός του ίδιου κτιρίου: ένα για τον πρώτο πάροχο (Opr.1) και ένα για τον δεύτερο (Opr.2).

Όταν εξετάζεται η ισχύς του φάσματος ως συνάρτηση της θέσης του χρήστη σε σχέση με τις κεραίες (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9), είναι ξεκάθαρο πως όταν βρίσκεται ένας χρήστης κοντά σε μια κεραία διαφορετικού παρόχου και υπάρχει χαμηλή λήψη σήματος από την κυψέλη που τον εξυπηρετεί, υπάρχει δυνατότητα ύπαρξης του φαινομένου του συντελεστή ισχύος παρεμβολών γειτονικών καναλιών.

#### **Μελλοντικό πιθανό πρόβλημα συντελεστή ισχύος παρεμβολών γειτονικών καναλιών**

Πολλές φορές συναντούνται τέτοια προβλήματα παρεμβολών γειτονικών καναλιών σε πραγματικές εγκαταστάσεις σε κτίρια ανά τον κόσμο, αλλά το πρόβλημα

δεν είναι εμφανές έως ότου οι πάροχοι αναπτύξουν περισσότερα κανάλια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι περισσότεροι πάροχοι που χρησιμοποιούν το UMTS έχουν 2 ή 3 διαθέσιμα κανάλια και αν αναπτυχθεί η πρώτη φέρουσα συχνότητα (first carrier), υπάρχει ακόμα διάστημα 10-15 MHz έως το επόμενο κανάλι του άλλου παρόχου ελαχιστοποιώντας έτσι το πρόβλημα των παρεμβολών από γειτονικά κανάλια. Οι περισσότεροι πάροχοι αναπτύσσουν την UMTS κίνηση στη πρώτη φέρουσα συχνότητα, την HSPA στη δεύτερη αφήνοντας έτσι τη τρίτη για «μελλοντικές αναβαθμίσεις». Η χρησιμότητα του «μελλοντικού καναλιού» μπορεί να αποτελεί πρόβλημα για πολλά κτίρια (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8).

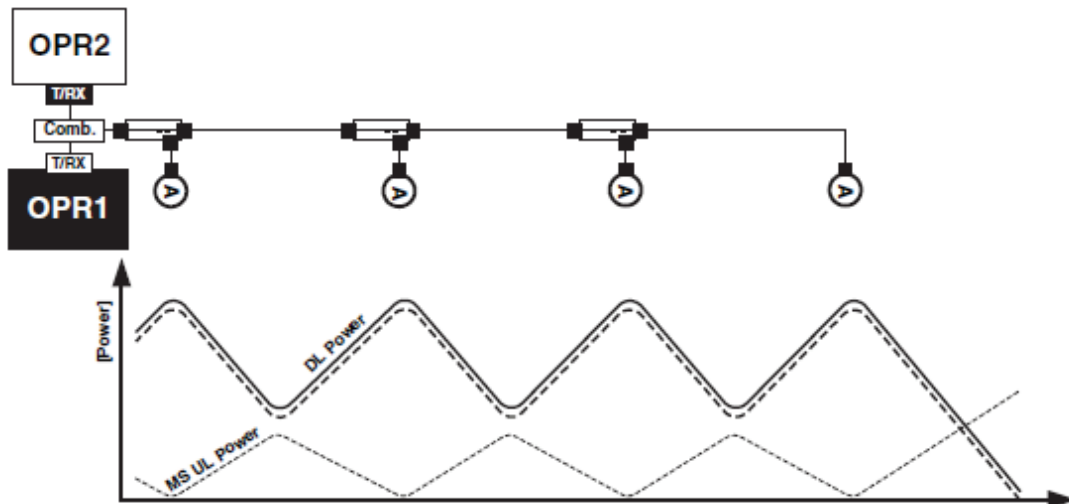


Σχήμα 3.9 Προβλήματα παρεμβολών δύο παρόχων με διαφορετικά κεραιοσυστήματα (DAS) στο ίδιο κτίριο.

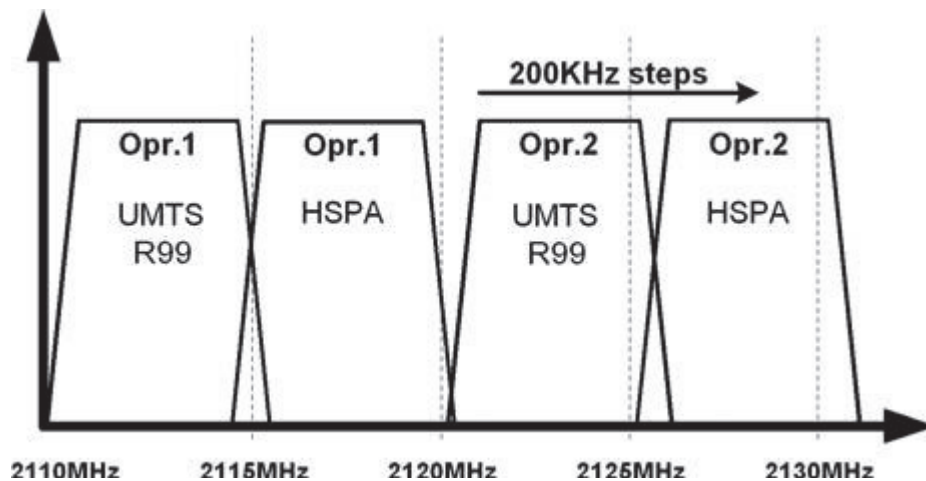
### 3.10 Προδιαγραφές εγκατάστασης πολλαπλών παρόχων

Η πολυπλοκότητα μιας λύσης πολλαπλών παρόχων συχνά υποτιμάται. Ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η λειτουργία μιας τέτοιας λύσης είναι κάτι πολύ περισσότερο από έναν τηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό. Συνιστάται όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης της κινητής τηλεφωνίας κάθε χώρας να λειτουργούν βάση ενός αμοιβαία αποδεκτού εγγράφου το οποίο καθορίζει όλες τις παραμέτρους και τα ζητήματα που αφορούν τις λύσεις συνεγκατάστασης πολλών παρόχων.





Σχήμα 3.10 Εξάλειψη του προβλήματος της παρεμβολής δύο παρόχων που χρησιμοποιούν το ίδιο κεραιοσύστημα σε ένα κτίριο.



Σχήμα 3.11 Αντιστάθμιση της WCDMA συχνότητας για την επίλυση παρεμβολών γειτονικών καναλιών

Συχνά οι σχεδιαστές ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος επικεντρώνονται στο σχεδιασμό χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν και άλλες παραμέτρους για την υλοποίηση του έργου. Παρ' όλ' αυτά λάθη που έχουν ως συνέπεια την αύξηση του κόστους καθώς και την κακή απόδοση μπορούν να αποφευχθούν λαμβάνοντας υπόψη κατά τον σχεδιασμό και μελλοντικές χρήσεις. Συνιστάται, οι πάροχοι που εμπλέκονται με την υλοποίηση και ανάπτυξη του έργου να έχουν έρθει πρώτα σε μια συμφωνία ώστε σε μεταγενέστερα βήματα του έργου να μην υπάρξει καθυστέρηση.

Για να επιτευχθεί η συμφωνία θα πρέπει να υπερκεραστούν διάφορα τεχνικά και νομικά προβλήματα που μπορούν να ανακύψουν. Πολλές φορές είναι χρήσιμη η πρόσληψη ενός συμβούλου ώστε να επιτευχθεί η συμφωνία μεταξύ των παρόχων.

### **3.10.1 Συμφωνία παρόχων**

Η συμφωνία μεταξύ των παρόχων πρέπει να καλύπτει όλες τις πτυχές της διαδικασίας καθ' όλη την διάρκεια ζωής του κεραιοσυστήματος. Πρέπει να υπάρχουν σαφείς διευκρινήσεις για όλα τα τεχνικά, νομικά, λογιστικά και εγκατάστασης θέματα. Σαφώς οι πάροχοι θεωρούνται ανταγωνιστές αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να έχουν κοινή αντιμετώπιση.

Τα πιο σημαντικά θέματα που πρέπει να καλυφθούν από την συμφωνία μεταξύ των παρόχων για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση αναφέρονται παρακάτω.

#### ***Προδιαγραφές σχεδιασμού ραδιοκάλυψης***

- Επίπεδα σχεδιασμού ραδιοκάλυψης – επίπεδα και ποιότητα ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης καθώς και τα όρια σφαλμάτων.
- Παροχή δεδομένων – ταχύτητες ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης στο EDGE και το HSPA
- Επίπεδα ισχύος θορύβου
- Μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση στο σύστημα
- Προϋπολογισμός κάλυψης για όλες τις υπηρεσίες
- Ποσοστό απόδοσης των εξαρτημάτων που θα χρησιμοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό
- Όρια μεταπομπής και κίνησης στο GSM και το UMTS αντίστοιχα
- Χωρητικότητα – αριθμός καναλιών που απαιτούνται για ομιλία και δεδομένα
- Όριο μέγιστης ισχύος εκπομπής για την αποφυγή παρεμβολών κυρίως για το UMTS / HSPA

#### ***Παράμετροι συνύπαρξης***

- Προδιαγραφές των στοιχείων της ραδιοκάλυψης – τύποι σύνδεσμολογίας, επίπεδα ισχύος, απομόνωση παρεμβολών μεταξύ παρόχων και συχνοτήτων

- Βελτίωση ενδο-διαμόρφωσης – όρια συχνοτήτων, παρασιτικές εκπομπές
- Όρια ακτινοβολίας
- Συνύπαρξη με προεγκατεστημένους εξοπλισμούς
- Επιρροή με το εξωτερικό δίκτυο

### *Η εγκατάσταση μελλοντικά*

- Αναβάθμιση χωρητικότητας και δικτύου – προσθήκη νέων υπηρεσιών
- Προσθήκη επιπλέον παρόχων στη λειτουργία του κεραιοσυστήματος – νομικά ζητήματα και επιρροή στις υπηρεσίες
- Απομάκρυνση ενός παρόχου από το δίκτυο
- Απεγκατάσταση του κεραιοσυστήματος – ευκολία αποξήλωσης μηχανημάτων

### *Λογιστικά*

- Σαφής ορισμός του ποιος είναι υπεύθυνος για τι στο έργο
- Επιλογή του κεραιοσυστήματος, πωλητή και προμηθευτή - αιτήσεις προσφορών
- Διαπιστευτήρια μηχανικών εγκατάστασης – εμπειρία, εκπαίδευση
- Νομική κάλυψη - συμβόλαια μεταξύ παρόχων και ιδιοκτήτη του κτιρίου, μεταξύ παρόχων και μηχανικών εγκατάστασης
- Οδηγίες εγκατάστασης σύμφωνες με τις προδιαγραφές του κτιρίου
- Σχέδια υλοποίησης – κατόψεις κτιρίου
- Αποδοχή υλοποίησης έργου – μετρήσεις, στατιστικά λειτουργίας
- Υπεύθυνος συντήρησης και λειτουργίας εγκατάστασης

# 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ (Indoor Coverage)

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μπορεί να ειπωθεί πως η σχεδίαση συστημάτων εσωτερικής ραδιοκάλυψης δεν γίνεται απλά από ανθρώπους κινούμενους σε ένα κτίριο που προσπαθούν να εντοπίσουν πιθανές θέσεις τοποθέτησης κεραιών κάλυψης (coverage antennas). Ενώ η βιομηχανία των κυψελωτών απαρτίζεται από έμπειρους μηχανικούς που μπορούν να κάνουν ικανοποιητικό σχεδιασμό για την παροχή κάλυψης εσωτερικά στα κτίρια, εντούτοις, υπάρχει ο ισχυρισμός πως δεν πραγματοποιείται η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του δικτύου στο σύνολο του. Το ερώτημα που τίθεται είναι εάν η παροχή κάλυψης εσωτερικά στα κτίρια από ένα εξωτερικό δίκτυο είναι οικονομικά εφικτή. Μπορεί δηλαδή μια κυψέλη ή μια μικροκυψέλη να τοποθετηθεί δίπλα σε ένα κτίριο για να παρέχει κάλυψη στους χρήστες ή είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί μία κυψέλη εντός του κτιρίου; Τι επιπτώσεις άραγε, από αυτή την μικρο-κυψέλη, θα υπάρχουν στην απόδοση των γειτονικών κυψελών ή ακόμα και σε ολόκληρο το δίκτυο; Μπορεί ένας αναμεταδότης (επαναληπτικός μηχανισμός, repeater) σε συνδυασμό με ένα σύστημα κεραιών διανομής σήματος (DAS) να παρέχει μια πιο οικονομική λύση; Ποιά λύση θα παρέχει τελικά την καλύτερη κάλυψη και κατ' επέκταση υπηρεσία στο χρήστη με το χαμηλότερο κόστος; Αυτού του είδους τα ερωτήματα θα μας απασχολήσουν σε αυτό το κεφάλαιο.

## **4.1 Σχεδιαστική προσέγγιση και οικονομικές εκτιμήσεις**

### **4.1.1 Εσωτερική κάλυψη: Η παραδοσιακή προσέγγιση**

Παραδοσιακά, η εσωτερική κάλυψη παρέχεται με την βοήθεια της τεχνολογίας υπαίθριας κάλυψης. Αυτή η προσέγγιση έχει τις ρίζες της στην αναλογική προέλευση της κυψελωτής τηλεφωνίας στα τέλη του 1970 όπου τα «κινητά» τηλέφωνα συνήθως τοποθετούνταν κάτω από το κάθισμα ενός αυτοκινήτου ή στο πορτ-μπαγκαζ. Τέτοιου είδους τηλέφωνα χρησιμοποιούνταν σε εξωτερικούς χώρους όπου η κεραία ήταν τοποθετημένη στο επάνω μέρος του αυτοκινήτου και η ηλεκτρική τροφοδοσία προερχόταν από το ηλεκτρικό κύκλωμα του αυτοκινήτου. Οι σχεδιαστές του δικτύου επικεντρώθηκαν στο προφανές: στη χορήγηση κάλυψης και χωρητικότητας στο εξωτερικό περιβάλλον με έμφαση στους δρόμους, στις εθνικές οδούς, όπου οι χρήστες χρησιμοποιούν τα τηλέφωνα τους. Όσο τα τηλέφωνα γίνονταν πιο εύκολα στην μετακίνηση τους, τόσο η κάλυψη σε εσωτερικά περιβάλλοντα γινόταν πιο επιτακτική. Η συνεχής κίνηση των χρηστών και εν συνεχεία των κινητών τηλεφώνων στα εσωτερικά περιβάλλοντα άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο τα δίκτυα σχεδιάζονταν. Η τάση που δημιουργήθηκε ήταν να μπου οι κυψέλες πιο κοντά μεταξύ τους. Ένα εξωτερικό ισχυρό σήμα συνεπάγεται καλύτερη λήψη σήματος και για έναν εσωτερικό χώρο. Το θέμα που ανακύπτει όμως είναι το πόσο κοντά πρέπει να τοποθετηθούν αυτές οι κυψέλες, καθώς σε αυτή την τεχνολογία (air interface technology) υπάρχει ένα όριο για το SNR. Πιο συγκεκριμένα βάζοντας τις κυψέλες αρκετά κοντά και ξεπερνώντας το όριο του SNR, αυξάνεται ο θόρυβος (noise) από τα παρακείμενα κανάλια. Οι μέθοδοι της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA) και πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA) μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των παρεμβολών από τα παρακείμενα κανάλια. Επίσης είναι πιθανό να δεσμεύονται συγκεκριμένα πακέτα συχνοτήτων για χρήση σε εσωτερικούς χώρους όπου η χωρητικότητα ή η κυψέλη υποδεικνύουν τη χρήση μιας μικροκυψέλης (Microcell). Οι πικοκυψέλες (Picocells - αφορούν κάλυψη κτιρίων εσωτερικά) και μικροκυψέλες αρχικά δεν ήταν μέρος της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Με άλλα λόγια οι προμηθευτές εξοπλισμού κυψελωτού δικτύου δεν ήταν έτοιμοι να εισάγουν σύντομα μικρότερες κυψέλες (μικρότερη εξωτερική ισχύς, μικρότερος εξοπλισμός) στις παραγωγικές του μονάδες. Καθώς τα ποσοστά των δεδομένων αυξάνονται, οι προυπολογισμοί (Link

Budget) που πραγματοποιούνται για τις συσκευές χρηστών (UEs) με πεπερασμένη ισχύ εκπομπής θα καθορίσουν κυψέλες με μικρότερη ακτινοβολία.

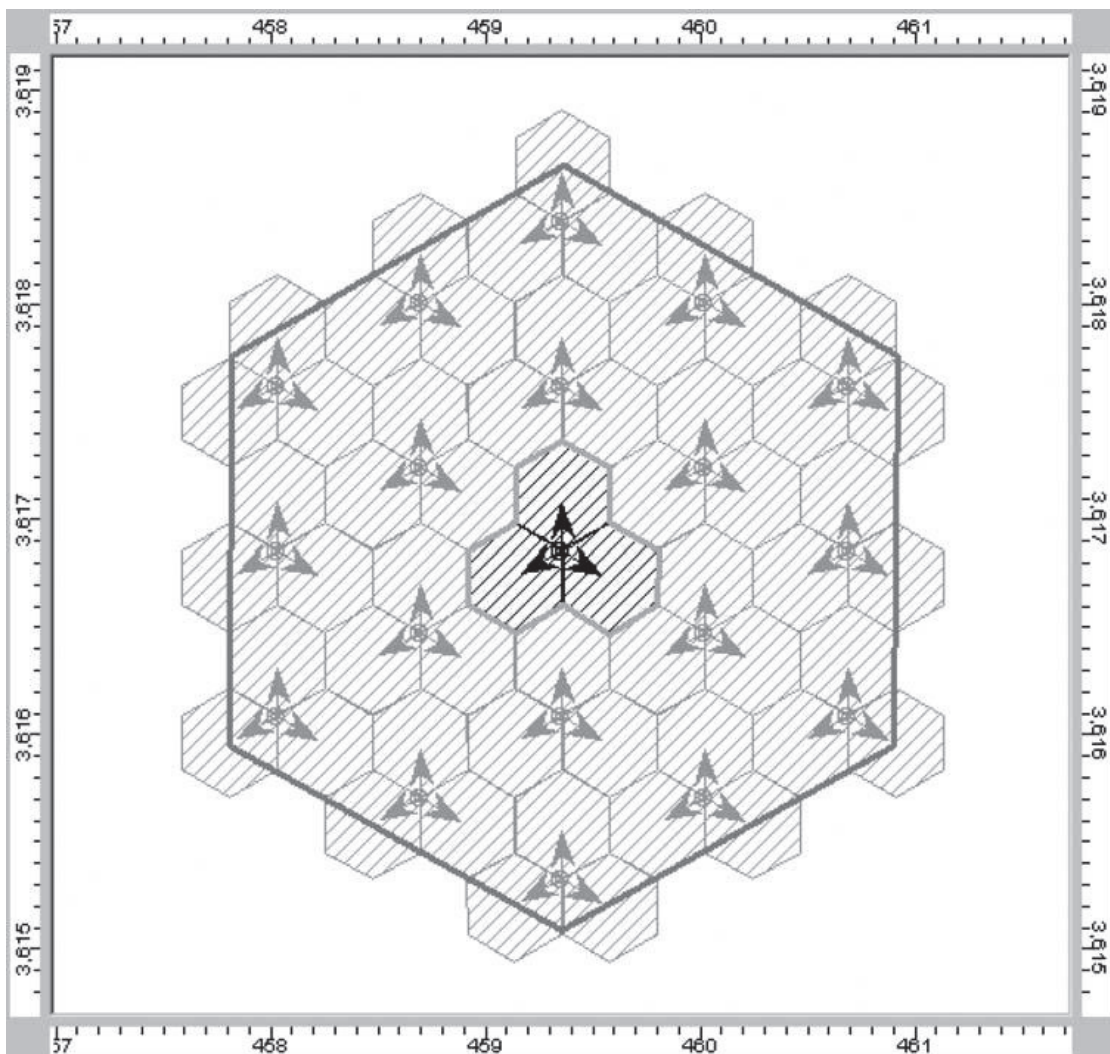
#### **4.1.1.1 Τοποθέτηση κυψελών πιο κοντά**

Στα περισσότερα σχέδια υλοποίησης ενός δικτύου, για να υπάρχουν μικρότερες κυψέλες και πιο κοντά μεταξύ τους, θα πρέπει οι απώλειες διείσδυσης σε ένα κτίριο (περιθώρια διείσδυσης σε ένα κτίριο) να ενσωματωθούν στον προϋπολογισμό της ζεύξης. Από τον προϋπολογισμό της ζεύξης προβλέπεται το μέγιστο επιτρεπτό όριο απωλειών (MAPL) που μπορεί να υπάρξει μεταξύ πομπού και δέκτη. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο απωλειών με την σειρά του καθορίζει την ακτίνα κάλυψης κάθε κυψέλης σε κάθε μοντέλο διάδοσης. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως οι απώλειες διείσδυσης σε ένα κτίριο (BPL) αποτελούν περιθώριο απώλειας το οποίο και εισάγεται στον προϋπολογισμό της ζεύξης ώστε να αντιπροσωπεύει την αναμενόμενη μείωση της ισχύος στα σήματα μέσα στο κτίριο. Έξω από το κτίριο αυτή η μείωση στη λαμβανόμενη ισχύ δεν υφίσταται.

Συμπερασματικά, το αποτέλεσμα είναι πως οι κυψέλες ναι μεν είναι πιο κοντά μεταξύ τους αλλά οι παρεμβολές τόσο στην ανερχόμενη (uplink) όσο και κατερχόμενη (downlink) ζεύξη αυξάνονται. Στην WCDMA τεχνολογία δεν υπάρχει πλάνο συχνοτήτων που να βοηθά στην ελάττωση των επιπλέον παρεμβολών μεταξύ των κυψελών. Για κάθε κυψέλη μεμονωμένα όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως η χωρητικότητα είναι αυτή που μειώνεται για κάθε κυψέλη. Εάν τοποθετηθούν περισσότερες κυψέλες, ο αυξανόμενος αριθμός αυτών θα αντισταθμίσει την μείωση της χωρητικότητας ανα κυψέλη και έτσι θα αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Το αρνητικό σε αυτή την ιδέα είναι το κόστος όμως. Κάθε κυψέλη έχει ένα κόστος εγκατάστασης και ένα κόστος συντήρησης. Επίσης, υπάρχει το κόστος που σχετίζεται με την βελτιστοποίηση, η οποία τείνει να αυξάνεται καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των κυψελών. Εν κατακλείδι λοιπόν όσο μεγαλώνει η πυκνότητα των κυψελών σε μια περιοχή τόσο και το κόστος αυξάνεται.

### 4.1.1.2 Ανάλυση της χωρητικότητας του δικτύου συναρτήσει της απόστασης των κυψελών

Για την εξήγηση της συγκεκριμένης κατάστασης χρησιμοποιήθηκε ένα εμπορικό εργαλείο προγραμματισμού δικτύων για να προσομοιώσει ένα μικρο-κυψελωτό σύστημα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Αναλύεται η χωρητικότητα για δύο συγκεκριμένες καταστάσεις: 1) για όταν υπάρχει οπτική επαφή (LOS) και 2) για όταν δεν υπάρχει (δηλαδή παρεμποδίζεται ή παρεμβάλεται κάτι). Οι δύο συνθήκες αυτές διάδοσης μοντελοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά ύψη κεραιών για συνολικά τέσσερις περιπτώσεις:



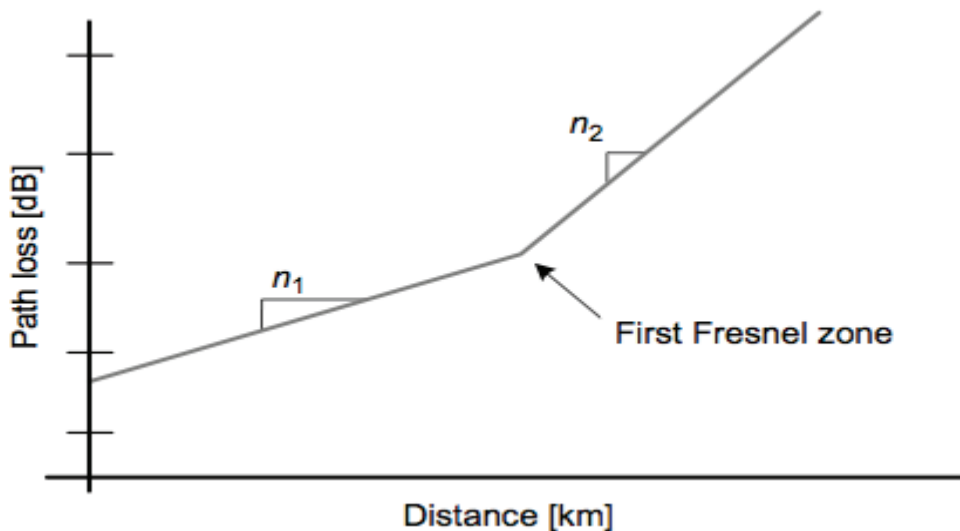
Σχήμα 4.1: Cluster με 19 Μικρο-κυψέλες

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

1. Διάδοση με οπτική επαφή (LOS) με χρήση χαμηλών κεραιών (3,7m)
2. Διάδοση με οπτική επαφή (LOS) με χρήση υψηλών κεραιών (13,3m)
3. Διάδοση χωρίς οπτική επαφή (OBS) με χρήση χαμηλών κεραιών.
4. Διάδοση χωρίς οπτική επαφή (OBS) με χρήση υψηλών κεραιών.

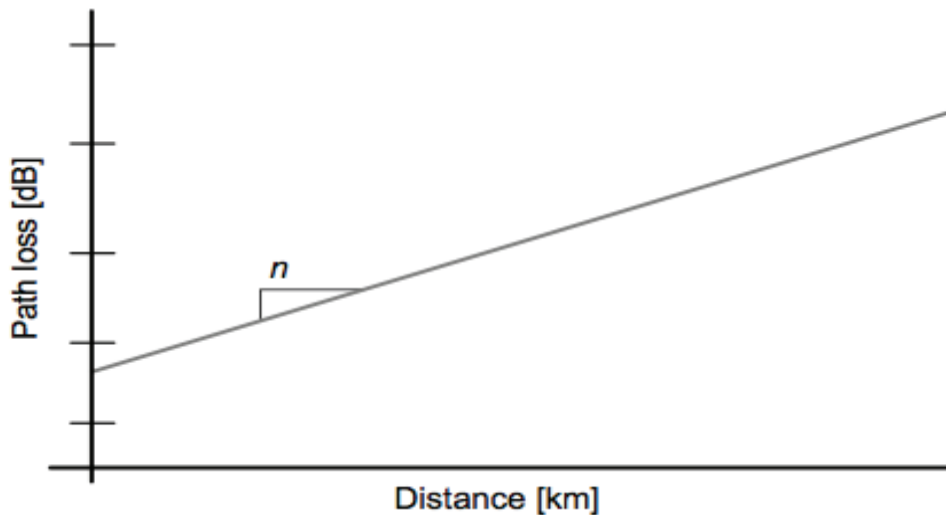
Η προσομοίωση επαναλήφθηκε για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των κυψελών. Κατά αυτόν τον τρόπο η συνολική χωρητικότητα υπολογίζεται ως συνάρτηση της απόστασης των κυψελών

Η απόδοση του συστήματος σε σχέση με το ύψος της κεραιάς και τη διάδοση στο περιβάλλον μπορούν επίσης να συγκριθούν. Οι περιπτώσεις της διάδοσης με οπτική επαφή (LOS) χρησιμοποίησαν ένα κρίσιμο σημείο στη ζώνη Fresnel όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, ενώ στις περιπτώσεις απωλειών χωρίς οπτική επαφή χρησιμοποιήθηκε ένα πρότυπο μονοπάτι απωλειών όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3. Για να είναι πιο ρεαλιστικά τα αποτελέσματα τα μοντέλα διάδοσης που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν σε μετρήσεις εντός αστικού περιβάλλοντος όπου οι πομποί βρίσκονταν σε χαμηλό ύψος και οι αποστάσεις μεταξύ των κυψελών ήταν μικρότερες του ενός χιλιομέτρου.



Σχήμα 4.2: Μοντέλο Διάδοσης με οπτική επαφή





Σχήμα 4.3: Μοντέλο διάδοσης χωρίς οπτική επαφή

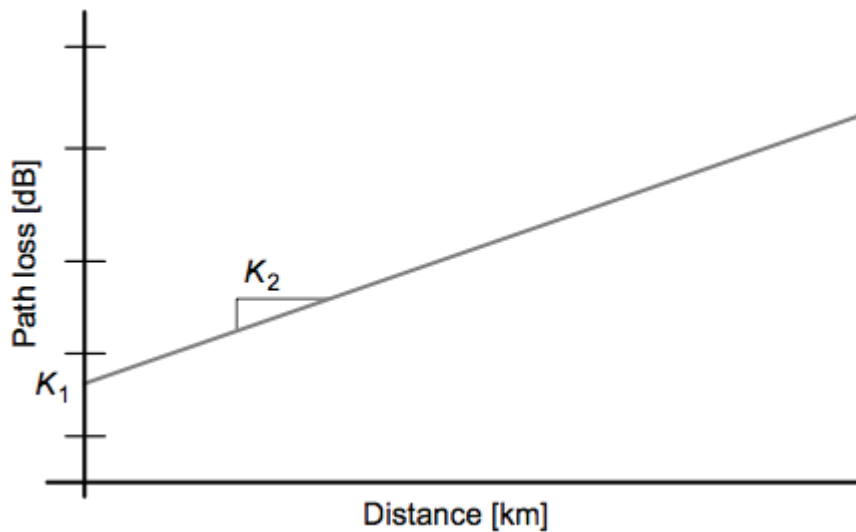
Για την συγκεκριμένη τοπολογία μπορεί να αποδειχθεί ότι αυτό το μοντέλο είναι ακριβές εάν επιλεγθεί προσεκτικά το σημείο αλλαγής (αποκοπής), όπως υποδεικνύεται από την τυπική απόκλιση στους πίνακες 4.1 και 4.2 . Σε αυτούς τους πίνακες διακρίνουμε πως η μετρηθείσα τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) είναι περίπου 8dB και είναι μία τιμή που οι σχεδιαστές δικτύων την αποδέχονται ως την πιο ακριβή για το στατιστικό μοντέλο.

Antenna height	$n_1$	$n_2$	$\sigma$ (dB)
Low (3.7 m)	2.18	3.29	8.76
High (13.3 m)	2.07	4.16	8.77

Πίνακας 4.1: Ακριβές μοντέλο για μετάδοση με οπτική επαφή και δείκτες για τη διαδρομή απωλειών πριν ( $n_1$ ) και μετά ( $n_2$ ) το σημείο αποκοπής.

Antenna height	n	$\sigma$ (dB)
Low (3.7 m)	2.58	9.31
High (13.3 m)	2.69	7.94

Πίνακας 4.2 : Ακριβές μοντέλο για μετάδοση με εμπόδια και δείκτες για τη διαδρομή απωλειών πριν (n) το σημείο αποκοπής.



Σχήμα 4.4 :Εργαλείο σχεδιασμού δικτύου τυποποιημένου μοντέλου διάδοσης.

Στο εργαλείο σχεδιασμού δικτύων που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση, ένα τυποποιημένο πρότυπο διάδοσης σημείου λαμβάνει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εξίσωση 4.1 και που διευκρινίζεται στο σχήμα 4.4 . Αυτό το πρότυπο πρέπει να προσαρμοστεί στο εξεταζόμενο πρότυπο, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3 .

$$P1=K1+K2 \log (D) \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

Το πρότυπο, που αναπτύχθηκε αρχικά για 1900 MHz, και εν συνεχεία προσαρμόστηκε για τη ζώνη συχνοτήτων των 2.1 GHz, αυξάνοντας τις παρεμβολές κατά 0.91 dB όπως φαίνεται στην παρακάτω ισότητα

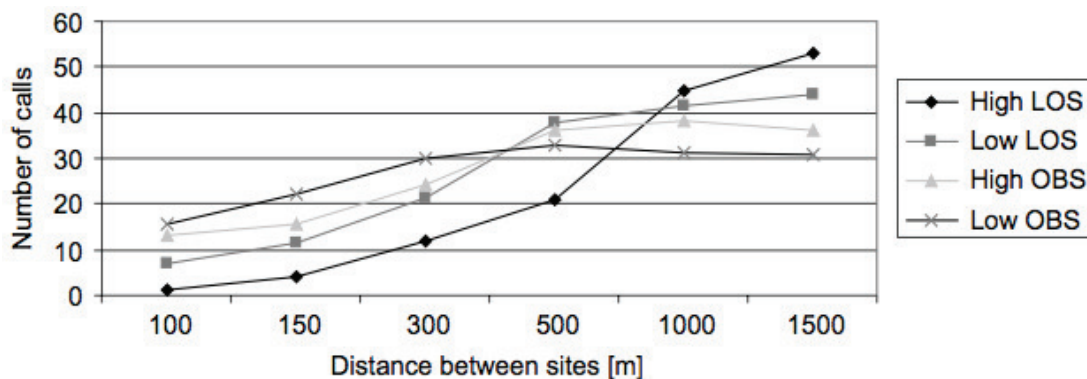
$$\Delta PL = 20 * \log (2110/1900) \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

Οι κλίσεις και οι τυπικές αποκλίσεις παρέμειναν αμετάβλητες, έχοντας ληφθεί ως λογικές υποθέσεις μέσα σε μια περιορισμένη αλλαγή συχνότητας.

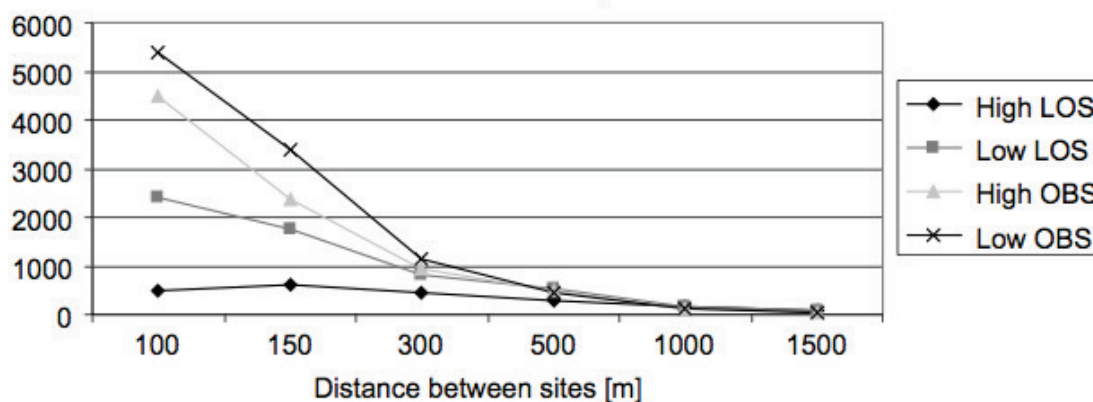
Low antenna height, LOS	$K_1 = 36.2$ and $K_2 = 21.8$ for $d < 159$ m $K_1 = 11.76$ and $K_2 = 32.9$ for $d > 159$ m
High antenna height, LOS	$K_1 = 37.4$ and $K_2 = 20.7$ for $d < 573$ m $K_1 = -20.245$ and $K_2 = 41.6$ for $d > 573$ m
Low antenna heights, OBS	$K_1 = 39$ and $K_2 = 26.9$
High antenna heights, OBS	$K_1 = 39$ and $K_2 = 25.8$

Πίνακας 4.3: Περίληψη των μοντέλων διάδοσης για την ανάλυση της χωρητικότητας.

Ο πίνακας 4.3 συνοψίζει τις τέσσερις εκδοχές αυτού του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη. Για να απεικονιστεί η απόδοση του δικτύου, το σύστημα αναλύθηκε σε 19 τμήματα όπως φαίνονται στο σχήμα 4.1 χρησιμοποιώντας τις πολλαπλές προσομοιώσεις MonteCarlo, για να καθοριστεί η μέγιστη κίνηση που θα μπορούσε να υποστηριχθεί από τις κεντρικές κυψέλες. Λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την χωρητικότητα των κεντρικών κυψελών, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι σύμφωνα με τα προσδοκώμενα αποτελέσματα για μία ενσωματωμένη κυψέλη. Το σχήμα 4.5 επιδεικνύει πως η χωρητικότητα μιας μεμονωμένης κυψέλης μειώνεται καθώς η απόσταση μεταξύ των κυψελών μειώνεται. Οι κυψέλες με τις χαμηλότερες κεραιές έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα από εκείνες με τις υψηλότερες κεραιές. Επίσης παρατηρείται ότι τα πρότυπα διάδοσης με εμπόδια παρουσιάζουν περισσότερη χωρητικότητα από αυτή των μοντέλων διάδοσης με οπτική επαφή. Και οι δύο αυτές παρατηρήσεις επεξηγούν την επίδραση της αυξανόμενης παρεμβολής στην χωρητικότητα της σύνδεσης. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι σύμφωνες με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, λόγω είτε της ελάττωσης του ύψους κεραιών είτε της αύξησης της απομόνωσης μεταξύ των κυψελών (που στην περίπτωσή μας χρησιμοποιούν το πρότυπο διάδοσης με εμπόδια) και είναι σύμφωνη με τις τεχνικές βελτιστοποίησης. Όταν η χωρητικότητα μιας κυψέλης μειώνεται, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό πώς η συνολική χωρητικότητα του δικτύου αυξάνεται με την ελάττωση της απόστασης των κυψελών. Το σχήμα 4.6 επεξηγεί πώς ο αριθμός κλήσεων ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται όσο η πυκνότητα των κυψελών μεγαλώνει.



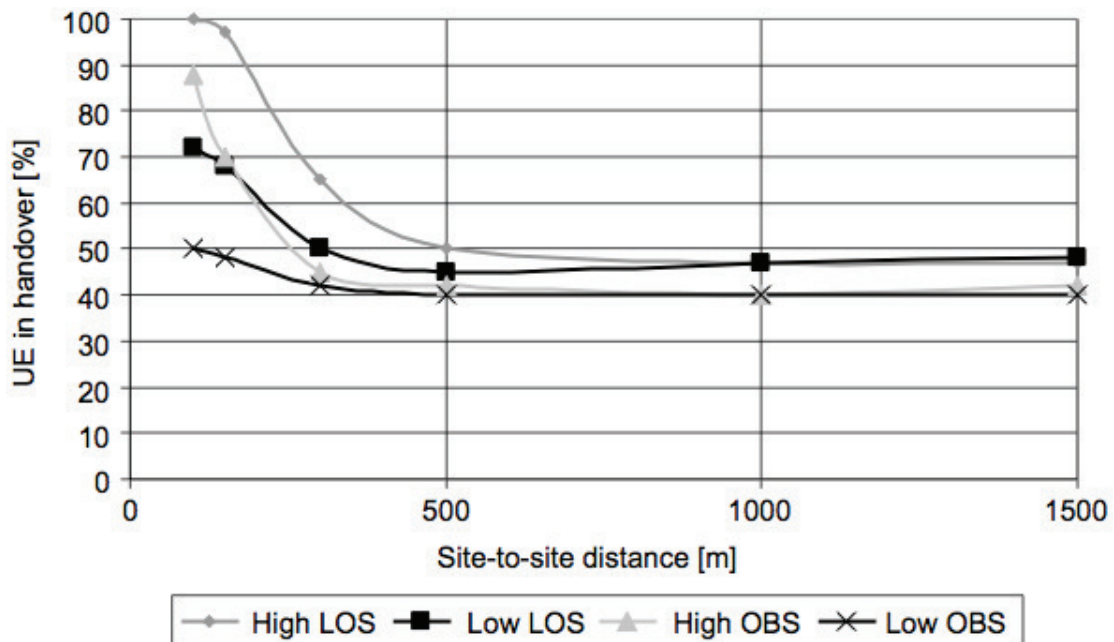
Σχήμα 4.5: Η χωρητικότητα του Σταθμού Βάσης συναρτήσει της απόστασης της κυψέλης.



Σχήμα 4.6: Αριθμός κλήσεων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Αυτό εμφανίζεται παρά το γεγονός ότι η ικανότητα ανά κυψέλη μειώνεται. Με άλλα λόγια, η αύξηση του αριθμού των κυψελών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο αυξάνει τη γενική χωρητικότητα του δικτύου, όπως επίσης και το κόστος ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο αυξάνεται εντυπωσιακά. Το σχήμα 4.6 δείχνει ότι για το μεγάλο ύψος κεραίας στο μοντέλο διάδοσης με οπτική επαφή, η χωρητικότητα του δικτύου μειώθηκε όταν η απόσταση των κεραιών ήταν λιγότερη από 150 μέτρα (αυτό μεταφράζεται σε περίπου 50 κυψέλες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο). Αυτό το σενάριο είναι σύμφωνο με ένα δίκτυο που δεν βελτιστοποιείται τέλεια για τη διαμόρφωση ραδιοσυχνοτήτων. Αντιπροσωπεύει επίσης τι μπορεί να παρατηρηθεί σε εσωτερικούς χώρους σε υψηλότερα σημεία (για παράδειγμα σε ψηλά κτήρια) σε ορόφους υψηλότερους από το μέσο ύψος των περισσότερων σε αστικά περιβάλλοντα. Το σχήμα 4.6 επίσης δείχνει ότι ο αριθμός των κλήσεων ανά μονάδα χρόνου αυξήθηκε καθώς η πυκνότητα των κυττάρων αυξήθηκε, με εξαίρεση την περίπτωση της μεγάλης οπτικής επαφής που

μόλις αναφέρθηκε. Εκτός από τις προφανείς κύριες δαπάνες ενός τέτοιου πυκνού δικτύου μικροκυψελών, υπάρχει ένα επιπλέον κόστος των πόρων δικτύων, υπό μορφή ήπιας αυξανόμενης μεταπομπής. Φυσικά, καθώς τα κύτταρα έρχονται πιο κοντά, το ποσοστό της ήπιας μεταπομπής αυξάνεται, υποθέτοντας πάντα ότι οι παράμετροι μετάδοσης παραμένουν σταθερές. Το σχήμα 4.7 επεξηγεί την αύξηση της μεταπομπής σε συνάρτηση με την απόσταση μεταξύ των κυψελών.



Σχήμα 4.7: Πορεία Μεταπομπής σε συνάρτηση με την απόσταση των κυψελών

Συνοψίζοντας, ένα δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί σε περιβάλλον όπου η απόσταση μεταξύ των σταθμών να μπορεί να ξεπεράσει τιμή των 40 dB που είναι το φράγμα διείσδυσης των κτιρίων. Ένα τέτοιο δίκτυο θα παρείχε μια μεγάλη, ακόμα κι αν δεν ήταν η βέλτιστη, χωρητικότητα λόγω της μεγάλης επικάλυψης μεταξύ των κυψελών.

## **4.2 Αρχικός σχεδιασμός**

Συνδυάζοντας καταλλήλως όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια γίνεται εφικτή η υλοποίηση της αξιοποίησης ενός συστήματος κεραιών για την κάλυψη ενός εσωτερικού χώρου. Εκτενέστερα θα αναλυθεί η μελέτη και η υλοποίηση ενός σχεδίου για την εσωτερική ραδιοκάλυψη ενός μεγάλου εμπορικού κέντρου από τρεις διαφορετικούς παρόχους.

Αρχικά, με την οριστικοποίηση του ενδιαφέροντος μετά από τις συζητήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τα Τμήματα Αδειοδοτήσεων / Συμβολαίων των τριών παρόχων με την Διοίκηση του Εμπορικού Κέντρου, οργανώθηκαν μία σειρά επισκέψεων των Τμημάτων Σχεδιασμού Εσωτερικών Λύσεων Ραδιοδικτύων των τριών παρόχων με τους υπευθύνους (Διοικητικούς και Τεχνολόγους) για να εκπονηθεί και να οριστικοποιηθεί η τελική Τεχνική λύση για την κάλυψη του Εμπορικού Κέντρου. Στην διαδικασία αυτή μεταξύ άλλων παραδόθηκαν τα σχέδια όψεων και κατόψεων του κτιρίου. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σειρά κατοπτύσεων για την οριστικοποίηση της λύσης, που αφορά την εξεύρεση του χώρου έδρασης του βασικού Τηλεπικοινωνιακού Εξοπλισμού (χώρος μηχανημάτων), την αρχική εξέταση για τις πιθανές οδεύσεις των καλωδίων και την αρχική επιμέτρηση αυτών καθώς και την επιθυμητή θέση και τον τύπο των εσωτερικών κεραιών για την βέλτιστη δυνατότητα κάλυψης όλων των κοινόχρηστων χώρων που αφορούν τόσο τους απλούς καταναλωτές όσο και τους χώρους όπου χρησιμοποιούνται μόνο από το προσωπικό του Εμπορικού. Επιπλέον, εξετάστηκαν βασικά θέματα που αφορούν την εξεύρεση των καλύτερων θέσεων για την τοποθέτηση των κατόπτρων για την διασύνδεση των Σταθμών Βάσης με τον υπόλοιπο κορμό του Δικτύου των τριών παρόχων καθώς και θέματα που αφορούν τις απαιτήσεις για ρευματοδότηση του βασικού εξοπλισμού.

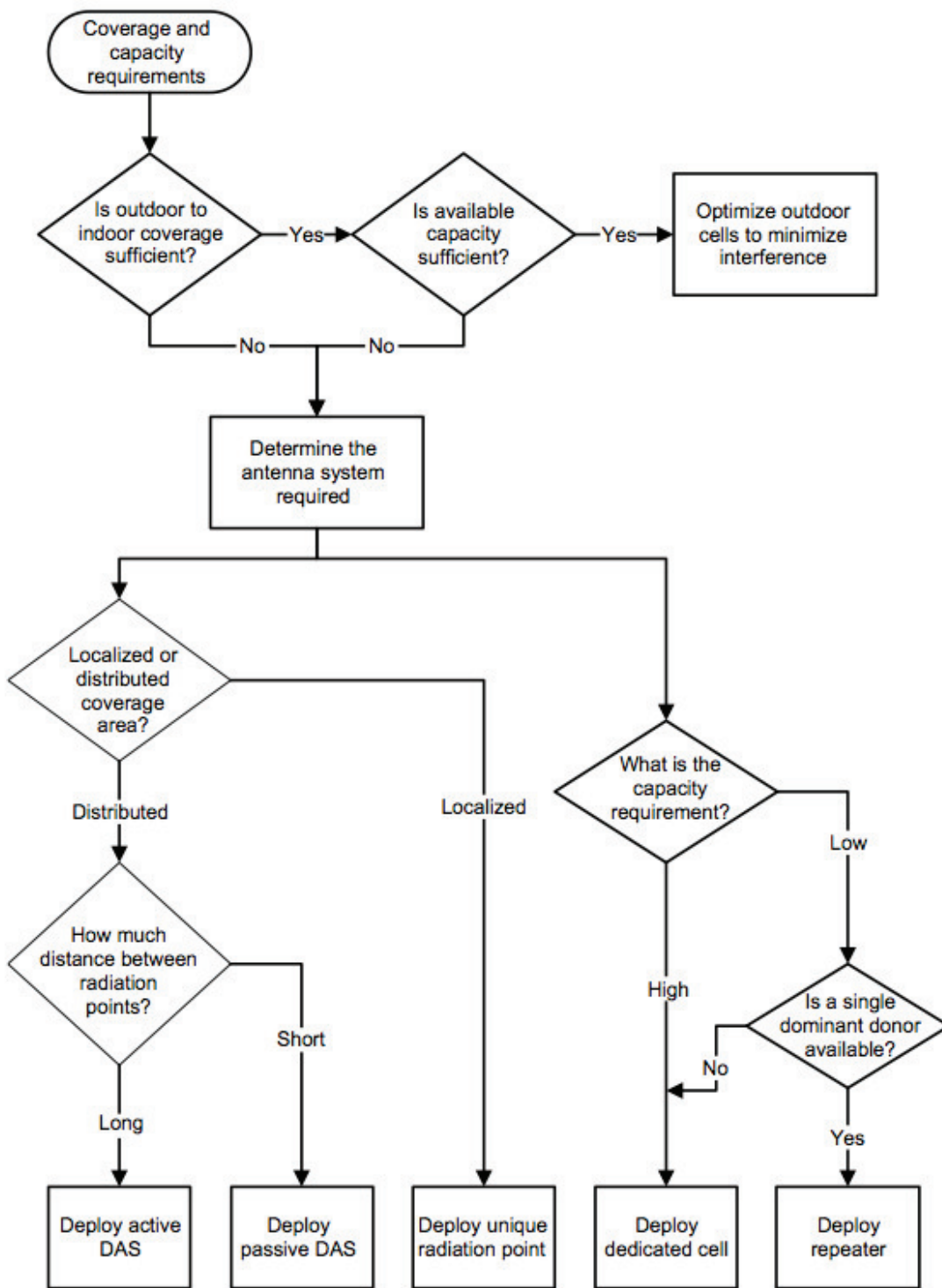
Πιο συγκεκριμένα υστερα από τον καθορισμό των απαιτήσεων της κάλυψης και της χωρητικότητας, το πρώτο βήμα που απασχολεί τον σχεδιαστή του δικτύου εσωτερικού χώρου είναι η πρώτη εκτίμηση σχετικά με το ποια λύση κάλυψης θα χρησιμοποιηθεί. Για να προσδιοριστούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την λύση, πρέπει πρώτα να αναλυθούν οι θέσεις των μακρο-σταθμών βάσης ώστε να βρεθεί η βασική μακρο-κυψέλη που εξυπηρετεί είτε άμεσα είτε έμεσα σαν κεραία λήψης για έναν αναμεταδότη. Επίσης, θα εκτιμηθεί αν αυτή η κύρια κυψέλη εξυπηρετήσει της

περιοχής αλληλεπιδρά με τις γειτονικές μακρο κυψέλες, αλλά και με αυτές των εσωτερικών χώρων.

Συνήθως δύο είναι οι συνθήκες που καθορίζουν αν το κτίριο μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα μακροδίκτυο : 1) Από την τοποθεσία εξηγηρέτησης και 2) από τον καθορισμό του τύπου κάλυψης. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη μακροκυψέλη εξηγηρέτησης, μία αυτόνομη κυψέλη (μάκρο, μικρο ή πίκο) είναι η μόνη επιλογή για την τροφοδοσία ενός DAS. Ακόμα και αν υπάρχει μία κεντρική κυψέλη εξηγηρέτησης, πριν επιλεγεί ένας αναμεταδότης ή μία αποκλειστική κυψέλη, αυτό που πρέπει πρώτα να αξιολογηθεί είναι η κίνηση του δικτύου που αναμένεται να υπάρξει στο εσωτερικό του κτιρίου. Ένας αναμεταδότης είναι κατάλληλος για ελαφρώς «φορτωμένο» δίκτυο επιτρέποντας την πολυπλεξία της κίνησης που λαμβάνεται από μία μακροκυψέλη. Εναλλακτικά μία αυτόνομη κυψέλη (διαφορετικά ένας αυτόνομος σταθμός βάσης) παρέχει επιπλέον χωρητικότητα στο δίκτυο αντί να μοιράζεται αυτή της μακροκυψέλης. Εάν η κίνηση των χρηστών σε ένα εσωτερικό χώρο δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια, μπορεί αρχικά να δοθεί μια προσωρινή λύση με έναν αναμεταδότη και ύστερα από αναβάθμιση να εξυπηρετείται από μία δεσμευμένη για αυτή την περιοχή κυψέλη εάν και αφόσον η κίνηση αυξηθεί ή καθοριστεί καλύτερα. Αυτή η προσέγγιση δεν απαγορεύει την επιλογή ενός συστήματος κεραιών καθότι η αναβάθμιση από έναν αναμεταδότη σε μια πικο-κυψέλη δεν απαιτεί αλλαγές στο σύστημα κεραιών.

Ωστόσο, η αρχή με έναν αναμεταδότη δεν είναι πάντοτε εφικτή ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος του συστήματος κεραιών. Το πρώτο βήμα για την επιλογή ενός κεραιο-συστήματος είναι να καθοριστεί ποια από τις επιλογές που προαναφέρθηκαν είναι η κατάλληλη για την περιοχή που πρόκειται να καλυφθεί. Για να εκτιμηθεί ο χώρος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να μελετηθούν τα σχέδια κατασκευής. Όλα τα εσωτερικά τμήματα του χώρου θα πρέπει να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης βάση προτεραιοτήτων. Οι κατηγοριοποίηση γίνεται αναλόγως με τις απαιτήσεις για την βελτίωση της κάλυψης : υψηλή για τους χώρους του κτιρίου που χρειάζονται όλες οι υπηρεσίες, μεσαία κάλυψη για τους χώρους που απαιτούν τις βασικές υπηρεσίες και χαμηλή για τους χώρους που δεν υπάρχει καμία απαίτηση. Αφού κατηγοριοποιηθούν όλοι οι χώροι εκτιμώνται οι τύποι των κεραιών καθώς και ο αριθμός τους που απαιτείται σύμφωνα με το μέγεθος των χώρων. Μία ακόμη παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί είναι η ισχύς της κάθε κεραιάς και η ενέργεια

που θα καταναλωθεί. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται το διάγραμμα ροής που μπορεί να καθορίσει την προκαταρκτική λύση.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ροής για την εσωτερική κάλυψη



### **4.2.1 Μελέτη του χώρου**

Με την μελέτη του χώρου προσδιορίζεται το επίπεδο κάλυψης που υπάρχει συνυπολογίζοντας το περιβάλλον και τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις του κτιρίου. Σημαντικό είναι οι κατόψεις του κτιρίου να ταξινομηθούν καταλλήλως έτσι ώστε να επισημαίνονται τα σημεία κατά την διάρκεια της μελέτης. Στην διάρκεια της μελέτης ενός χώρου, πρέπει να συλλέγονται όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για τον σχεδιασμό. Τονίζεται πως σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να τοποθετηθεί κεραία εξυπηρέτησης εντός χώρου που αναμένεται να φιλοξενήσει κάποιο κατάστημα. Η άδεια για την εγκατάσταση του κατανεμημένου συστήματος κεραιών δίνεται από τον ιδιοκτήτη του κτιρίου και όχι από τον κάτοχο του εκάστοτε καταστήματος. Κατά συνέπεια και οι καλωδιοδιαδρομές ακολουθούν την συνέχεια των διαδρόμων δημόσιας χρήσης. Οι πιλοτικοί μετρητές ή οι δοκιμαστικές συσκευές που χρησιμοποιούν και οι χρήστες του δικτύου, χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να συλλέγονται τα αποτελέσματα της ισχύος του σήματος καθώς και της ποιότητας του από τις γειτονικές μακροκυψέλες.

Στην περίπτωση που θα μελετηθεί στη συνέχεια, αναλύεται ο σχεδιασμός ενός εσωτερικού συστήματος διανομής σήματος πολλαπλών παρόχων κινητής τηλεφωνίας σε Εμπορικό Κέντρο. Με δεδομένη τη μη ύπαρξη ενός κατανεμημένου συστήματος κεραιών η μελέτη ξεκινά με την απόκτηση των κατόψεων του κτιρίου από τους ιδιοκτήτες. Ύστερα από ενημέρωση των μετόχων γίνεται γνωστό πως το εμπορικό κέντρο για το οποίο έχει ζητηθεί η βέλτιστη ραδιοκάλυψη και χρήση υπηρεσιών αποτελείται από 4 υπέργειους ορόφους και 4 υπόγειους.

Κατά την επίσκεψη στους χώρους του εμπορικού λαμβάνουν χώρα μετρήσεις της στάθμης λήψης από το υπάρχον εξωτερικό δίκτυο (Πίνακας 4.4). Τα σημεία μετρήσεων αποτυπώνονται στις κατόψεις (Εικόνα 4.5 έως 4.12).

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	RX LEVEL 2G BEFORE INDOOR DAS (dBm)		RSCP LEVEL 3G BEFORE INDOOR DAS		
	CHANNEL	LEVEL	PSC	RSSI	EC/NO
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	809	-98	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	1013	-88	0	0	0

<b>19</b>	809	-85	333	-93	-10
<b>20</b>	844	-91	460	-98	-8
<b>21</b>	844	-83	460	-90	-9
<b>22</b>	832	-80	499	-90	-6
<b>23</b>	809	-88	333	-96	-10
<b>24</b>	832	-79	499	-89	-7
<b>25</b>	844	-75	460	-83	-9
<b>26</b>	809	-70	333	-80	-8
<b>27</b>	844	-96	0	0	0
<b>28</b>	844	-71	499	-80	-12
<b>29</b>	844	-80	333	-77	-12

Πίνακας 4.4: Στάθμη λήψης σήματος πριν την υλοποίηση του έργου

Εάν ένα νέο σύστημα κεραιών σχεδιάζεται όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, ενδεχόμενοι τύποι κεραιών και θέσεις αυτών προσδιορίζονται. Επίσης, κατά προσέγγιση μπορεί να προστεθεί στο σχεδιασμό του προϋπολογισμού (link budget) και το εύρος κάλυψης των κεραιών. Τα εμπόδια που τυχόν υπάρχουν στο χώρο καθώς και οι πιθανές κατάλληλες τοποθεσίες σημειώνονται στην κάτοψη. Επίσης, η όδευση των καλωδίων γίνεται διακριτή σε αυτή την φάση σύμφωνα με τον βαθμό εξυπηρέτησης και την διαμόρφωση του κάθε ορόφου ξεχωριστά, καθώς αποτελεί βασικό μέρος της υλοποίησης της μελέτης για την σωστή καταμέτρηση του μήκους που θα χρειασθεί.

Σε περιπτώσεις που ένα υπάρχον καταναμημένο σύστημα κεραιών προϋπάρχει και επαναχρησιμοποιείται τότε όλες οι υπάρχουσες κεραιές πρέπει να εντοπιστούν και να προσδιοριστούν. Με αυτή τη διαδικασία ελέγχεται εάν οι κεραιές είναι ευρυζωνικές και σύμφωνες με τον σχεδιασμό που παρέχεται από τον ιδιοκτήτη του χώρου. Οι συζευκτήρες (couplers) και οι διαχωριστές (splitters) είναι δύσκολο πολλές φορές να εντοπιστούν με ακρίβεια, όπως το ίδιο ισχύει και με τις κεραιές που είναι κρυμμένες

πάνω από ψευδοροφές. Με την πραγματοποίηση επιπρόσθετης έρευνας στον χώρο εξασφαλίζεται πως ο αριθμός των εσωτερικών κεραιών και ο διαχωρισμός τους είναι επαρκής. Τα συστήματα εσωτερικού χώρου που σχεδιάστηκαν για την τεχνολογία 2G μπορεί να είναι συμβατά μόνο με χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων, δηλαδή, των 900 και 1800 MHz και να μην υποστηρίζουν την 3G τεχνολογία στην μπάντα των 2100 MHz. Όταν τα συστήματα εγκαθίστανται και βρίσκονται σε λειτουργία, βασικός έλεγχος είναι η συμβατότητα του υπάρχοντος εξοπλισμού με την υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων. Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να γίνεται επαλήθευση των τιμών που δίνει η κεραία σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό.

Με την ολοκλήρωση των αρχικών κατοπτύσεων και την συμφωνία των υπευθύνων τμημάτων των τριών παρόχων, εκπονείται το τελικό σχέδιο ραδιοκάλυψης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο αρχικός σχεδιασμός για την ραδιοκάλυψη του εμπορικού, το οποίο στην συνέχεια κατατέθηκε προς έγκριση την Διοίκηση του Εμπορικού Κέντρου και στις τεχνικές υπηρεσίες αυτού.

Σε αυτό αναφέρονται οι βασικοί άξονες υλοποίησης που αφορούν τους λόγους που προτείνεται η εν λόγω τεχνική λύση καθώς και λεπτομέρειες που αφορούν τον τεχνικό εξοπλισμό και συγκεκριμένα, το τύπο των μηχανημάτων και τεχνική περιγραφή αυτών (διαστάσεις, βάρη, προδιαγραφές και απαιτήσεις), τον τύπο και τις προδιαγραφές των υπολοίπων παθητικών στοιχείων (κυματοδηγοί, εσωτερικές κεραιές κάλυψης, splitter, tapper, combiners κ.τ.λ) και τέλος την αποτύπωση πάνω στις κατόψεις την αρχική εκτίμηση για την όδευση των κυματοδηγών καθώς και τις επιθυμητές θέσης έδρασης τόσο του βασικού εξοπλισμού (μηχανήματα, κάτοπτρα) όσο τις θέσεις των εσωτερικών κεραιών κάλυψης.

### **4.2.2 Επιλογή κεραίας – εξυπηρετητή**

Σύμφωνα με τα όσα έχουν προηγηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια ο σωστός σχεδιασμός θα περιελάμβανε την χρήση ενός ήδη υπάρχοντος σταθμού βάσης ως κύρια μακρο-κυψέλη. Στην περίπτωση όμως ενός εμπορικού κέντρου εντός αστικής περιοχής προτιμάται να τοποθετηθεί μια αυτόνομη μακρο-κυψέλη (μελέτη νέου σταθμού βάσης). Η επιλογή του αναμεταδότη (repeater) κρίνεται ακατάλληλη λόγω του μεγέθους του εμπορικού και της εξασθένησης που θα υποστεί η διάδοση του σήματος μέσω των

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

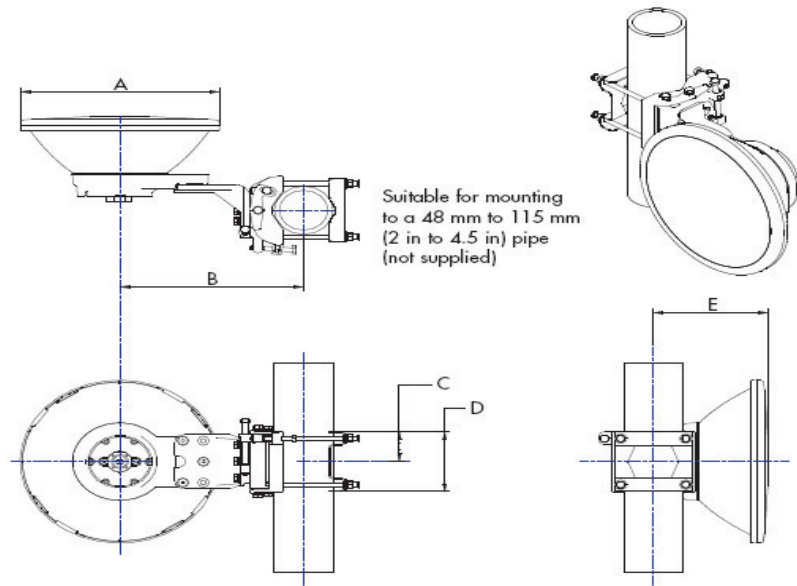
καλωδίων έως ότου διατρέξουν όλο το κτίριο, και μέχρι να φτάσουν τις κεραίες εξυπηρέτησης. Δηλαδή, η τελική ισχύς δεν θα είναι ικανοποιητική. Επιπλέον λόγος για τη μη επιλογή αναμετάδοσης του σήματος αποτελεί η χωρητικότητα του δικτύου που θα μειωθεί αισθητά ύστερα από την μαζική προσέλευση κόσμου σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν από τον κάθε πάροχο (C, V, και W) που θα καλύψουν την τηλεπικοινωνιακή κίνηση του εμπορικού παρατίθενται στον πίνακα 4.5:

Operator	HardWare	Manufacture	Product	System	Height (mm)	Width (mm)	Depth (mm)	Weight (kg)	Remarks
Πάροχος C	BTS	Nokia	Flexi EDGE	GSM 1800	1550	770	770	365	
Πάροχος C	Node B	Ericsson	3106	UMTS	1630	1300	710	630	
Πάροχος C	Power	ELVIOKAT			1850	650	650	660	
Πάροχος V	BTS	Ericsson	RBS 2116	GSM 900	1750	650	888	270	
Πάροχος V	Power	Ericsson	BBS 2116		1750	650	888	350	
Πάροχος V	Node B	Huawei	RRU 3804	UMTS	488	280	155	48	x3 RRU
Πάροχος V	Power	Huawei	APM 30		900	600	480	225	
Πάροχος W	BTS	Ericsson	RBS 2116	GSM 900	1750	650	888	270	
Πάροχος W	Power	Ericsson	BBS 2116		1750	650	888	350	
Πάροχος W	Base				200	1400	700	100	
Πάροχος W	Node B	Nokia	Flexi	UMTS	495	447	560	65	
Πάροχος W		Base			200	700	700	20	

Πίνακας 4.5 : Τύποι μηχανημάτων για το νέο Σταθμό Βάσης

Τα μικροκυματικά κάτοπτρα, ένα για κάθε πάροχο, θα είναι διατομής 0,3m. Στον ίδιο χώρο θα εγκατασταθούν τα τροφοδοτικά συστήματα, Rack 19” εξωτερικού χώρου και ένας κεντρικός ηλεκτρολογικός πίνακας. Για την ηλεκτροδότηση απαιτείται παροχή ΔΕΗ 3x80Α.



Εικόνα 4.1: Μικροκυματικό κάτοπτρο



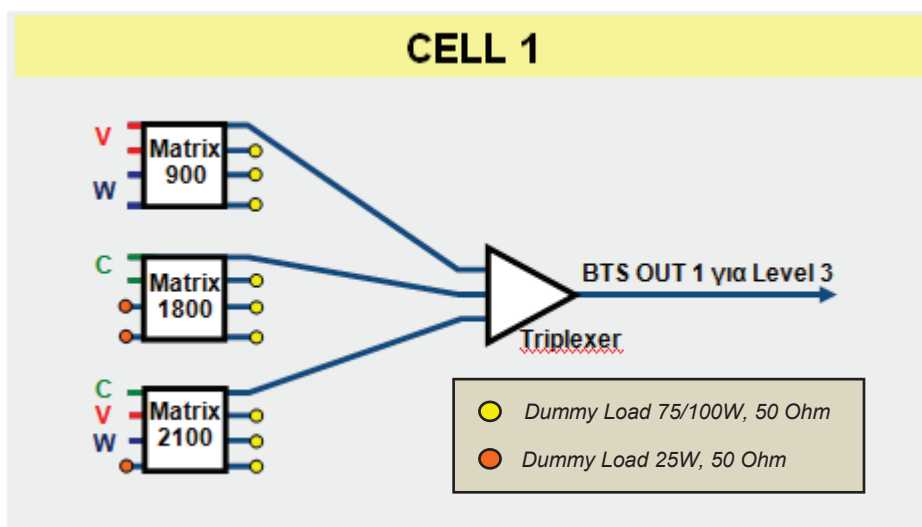
Εικόνα 4.2: Θέση εγκατάστασης κατόπτρων.

Σημείωση: Το rack είναι ένα επιτοίχιο μεταλικό ντουλάπι που φιλοξενεί τον παθητικό (patch panel, patch cords, καλώδια) και ενεργό τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό (hub, router, modem).

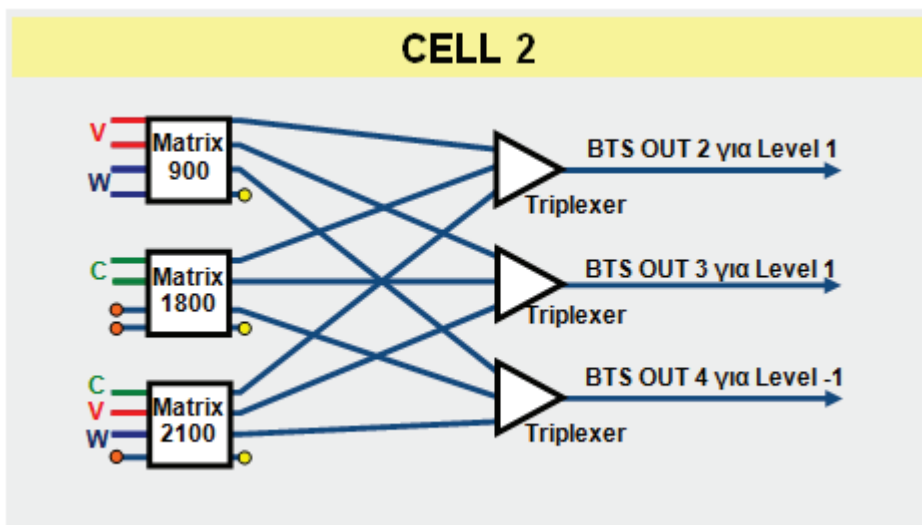
### 4.2.3 Ανάλυση της Μελέτης

Αρχίζοντας από τον χώρο των μηχανημάτων στη ταράτσα του κτιρίου, η μελέτη έχει εκπονηθεί ώστε όλες οι τεχνολογίες (GSM / DCS / UMTS) και των τριών εταιρειών να εξυπηρετηθούν με χρήση κοινού εσωτερικού κεραιοσυστήματος (indoor DAS system).

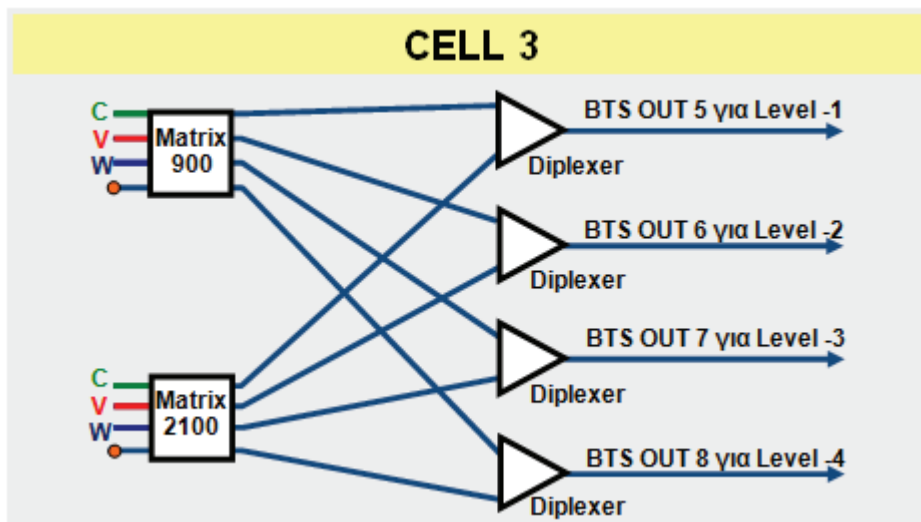
Για τον λόγο αυτό έχει προβλεφθεί και σχεδιαστεί το παρακάτω σύστημα διανομής σήματος, το οποίο θα αναλύσουμε ευθύς αμέσως :



Σχήμα 4.9: Πολυπλεξία στο χώρο μηχανημάτων για το επίπεδο 3



Σχήμα 4.10: Πολυπλεξία στο χώρο μηχανημάτων για το επίπεδο 1 και -1



Σχήμα 4.11: Πολυπλεξία στο χώρο μηχανημάτων για τους χώρους των υπογείων (επίπεδα -1, -2, -3, -4)

Στον αρχικό σχεδιασμό, έχει συμφωνηθεί και από τις τρεις εταιρείες, το σύνολο των εσωτερικών κεραιών κάλυψης να χωριστεί / ομαδοποιηθεί σε τρεις κυψέλες (Cell 1 – Cell2 – Cell 3), τόσο για την 3G όσο και για την 2G τεχνολογία και να υποστηριχτούν από συγκεκριμένο αριθμό πομποδεκτών (TRXs) (DCS) και αντιστοίχων φορέων (carriers) (UMTS), που προκύπτει από τις ανάγκες τόσο σε χωρητικότητα (capacity) όσο και σε εύρος κάλυψης (coverage).

Για να μπορέσουμε να επιτύχουμε την κοινή διανομή σημάτων και των τριών εταιρειών και στις τρεις τεχνολογίες (GSM / DCS / UMTS) μέσω του κοινού κεραιοσυστήματος (καλωδίων RF και κεραιών εσωτερικής κάλυψης) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι παραπάνω υψηλής ισχύος υβριδικοί συζεύκτες (Σχήμα 4.9, 4.10, 4.11), 4-εισόδων / 4-εξόδων (4X4 High Power Hybrid Multicasting Matrix 806–960 MHz / 1710–2200 MHz), οι οποίοι κυρίως χρησιμοποιούνται για να συνδυάσουν στην είσοδο δύο ή περισσότερα σήματα (carriers) τα οποία θα οδηγηθούν σε μία κοινή κεραία ή σύστημα κεραιών (DAS) στην έξοδο.

Οι συγκεκριμένοι Matrix είναι 4 εισόδων – 4 εξόδων, που σημαίνει ότι μπορούν να δεχτούν τέσσερα διαφορετικά σήματα στην είσοδο, τα οποία θα διοχετεύσουν σε τέσσερις διαφορετικές εξόδους προς το κοινό κεραιοσύστημα. Είναι παθητικά στοιχεία που βοηθούν στην σύζευξη σημάτων, παρέχουν διέλευση μεγάλης ισχύος (120 Watts), είναι εξαιρετικά αξιόπιστοι και προσφέρουν ικανοποιητική απομόνωση σημάτων (isolation) (23db) και χαμηλό VSWR.



Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε τα εν λόγω matrix βάσει του αρχικού σχεδιασμού και συγκεκριμένα :

Στο cell 1 (Σχήμα 4.9) χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικούς matrix, ένα για κάθε τεχνολογία (GSM / DCS / UMTS) και οδηγήσαμε τα σήματα των τριών εταιριών, ανάλογα με τον σχεδιασμό και τις συχνότητες που χρησιμοποιούν. Στο Matrix 900Mhz τους παρόχους W και V στις τέσσερις εισόδους, στο Matrix 1800Mhz τον πάροχο C στις δύο εισόδους με ταυτόχρονη χρήση τερματικού φορτίου 50Ohm / 25Watt στις άλλες δύο για αποφυγή επιστρεφόμενης ισχύς με συνέπεια εμφάνισης φαινομένων στάσιμων σημάτων στο σύστημα (VSWR) και στο Matrix 2100 Mhz και τις τρεις εταιρείες στις τρεις εισόδους με ταυτόχρονη χρήση τερματικού φορτίου 50Ohm / 25Watt στην τέταρτη. Αντίστοιχος σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε και στην διάταξη των άλλων δύο κυψελών (Cell 2 – Cell 3).

Σε συνέχεια το συζευγμένο σήμα των τριών εταιριών από τις εξόδους των matrix, οδηγείται σε αντίστοιχους ευρείς (broadband) triplexer / diplexer 900Mhz / 1800Mhz / 210Mhz (ανά περίπτωση) και από εκεί προς το κοινό σύστημα εσωτερικών κεραιών (DAS) ανά όροφο. Να σημειώσουμε ότι οι μη χρησιμοποιούμενες έξοδοι των matrix, αντιστοίχως για τους ίδιους λόγους (αποφυγή διαφυγής ισχύος) τερματίζονται και αυτές με χρήση τερματικού φορτίου 50 Ohm / 75-100Watt (στην έξοδο χρησιμοποιούμε τερματισμούς μεγαλύτερης ισχύος καθώς η ισχύς εκπομπής είναι μεγαλύτερη από την επιστρεφόμενη), με αποτέλεσμα να έχουμε μία απώλεια των 3db ανά σήμα. Στις περιπτώσεις που ο σχεδιασμός απαιτεί και την χρήση των 4 εξόδων , τότε δεν γίνεται χρήση τερματικών φορτίων (termination loads) και η απώλεια των 3db δεν υφίσταται.

Συνεχίζοντας προς το εσωτερικό του κτιρίου και κατά την διάρκεια του λεπτομερούς σχεδιασμού, ο βασικός στόχος είναι να καθοριστεί ο ακριβής τύπος της κεραίας εσωτερικού χώρου και η τοποθεσία ώστε να διασφαλιστεί η επαρκής κάλυψη σε σχέση με τις απαιτήσεις. Επίσης, τα φυσικά χαρακτηριστικά της κεραίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, δεδομένου ότι μπορούν να επηρεάσουν τον σχεδιασμό του συστήματος κεραιών. Στην αγορά υπάρχουν πολλές κεραίες εσωτερικού χώρου με τα κατάλληλα πρότυπα για οποιεσδήποτε καταστάσεις. Αυτές οι κεραίες μπορεί να είναι οροφής ή τοίχου. Οι ομοκατευθυντικές (omni) κεραίες (Εικόνα 4.3) έχουν το χαμηλότερο κέρδος (περίπου 2dBi) αλλά ακτινοβολούν με αζυμούθιο 360 μοιρών. Η omni κεραία επιτρέπει τη συλλογή των σημάτων από όλες τις κατευθύνσεις το οποίο

αντισταθμίζει τις ατέλειες του σήματος, τις ανακλάσεις και το σκεδασμό που υπάρχουν στο εσωτερικό περιβάλλοντα χώρο. Οι κατευθυντικές (panel) κεραίες (Εικόνα 4.3) έχουν μία δέσμη που εστιάζει σε μία κατεύθυνση και το κέρδος της μπορεί να φτάσει τα 7dBi ανάλογα με το εύρος της δέσμης της κεραίας. Μια τέτοια κεραία μπορεί να τοποθετηθεί στη γωνία ενός κτιρίου, παρέχοντας ικανοποιητική κάλυψη σε μια μακριά στενή περιοχή (λ.χ διάδρομος). Οι δικατευθυντικές (bidirectional) κεραίες (Εικόνα 4.3) έχουν δύο εστιασμένες δέσμες σε κάθε πλευρά, αλλά με μειωμένο κατευθυντικό κέρδος περί των 5dBi. Τα μεγάλα κτίρια με πολλούς ορόφους ενδέχεται να χρειάζονται μία ή περισσότερες κεραίες σε κάθε όροφο, διότι ανάμεσα στα πατώματα και μεταξύ των τοίχων η διείσδυση πρέπει να είναι ικανοποιητική και επίσης άλλα στοιχεία όπως εξωτερικές παρεμβολές μπορεί να είναι αυξημένα.

Συμπερασματικά, το απαιτούμενο μήκος καλωδίου αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό των οροφών του κτιρίου. Ο αριθμός των διαχωριστών ισχύος (splitters) και των κατευθυντικών συζευκτών (couplers) αυξάνονται σημαντικά επίσης. Ωστόσο, όταν πολλές κυψέλες πρέπει να χρησιμοποιηθούν, συνήθως για λόγους χωρητικότητας, είναι πολύ πιο δύσκολο να ελεγχθεί η επικάλυψη και η μεταπομπή σε αυτά τα περιβάλλοντα. Οι κατευθυντικές κεραίες και η έξυπνη τοποθέτησή τους μπορεί να βοηθήσουν στην αύξηση της απομόνωσης των εκπομπών διαφορετικών κεραιών.



Εικόνα 4.3: Κατευθυντική (Panel), ομοκατευθυντική (Omni) και δικατευθυντική κεραία (Bidirectional)

Η τοποθέτηση μιας κεραίας μέσα σε ένα κτίριο δεν πρέπει να διασφαλίζει μόνο την εσωτερική κάλυψη αλλά και να χειρίζεται τις μεταπομπές (HO) μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών σταθμών βάσης. Βεβαίως, όταν ο ίδιος φορέας συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για εσωτερικά και εξωτερικά δίκτυα, η απομόνωση μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών κυψελών αντίστοιχα πρέπει να διασφαλίζεται, καθώς και να μειώνονται οι συνεχείς μεταπομπές μεταξύ αυτών όπως και οι παρεμβολές.

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προηγήθηκαν και μελετώντας τις κατόψεις του εμπορικού κέντρου γίνεται αντιληπτό πως ο κάθε χώρος του χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης. Σε χώρους χωρίς πολλά εμπόδια, όπως τοίχους ή χωρίσματα, εξυπηρετούν Omni κεραίες. Τέτοιοι χώροι είναι οι χώροι στάθμευσης (parking) ή τα αίθρια. Αντιθέτως όμως, στους διαδρόμους εισόδου / εξόδου των αυτοκινήτων των χώρων στάθμευσης επιλέγονται Panel κεραίες για λόγους βελτιστοποίησης της μεταπομπής από το εξωτερικό δίκτυο στο εσωτερικό.

Συμπερασματικά, τρεις είναι οι τύποι των κεραιών που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη. Παρακάτω παρατίθενται τα χαρακτηριστικά τους (Πίνακας: 4.6, 4.7, 4.8):

- Panel

<b>VVPol Indoor 806–960/1710–2700 C 90° 7dBi</b>	
Type No.	<b>800 10465</b>
Frequency range	806 – 960 MHz / 1710 – 2700 MHz
Polarization	Vertical
Gain	Approx. 7 dBi
Half-power beam width	Horizontal: Approx. 90°
Impedance	50 Ω
VSWR	806 – 960 MHz: < 2.0 1710 – 2700 MHz: < 2.0
Max. power	50 W (at 50 °C ambient temperature)
Input	Cable RG 223/CU of 1m length, white, with N female connector
Protection class	IP 30
Weight	500 g
Packing size	363 x 152 x 62 mm
Height/width/depth	231 / 140 / 50 mm

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά Panel κεραίας μοντέλου 80010465

- Omni

**VPol Indoor 806–960/1425–3800/5150–6000 360° 2dBi**

Type No.	<b>800 10249</b>
Frequency range	806 – 960 MHz 1425 – 3800 MHz 5150 – 6000 MHz
Polarization	Vertical
Gain	≈ 2 dBi
Impedance	50 Ω
VSWR	806 – 960 MHz: < 1.5 1425 – 1710 MHz: < 2.0 1710 – 2200 MHz: < 1.4 2200 – 3800 MHz: < 1.6 5150 – 6000 MHz: < 2.0
Max. power	50 W (at 50 °C ambient temperature)
Input	1 x N female
Protection class	IP 30
Weight	466 g
Packing size	277 mm x 277 mm x 169 mm
Diameter	258 mm
Height	94 mm (without connector)

Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικά Omni κεραίας μοντέλου 80010249

- Bidirectional

**VPol BiDir 806–960/1710–2170 65° 5dBi**

Type No.	<b>738 445</b>	<b>738 446</b>
Input	1 x 7-16 female	1 x N female
Frequency range	806 – 960 MHz, 1710 – 2170 MHz	
VSWR	< 1.7 (806 – 824 MHz) < 1.5 (824 – 960 / 1710 – 2170 MHz)	
Gain	806 – 960 MHz: 5 dBi 1710 – 1880 MHz: 5.5 dBi 1880 – 2170 MHz: 6.5 dBi	
Impedance	50 Ω	
Polarization	Vertical	
Max. power (total)	200 W (at 50 °C ambient temperature)	
Weight	0.8 kg	
Wind load	Frontal: 25 N (at 150 km/h) Lateral: 65 N (at 150 km/h) Rearside: 35 N (at 150 km/h)	
Max. wind velocity	200 km/h	
Packing size	422 x 212 x 95 mm	
Height/width/depth	312 / 55 / 188 mm	

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά Bidirectional κεραίας μοντέλου 738445 / 738446

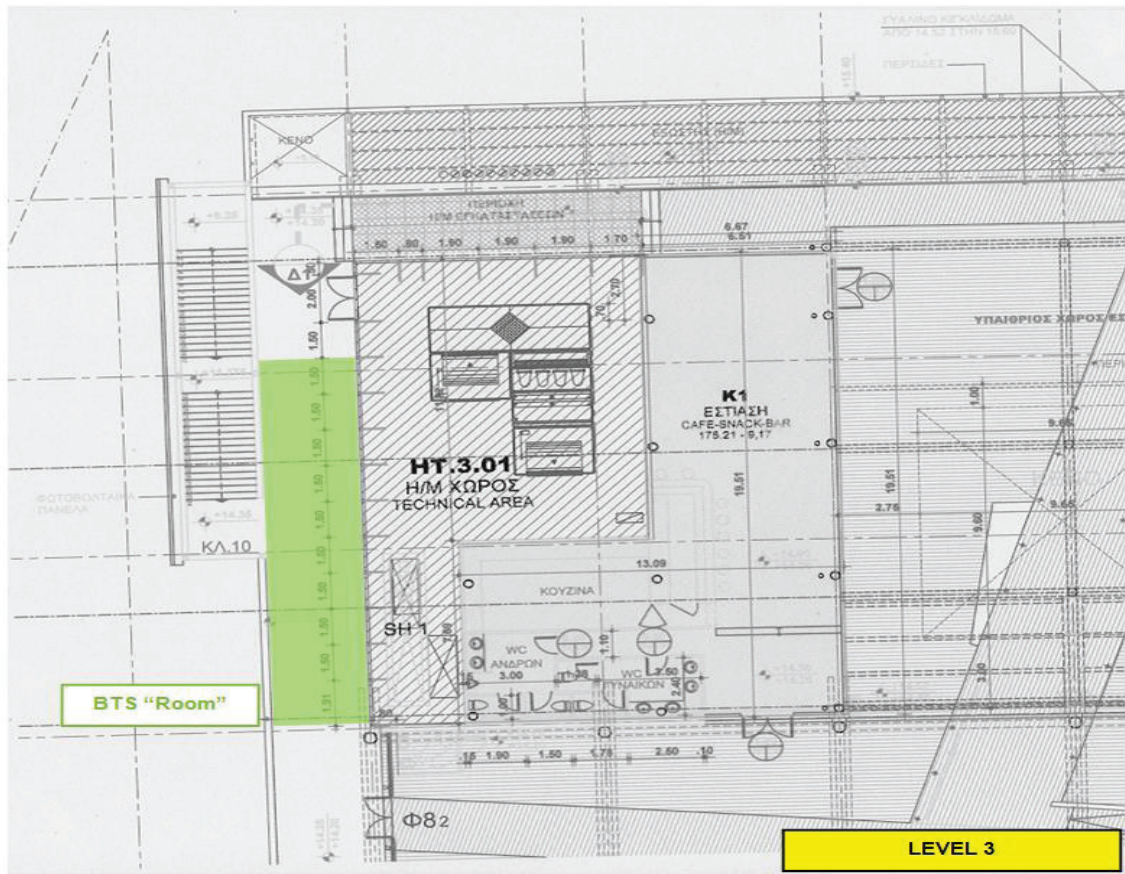
Στη συνέχεια παρατίθεται αυτούσια η τελική Μελέτη Ραδιοκάλυψης, όπως αυτή κατατέθηκε στις Τεχνικές Υπηρεσίες του Εμπορικού Κέντρου προς έγκριση. Στα σχέδια (κατόψεις) όλων των υπέργειων και υπόγειων ορόφων του εμπορικού κέντρου σημειώνονται οι αρχικές εκτιμήσεις των θέσεων των κεραιών εξυπηρέτησης με κόκκινο χρώμα. Η αντιστοιχία των συμβόλων που χρησιμοποιούνται είναι η παρακάτω (Πίνακας 4.9):

Σύμβολο	Συντομογραφία	Τύπος
	A	Panel
	A	Omni
	A	Bidirectional
	S	Splitter

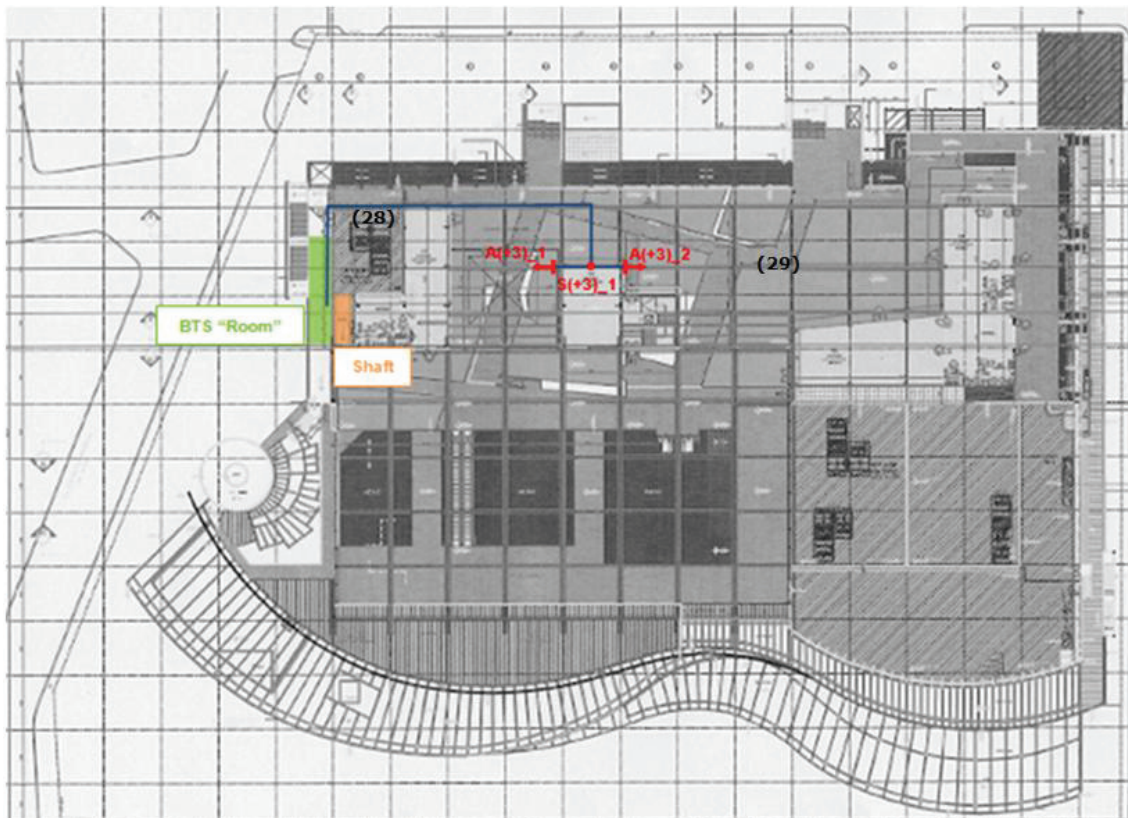
Πίνακας 4.9: Υπόμνημα κατόψεων

Η επιλογή θέσεων στο ανώτερο επίπεδο του εμπορικού κέντρου για την ακριβή τοποθέτηση των κατόπτρων που είναι αναγκαία για την διασύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο και των BTS μηχανημάτων (BTS Room) γίνεται διακριτή με πράσινο χρώμα. Επίσης, σχεδιαστικά διαφέρονται οι καλωδιοδιαδρομές που ξεκινώντας από το BTS μέσω του εσωτερικού shaft που διαθέτει το κτίριο καταλήγουν στους χώρους βελτίωσης της ραδιοκάλυψης, με μπλε χρώμα.



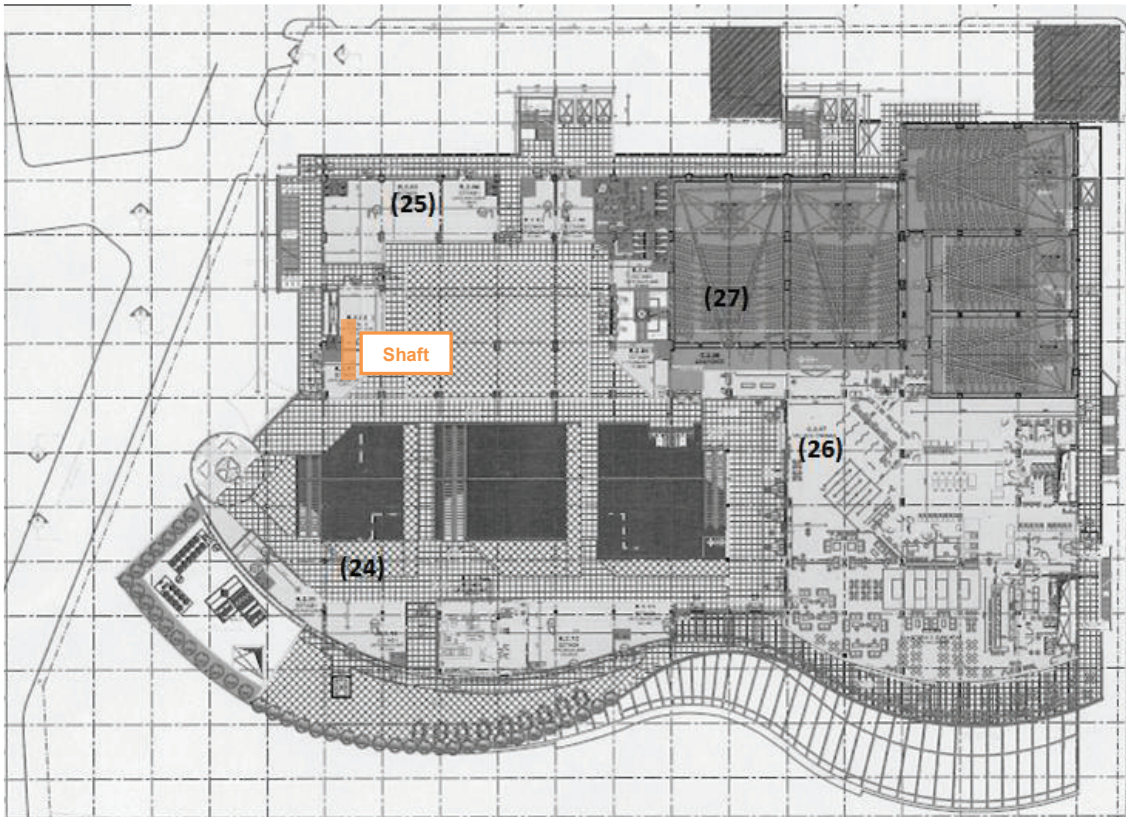


Εικόνα 4.4: Κάτοψη δώματος που θα φιλοξενήσει τα μηχανήματα

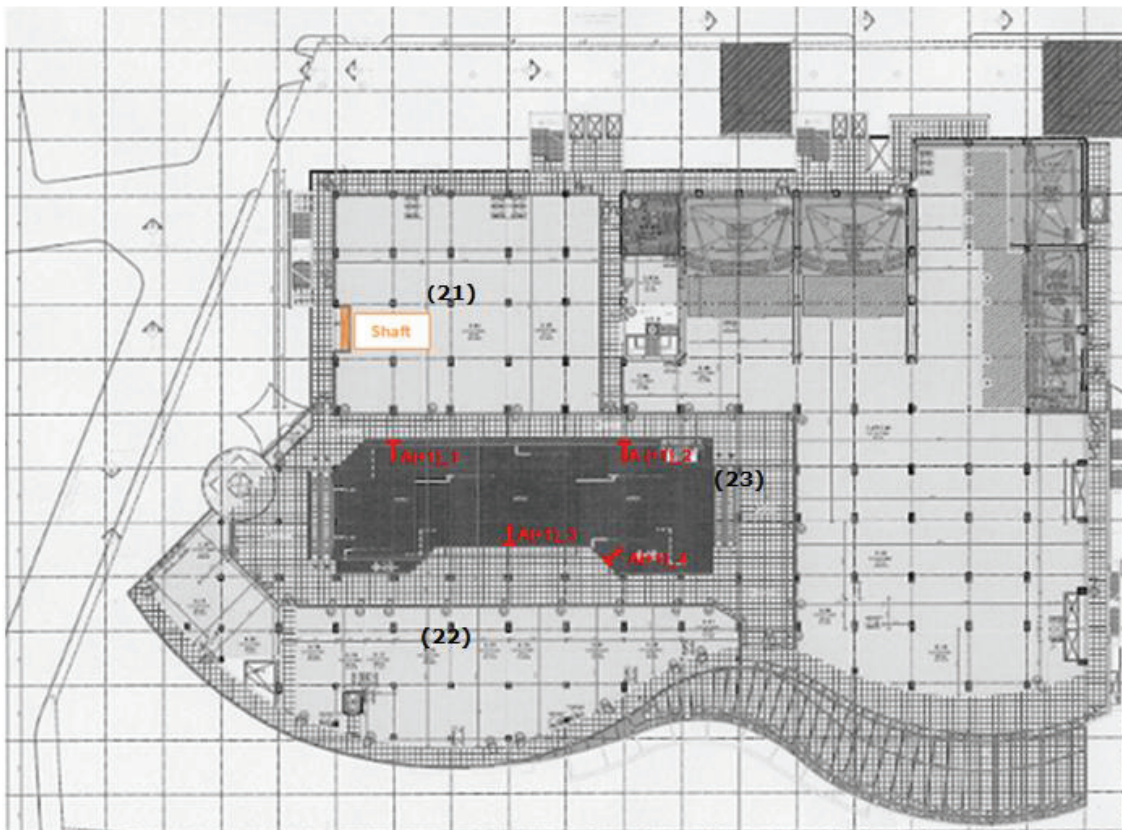


Εικόνα 4.5: Κάτοψη επιπέδου 3 (Roof Garden)





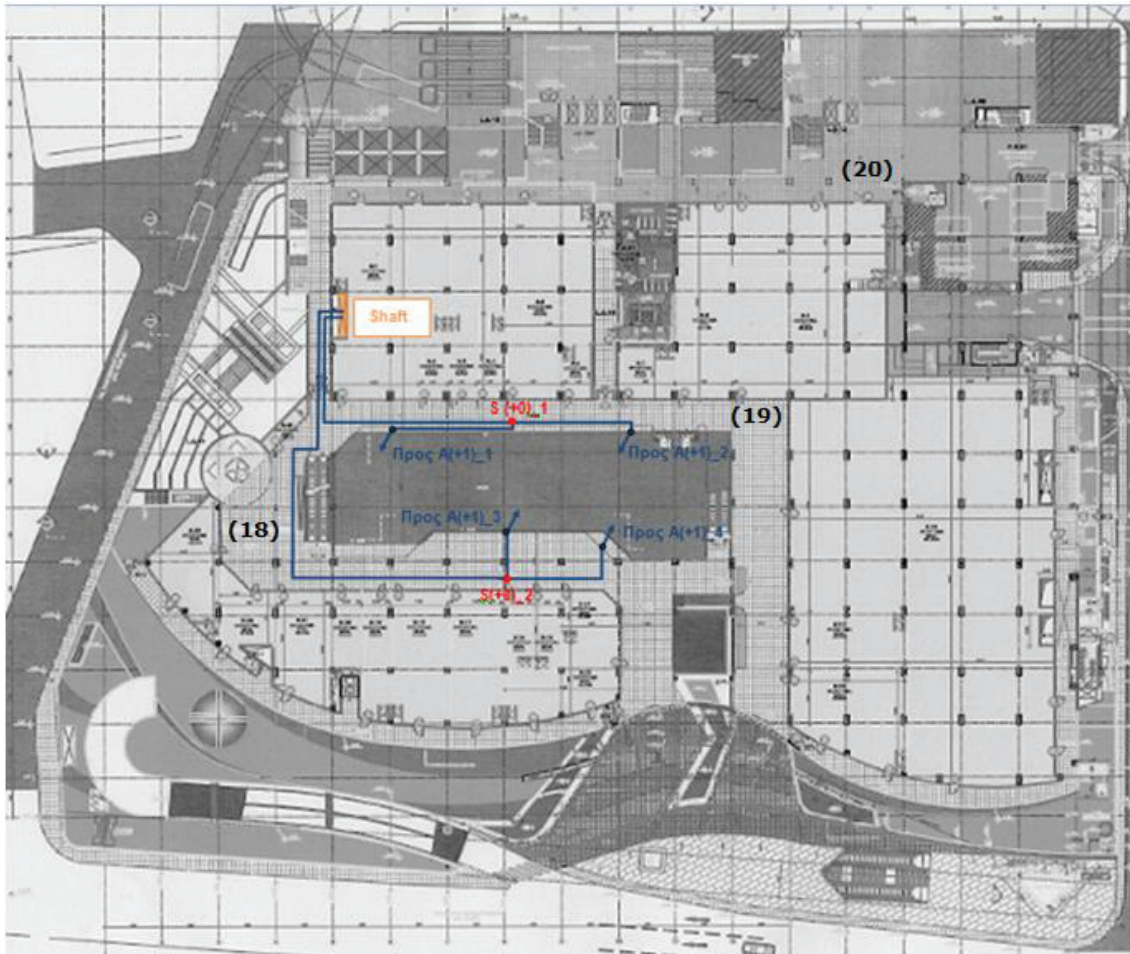
Εικόνα 4.6: Κάτοψη επιπέδου 2



Εικόνα 4.7: Κάτοψη επιπέδου 1

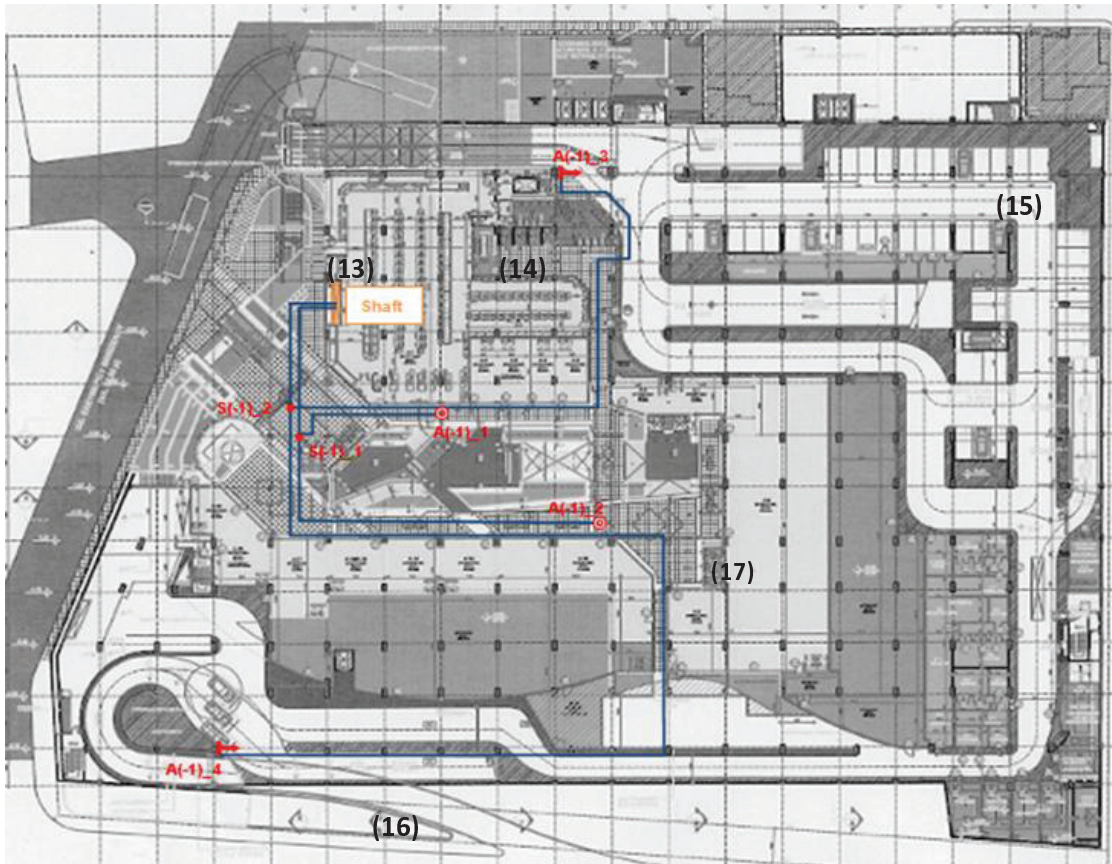


Οι κεραίες A(+1)\_1, A(+1)\_2, A(+1)\_3 και A(+1)\_4 θα τοποθετηθούν επίτοιχα, στον Εξώστη του Επιπέδου 1 και στα σημεία που φαίνονται στην κάτοψη (Εικόνα 4.7). Η όδευση των κυματοδηγών προς τις κεραίες θα γίνει μέσα από τις ψευδοροφές του Επιπέδου 0 όπως φαίνεται στην επόμενη κάτοψη (Εικόνα 4.8).

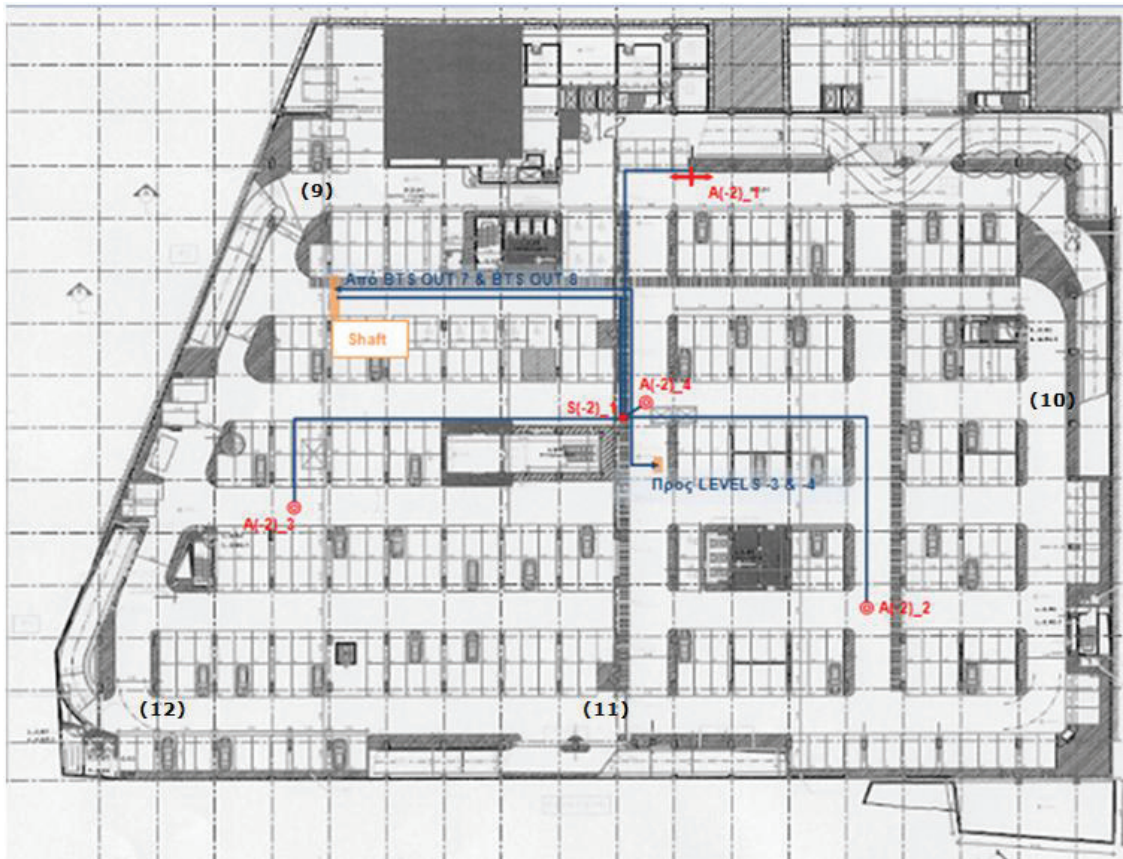


Εικόνα 4.8: Κάτοψη επιπέδου 0



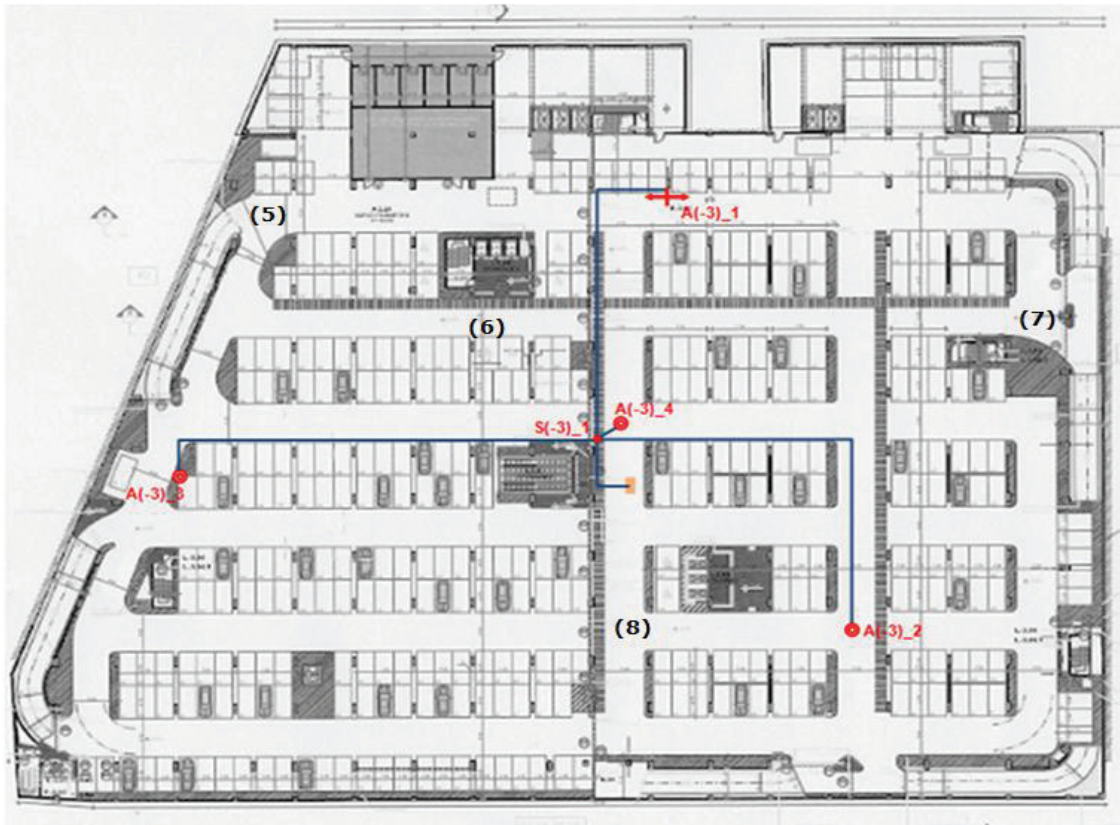


Εικόνα 4.9: Κάτοψη Επιπέδου -1

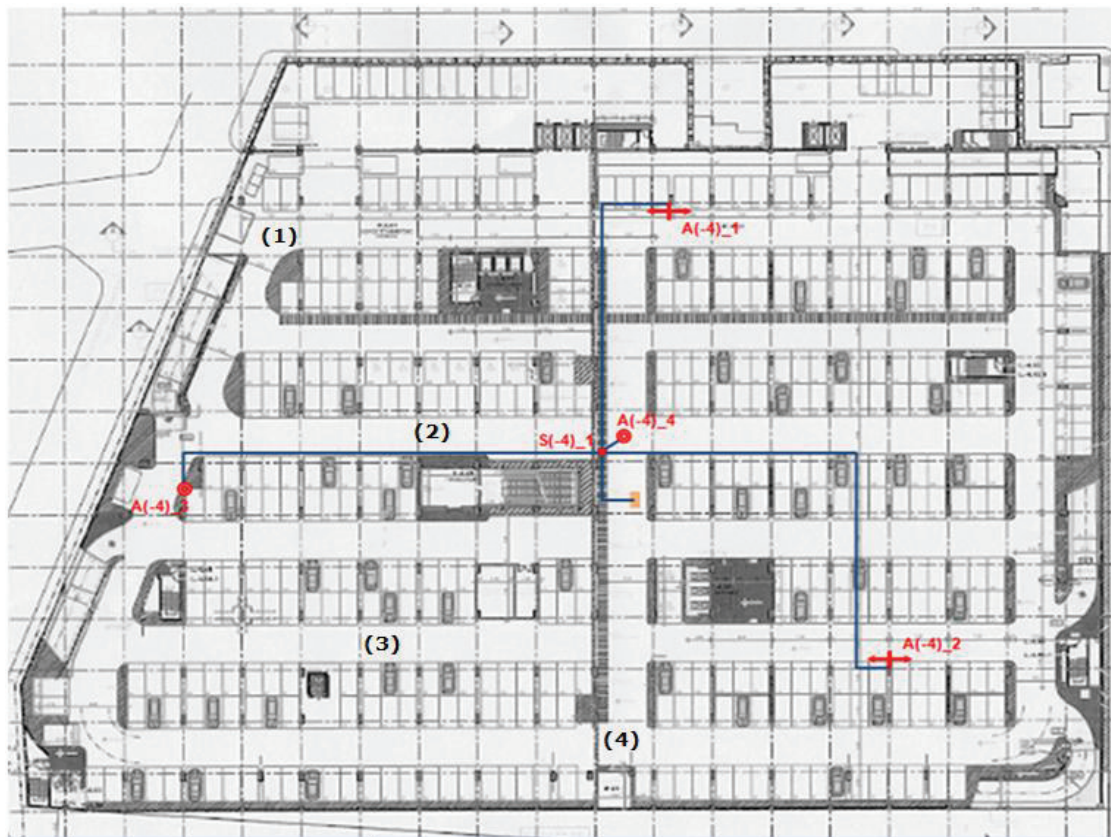


Εικόνα 4.10: Κάτοψη Επιπέδου -2





Εικόνα 4.11 : Κάτοψη Επιπέδου -3

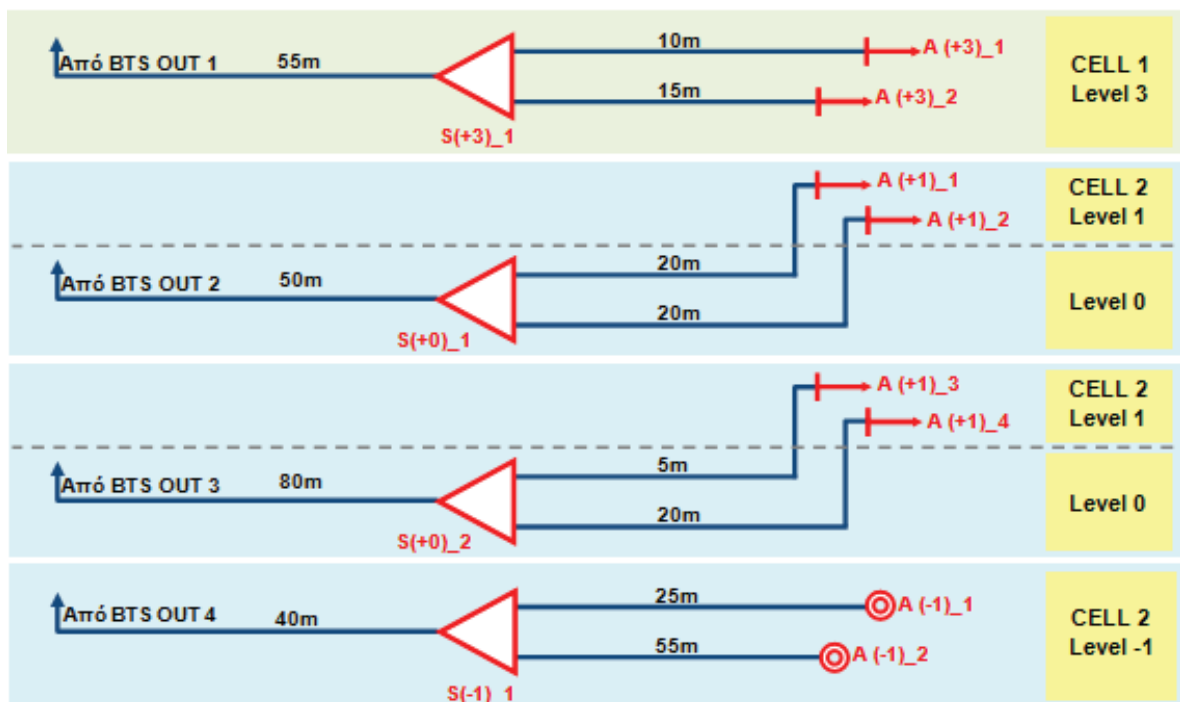


Εικόνα 4.12: Κάτοψη Επιπέδου -4

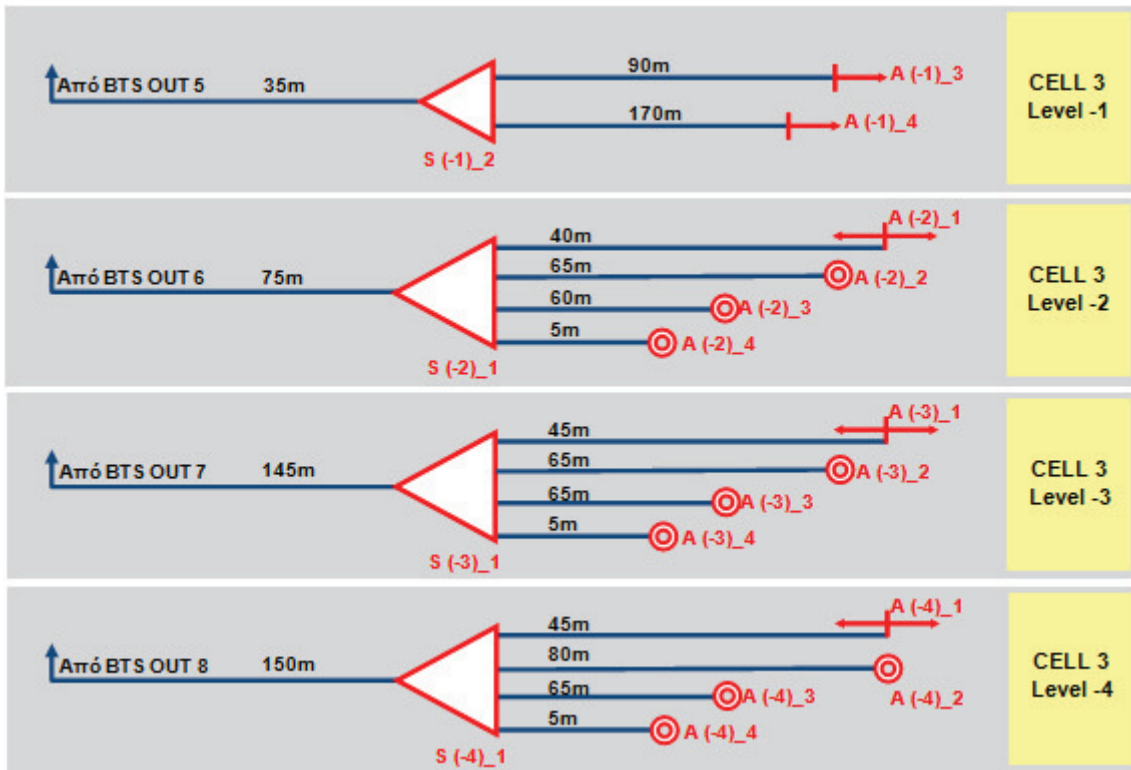
Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι οι αρχικές μελέτες είναι σημαντικές γιατί μπορούν να περιορίσουν τις επιλογές και να καθορίσουν την πιο κατάλληλη λύση για το σύστημα κεραιών που θα τοποθετηθεί εντός του χώρου.

Παράλληλα με την εκπόνηση της Μελέτης ετοιμάστηκαν και οι ακόλουθοι πίνακες που αφορούν αντίστοιχα :

- Συγκεντρωτικός πίνακας που αποτυπώνει τα εκτιμώμενα μήκη κυματοδηγών, τα προτεινόμενα παθητικά υλικά (κεραίες, combiners, tappers, splitters) την τελική λύση διασύνδεσης αυτών, τον διαχωρισμό των κυψελών και την ονοματολογία που θα ακολουθηθεί. (Σχήμα 4.12)
- Συγκεντρωτικός πίνακας που βάσει συνθηκών θα παρέχει τα εκτιμώμενα επίπεδα κάλυψης σε συνάρτηση με τις απώλειες που εισάγονται στο σύστημα από τα παθητικά μέρη (κυματοδηγοί, splitter, tapper, combiner) και βάσει των χαρακτηριστικών των εσωτερικών κεραιών ( Πίνακας 4.10 )



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Σχήμα 4.12: Εκτιμώμενα μήκη κυματοδηγών και διαχωρισμός κυψελών

Antenna	Feeder	900 MHz 7/8 Feeder Loss/m	900 MHz 7/8 Feeder Total Loss	1800 MHz 7/8 Feeder Loss/m	1800 MHz 7/8 Feeder Total Loss	2100 MHz 7/8 Feeder Loss/m	2100 MHz 7/8 Feeder Total Loss	BTS "room" Pout	Splitter Loss	Tapper Loss	Connector Loss	900 MHz Antenna Input Power	1800 MHz Antenna Input Power	2100 MHz Antenna Input Power
(A+3) 1	65	0,037	2,41	0,055	3,58	0,062	4,03	-9	3	0	2	-16	-18	-18
(A+3) 2	70	0,037	2,59	0,055	3,85	0,062	4,34	-9	3	0	2	-17	-18	-18
(A+1) 1	70	0,037	2,59	0,055	3,85	0,062	4,34	-9	3	0	2	-17	-18	-18
(A+1) 2	70	0,037	2,59	0,055	3,85	0,062	4,34	-9	3	0	2	-17	-18	-18
(A+1) 3	85	0,037	3,15	0,055	4,68	0,062	5,27	-9	3	0	2	-17	-19	-19
(A+1) 4	100	0,037	3,70	0,055	5,50	0,062	6,20	-9	3	0	2	-18	-20	-20
(A-1) 1	65	0,037	2,41	0,055	3,58	0,062	4,03	-9	3	0	2	-16	-18	-18
(A-1) 2	95	0,037	3,52	0,055	5,23	0,062	5,89	-9	3	0	2	-18	-19	-20
(A-1) 3	125	0,037	4,63	0,055	6,88	0,062	7,75	-9	3	0	2	-19	-21	-22
(A-1) 4	205	0,037	7,59	0,055	11,28	0,062	12,71	-9	3	0	2	-22	-25	-27
(A-2) 1	115	0,037	4,26	0,055	6,33	0,062	7,13	-9	6	0	2	-21	-23	-24
(A-2) 2	140	0,037	5,18	0,055	7,70	0,062	8,68	-9	6	0	2	-22	-25	-26
(A-2) 3	135	0,037	5,00	0,055	7,43	0,062	8,37	-9	6	0	2	-22	-24	-25
(A-2) 4	80	0,037	2,96	0,055	4,40	0,062	4,96	-9	6	0	2	-20	-21	-22
(A-3) 1	190	0,037	7,03	0,055	10,45	0,062	11,78	-9	6	0	2	-24	-27	-29
(A-3) 2	210	0,037	7,77	0,055	11,55	0,062	13,02	-9	6	0	2	-25	-29	-30
(A-3) 3	210	0,037	7,77	0,055	11,55	0,062	13,02	-9	6	0	2	-25	-29	-30
(A-3) 4	150	0,037	5,55	0,055	8,25	0,062	9,30	-9	6	0	2	-23	-25	-26
(A-4) 1	195	0,037	7,22	0,055	10,73	0,062	12,09	-9	6	0	2	-24	-28	-29
(A-4) 2	230	0,037	8,51	0,055	12,65	0,062	14,26	-9	6	0	2	-26	-30	-31
(A-4) 3	215	0,037	7,96	0,055	11,83	0,062	13,33	-9	6	0	2	-25	-29	-30
(A-4) 4	155	0,037	5,74	0,055	8,53	0,062	9,61	-9	6	0	2	-23	-26	-27

Πίνακας 4.10: Εκτιμώμενα επίπεδα κάλυψης σε σχέση με τα μήκη των κυματοδηγών.

### **4.3 Υλοποίηση σχεδιασμού**

Μετά την έγκριση της Μελέτης από την Τεχνική Υπηρεσία του Εμπορικού, το επόμενο βήμα αφορά την τελική σειρά κατοπεύσεων των Κατασκευαστικών Τμημάτων των τριών παρόχων σε συνεργασία με την κοινή εργολαβική εταιρεία που θα εκπονήσει την υλοποίηση του έργου για την οριστικοποίηση της υλοποίησης.

Σε αυτή την σειρά των κατοπεύσεων οριστικοποιήθηκαν τα ακόλουθα :

- Τελική θέση μηχανημάτων – κατόπτρων και τρόπος έδρασης αυτών
- Τελική υποδομή για την ηλεκτροδότηση του εξοπλισμού
- Οριστικοποίηση των διαθέσιμων οδεύσεων και τελική , λεπτομερής επιμέτρηση των κυματοδηγών
- Οριστικοποίηση τελικών θέσεων των παθητικών στοιχείων (splitters, tappers) καθώς και των εσωτερικών κεραιών βάσει των όποιων ιδιομορφιών των χώρων του Εμπορικού καθώς και οι τρόποι στήριξης αυτών ώστε να συμφωνούν με την όλη αισθητική κατασκευή του χώρου.

Οι επιμετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, αλλά τα τελικά μέτρα θα επιβεβαιωθούν κατά την διάρκεια της εγκατάστασης τους καθώς υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν ελαφρές τροποποιήσεις από ενδεχόμενα προβλήματα στην υλοποίηση.

Οι κατακόρυφες οδεύσεις των κυματοδηγών ανά τους ορόφους θα πραγματοποιηθούν με χρήση των κατακόρυφων σχαρών όδευσης στα ηλεκτρολογικά shaft, ενώ στα οριζόντια τμήματα ανά όροφο θα χρησιμοποιηθούν πάλι οι υφιστάμενες υποδομές σχαρών, όπου αυτές υπάρχουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μέχρι το σημείο στήριξης των εσωτερικών κεραιών. Οι ακριβείς οδεύσεις θα οριστικοποιηθούν κατά την φάση της εγκατάστασης όταν θα ανοιχτούν όλες οι ψευδοροφές και θα υπάρχει πρόσβαση σε όλες τις υποδομές.

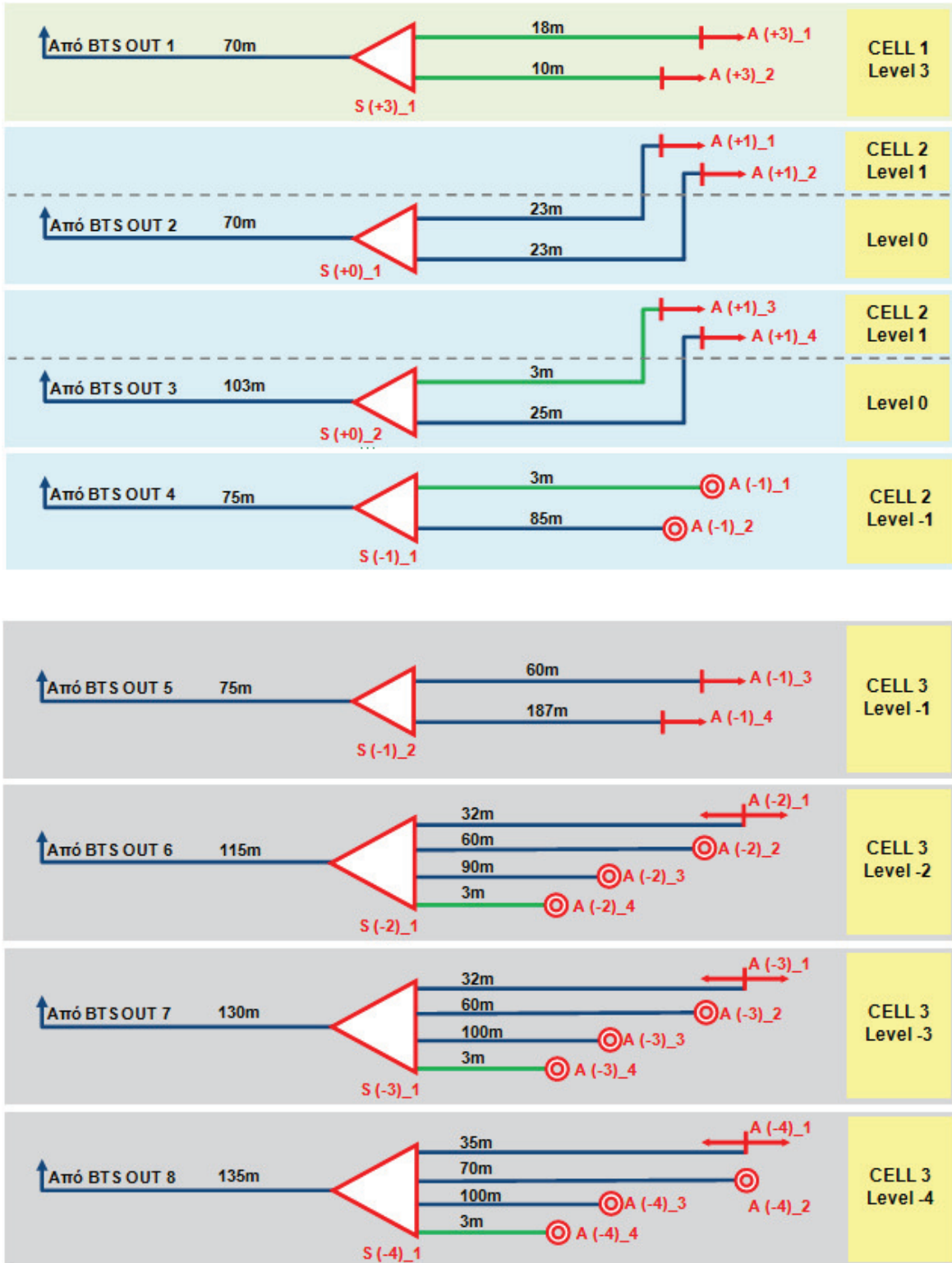
Μετά από την επιλύση και των τελευταίων ανοικτών ζητημάτων και την εξασφάλιση της σύμφωνης γνώμης του Εμπορικού Κέντρου, το πλάνο υλοποίησης μπαίνει στο τελικό στάδιο και με την ολοκλήρωση των εργασιών παρουσιάζονται τα



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

τελικά μήκη των κυματοδηγών που χρησιμοποιήθηκαν και οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον αρχικό σχεδιασμό.

Αναλυτικά χρειάστηκαν:



Σχήμα 4.13: Τελικά μήκη κυματοδηγών και διαχωρισμός κυβελών.

Οι αλλαγές σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό είναι οι ακόλουθες:

- Στο επίπεδο 3 για το Cell 1 (Εικόνα 4.5), ο S(+3)\_1 τοποθετήθηκε στην επόμενη κολώνα από ότι φαίνεται στην κάτοψη του σχεδίου, στην ευθεία της A(+3)\_2.
- Στο επίπεδο -1 για τα Cell 2 και Cell 3 (Εικόνα 4.9), οι S(-1)\_1 και S(-1)\_2 αντίστοιχα, τοποθετήθηκαν έξω από το πολυκατάστημα, δίπλα από την κεραία A(-1)\_1. Το shaft έχει πρόσβαση μέσα από το κατάστημα και ενώ η διέλευση των καλωδίων έγινε από εκεί, τα παθητικά στοιχεία, όπως τα Splitter προτιμάται να εγκαθίστανται σε εύκολα προσβάσιμα σημεία.
- Από το επίπεδο -2 προς το επίπεδο -3 (Εικόνα 4.10) (BTS OUT 7 προς S(-3)\_1), λόγω του περιορισμένου ανοίγματος της υφιστάμενης οπής μέσω της οποίας περνούν τα ηλεκτρολογικά καλώδια, τοποθετήθηκε κυματοδηγός 5m, διατομής 1/2 ο οποίος ενώνει τα δύο κομμάτια του κυματοδηγού 7/8.
- Από το επίπεδο -2 προς το επίπεδο -4 (Εικόνα 4.10) (BTS OUT 8 προς S(-4)\_1), λόγω του περιορισμένου ανοίγματος της υφιστάμενης οπής μέσω της οποίας περνούν τα ηλεκτρολογικά καλώδια, τοποθετήθηκε κυματοδηγός 10m διατομής 1/2 ο οποίος ενώνει τα δύο κομμάτια του κυματοδηγού 7/8.

<i>Τύπος Κυματοδηγού</i>	<i>Μήκος (m)</i>
1/2	1740
7/8	43
1/2 super flex	15

Πίνακας 4.11: Τελικά συνολικά μήκη κυματοδηγών

Βάσει των τελικών μηκών (Πίνακας 4.11) των κυματοδηγών ο αρχικός πίνακας των εκτιμώμενων επιπέδων κάλυψης του σχεδιασμού οριστικοποιείται στην παρακάτω τελική μορφή (Πίνακας 4.12):

Antenna	Feeder	900 MHz 7/8 Feeder Loss/m	900 MHz 7/8 Feeder Total Loss	1800 MHz 7/8 Feeder Loss/m	1800 MHz 7/8 Feeder Total Loss	2100 MHz 7/8 Feeder Loss/m	2100 MHz 7/8 Feeder Total Loss	BTS "room" Pout	Splitter Loss	Tapper Loss	Connector Loss	900 MHz Antenna Input Power	1800 MHz Antenna Input Power	2100 MHz Antenna Input Power
(A+3) 1	88	0,037	3,26	0,055	4,84	0,062	5,46	-9	3	0	2	-17	-19	-19
(A+3) 2	80	0,037	2,96	0,055	4,40	0,062	4,96	-9	3	0	2	-17	-18	-19
(A+1) 1	93	0,037	3,44	0,055	5,12	0,062	5,77	-9	3	0	2	-17	-19	-20
(A+1) 2	93	0,037	3,44	0,055	5,12	0,062	5,77	-9	3	0	2	-17	-19	-20
(A+1) 3	106	0,037	3,92	0,055	5,83	0,062	6,57	-9	3	0	2	-18	-20	-21
(A+1) 4	128	0,037	4,74	0,055	7,04	0,062	7,94	-9	3	0	2	-19	-21	-22
(A-1) 1	78	0,037	2,89	0,055	4,29	0,062	4,84	-9	3	0	2	-17	-18	-19
(A-1) 2	160	0,037	5,92	0,055	8,80	0,062	9,92	-9	3	0	2	-20	-23	-24
(A-1) 3	135	0,037	5,00	0,055	7,43	0,062	8,37	-9	3	0	2	-19	-21	-22
(A-1) 4	262	0,037	9,69	0,055	14,41	0,062	16,24	-9	3	0	2	-24	-28	-30
(A-2) 1	147	0,037	5,44	0,055	8,09	0,062	9,11	-9	6	0	2	-22	-25	-26
(A-2) 2	175	0,037	6,48	0,055	9,63	0,062	10,85	-9	6	0	2	-23	-27	-28
(A-2) 3	205	0,037	7,59	0,055	11,28	0,062	12,71	-9	6	0	2	-25	-28	-30
(A-2) 4	118	0,037	4,37	0,055	6,49	0,062	7,32	-9	6	0	2	-21	-23	-24
(A-3) 1	162	0,037	5,99	0,055	8,91	0,062	10,04	-9	6	0	2	-23	-26	-27
(A-3) 2	190	0,037	7,03	0,055	10,45	0,062	11,78	-9	6	0	2	-24	-27	-29
(A-3) 3	230	0,037	8,51	0,055	12,65	0,062	14,26	-9	6	0	2	-26	-30	-31
(A-3) 4	133	0,037	4,92	0,055	7,32	0,062	8,25	-9	6	0	2	-22	-24	-25
(A-4) 1	170	0,037	6,29	0,055	9,35	0,062	10,54	-9	6	0	2	-23	-26	-28
(A-4) 2	205	0,037	7,59	0,055	11,28	0,062	12,71	-9	6	0	2	-25	-28	-30
(A-4) 3	235	0,037	8,70	0,055	12,93	0,062	14,57	-9	6	0	2	-26	-30	-32
(A-4) 4	138	0,037	5,11	0,055	7,59	0,062	8,56	-9	6	0	2	-22	-25	-26

Πίνακας 4.12: Τελικά εκτιμώμενα επίπεδα κάλυψης σε σχέση με τα τελικά μήκη κυματοδηγών

#### 4.4 Έλεγχος – Απόδειξη βελτίωσης κάλυψης

Μετά την ενεργοποίηση των Σταθμών Βάσης, τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας αυτών μέσω την απομακρυσμένης πλατφόρμας επίβλεψης (για αποτύπωση τυχόν σηματοδοσιών-alarm) και της λήψης στατιστικών στοιχείων για την ποιότητα αυτών, καθώς και τον φυσικό έλεγχο της Εγκατάστασης από το Τμήμα Παραλαβών, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη για μέτρηση των τελικών λήψεων στους χώρους κάλυψης ώστε να γίνει η τελική αντιπαραβολή με τις αρχικές εκτιμώμενες και έτσι να αποτυπωθούν και να εξεταστούν οι όποιες διαφοροποιήσεις.

Παρακάτω παρατίθεται ο τελικός πίνακας (Πίνακας 4.13) μετρήσεων στάθμης κάλυψης. Τα σημεία μετρήσεων αποτυπώνονται στις κατόψεις (Εικόνα 4.5 έως 4.12):



ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	RX LEVEL 2G AFTER INDOOR DAS (dBm)		RSCP LEVEL 3G AFTER INDOOR DAS		
	CHANNEL	LEVEL	PSC	RSSI	EC/NO
1	1021	-58	24	-63	-2
2	1021	-64	24	-69	-2
3	1021	-66	24	-70	-3
4	1021	-60	24	-65	-2
5	1021	-48	24	-55	-2
6	1021	-67	24	-69	-3
7	1021	-70	24	-75	-2
8	1021	-50	24	-56	-2
9	1021	-49	24	-58	-3
10	1021	-56	24	-59	-2
11	1021	-63	24	-69	-2
12	1021	-67	24	-72	-2
13	764	-68	24	-73	-2
14	764	-65	24	-71	-3
15	1021	-67	24	-76	-3
16	1021	-56	24	-65	-2
17	764	-75	24	-81	-2
18	764	-60	24	-66	-4

19	764	-58	24	-63	-3
20	764	-69	24	-75	-3
21	764	-62	24	-68	-4
22	764	-68	24	-75	-4
23	764	-58	24	-66	-3
24	764	-68	24	-78	-5
25	791	-61	24	-69	-4
26	764	-62	24	-66	-3
27	791	-70	24	-78	-4
28	791	-63	24	-71	-3
29	764	-69	24	-74	-4

Πίνακας 4.13: Στάθμη λήψης σήματος μετά την υλοποίηση του έργου

Συγκρίνοντας τις αρχικές και τελικές μετρήσεις παρατηρούμε τα εξής:

- Στα επίπεδα -4, -3, -2, -1 (σημεία μετρήσεων 1 έως 17 / Εικόνα 4.9 έως 4.12), χώροι στους οποίους δεν υπήρχε καθόλου κάλυψη έχει επιτευχθεί η πλήρης παροχή υπηρεσιών με απόλυτα ικανοποιητική ποιότητα δικτύου.
- Στα επίπεδα 0, 1, 2 (σημεία μετρήσεων 18 έως 27 / Εικόνα 4.6 έως 4.8), η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην ισχύ του σήματος κάλυψης είναι της τάξεως των 25 dB κατά μέσο όρο για την τεχνολογία του 2G και 20 dB για το 3G. Επίσης, όσον αφορά την τεχνολογία 3G, αισθητή είναι και η βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης κάλυψης (δείκτης Ec/No).
- Στο επίπεδο 3 – Roof Garden (σημεία μετρήσεων 28 και 29 / Εικόνα 4.5), η απαίτηση βελτίωσης δεν αφορούσε τόσο την ισχύ του σήματος όσο την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η βελτίωση που επιτεύχθει είναι εμφανής συγκρίνοντας τις αρχικές και τελικές τιμές του σηματοθορυβικού λόγου (δείκτης Ec/No).

#### **4.5 Παρουσίαση υλοποίησης**

Μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου της σωστής λειτουργίας του εσωτερικού κεραιοσυστήματος, κατατίθεται ο τελικός φάκελος από την εργολήπτρια εταιρεία στους τρεις παρόχους και στην διεύθυνση του Εμπορικού Κέντρου, που περιλαμβάνει τις τελικές φωτογραφίες εγκατάστασης, μετρήσεις ποιότητας, σχέδια.

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται παρακάτω φωτογραφίες από την εγκατάσταση.



Εικόνα 4.13: BTS Room - Θέση μηχανημάτων και κατόπτρων στο δάμα του κτιρίου



Εικόνα 4.14: Συνδεσμολογία παθητικών στοιχείων.



Εικόνα 4.15: Omni κεραία στηριζόμενη από ψευδοροφή





Εικόνα 4.16: Panel κεραία επίτοιχα στηριζόμενη σε εξώστη



Εικόνα 4.17: Ομπι κεραία στηριζόμενη με ντίζα από υφιστάμενη ηλεκτρολογική σχάρα



Εικόνα 4.18: Bidirectional κεραία

## Ακρωνύμια

ACIR - Adjacent Channel Interference Power Ratio

AuC - Authentication Center

BER - Bit Error Rate

BPL - Building Penetration Loss

BSC - Base Station Controller

BSS - Base Station Subsystem

BTS - Base Transceiver Station

CSD - Circuit Switched Data

DAS - Distributed Antenna System

DCS - Digital Cellular System

EDGE - Enhanced Data rate for GSM Environment (or Evolution)

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

FDD - Frequency Division Duplex

FDMA - Frequency Division Multiple Access

GSM - Global system for Mobile Communications

HLR - Home Location Register

HO - Handover

HSCSD - High Speed Circuit Switched Data

HSPA - High Speed Packet Access

IMD - Intermodulation Distortion

IMEI - International Mobile Station Equipment Identity

LOS - Line-of-Sight

LTE - Long term evolution

MALP - Maximum Allowable Path Loss

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

MSC - Mobile Switching Center

NSS - Network and Switching Sub-system

OBS - Obstructed (opposite of Line of Sight)

OSI - Open Systems Interconnection

PIM - Passive Inter-Modulation

PL - Path Loss

QoS - Quality of Service

SNR - Signal-to-Noise Ratio

RSSI - Received Signal Strength Indicator

TDD - Time Division Duplex

TDMA - Time Division Multiple Access

Tx / Rx - Transmit / Receive Levels

UE - User Equipment

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

USIM - User Service Identity Module

UTRA - UMTS Terrestrial Radio Access

VLR - Visited Location Register

VSWR - Voltage Standing Wave Ratio

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access (UMTS radio service)

WRC - World Radio Conference



## Βιβλιογραφία

1. A. Mehrotra “GSM System Engineering”, Artech House, 1997.
2. M. Mouly, M. – B. Pautet, “The GSM System For Mobile Communications”, 1992
3. ETSI GSM Technical Specification, “Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3”, GSM 04.08.
4. Christophe Chevallier, Christopher Brunner, Andrea Garavaglia, Kevin P. Murray, Kenneth R. Baker “WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects”, 2006
5. Morten Tolstrup, “Indoor Radio Planning A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA”, 2008

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Γενικές φωτογραφίες συνεγκατάστασης στο Εμπορικό Κέντρο

























