



# Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων Εσωτερικής Κάλυψης

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Μάριο Σουλτσάι (Α.Μ: ΜΨΕ1808)

Επιβλέπων Καθηγητής: Αθανάσιος Κανάτας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
**UNIVERSITY OF PIRAEUS**

Αθήνα 2020



---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αθανάσιο Κανάτα ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία, μέσα από την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος μεταπτυχιακής εργασίας, να αποκομίσω στενές σχέσεις με τον τομέα της κινητής τηλεφωνίας και να εντείνω το ενδιαφέρον μου στην σχεδίαση δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Μέσα στα πλαίσια της εργασίας μου κατάφερε επίσης να μου μεταδώσει τις αξίες της συνεργασίας και της προσωπική βελτίωσης με απώτερο σκοπό την επίτευξη ενός κοινού στόχου.

Ευχαριστώ, τέλος, την οικογένειά μου, που όλο αυτό το διάστημα στήριξε την προσπάθειά μου, σε όλες τις φάσεις της ανάπτυξης και υλοποίησης του έργου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιτακτική ανάγκη για καταναμημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (εσωτερική κάλυψη) προέρχεται άμεσα από τις μεγάλες ανάγκες που έχουν οι χρήστες που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους. Πολλές φορές το εξωτερικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (macro network) δεν μπορεί να καλύψει επαρκώς τις μεγάλες ανάγκες των χρηστών. Οι περισσότεροι χρήστες περνάμε αρκετό χρόνο σε κλειστούς χώρους, όπως το γραφείο, σταθμούς τρένων, στάδια κ.α. Συνήθως οι 2 από τις 3 φωνητικές κλήσεις προέρχονται από χρήστες που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, ενώ για τις υπηρεσίες δεδομένων το ποσοστό αυτό υπερβαίνει ακόμα και το 90%.

Για πολλά χρόνια οι χρήστες που βρίσκονταν σε εσωτερικούς χώρους είχαν κάλυψη μόνο από τα εξωτερικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Αυτό απαιτούσε μεγάλη ισχύ εκπομπής από τους σταθμούς βάσης και χρησιμοποιούσαν ένα μεγάλο μέρος του διαθέσιμου για κάθε πάροχο φάσματος. Έτσι κατέστη αναγκαία η χρήση δικτύων εσωτερικής κάλυψης που θα προσέφεραν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως θέμα την ανάλυση και παρουσίαση των απαιτήσεων αλλά και της διαδικασίας του σχεδιασμού των καταναμημένων δικτύων κινητής τηλεφωνίας (DAS). Στα πρώτα κεφάλαια (πρώτο, δεύτερο και τρίτο) ήταν αναγκαία είναι και η αναφορά των βασικών εννοιών των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, εστιασμένα όμως στην χρήση τους ως DAS. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά των βασικών στοιχείων και εξαρτημάτων που απαρτίζουν ένα DAS. Στο πέμπτο κεφάλαιο δρομολογείται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί από το σχεδιαστή αλλά και από όλους τους εμπλεκόμενους για την σχεδίαση ενός DAS συστήματος. Δίνεται ιδιαίτερη βάση στον ρόλο του σχεδιαστή. Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται όλα τα εργαλεία που πρέπει να έχει στα χέρια ο σχεδιαστής για την σωστή επίτευξη της σχεδίασης του DAS. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο σχεδιάζεται ένα καταναμημένο σύστημα κεραιών με την χρήση του λογισμικού ειδικού σχεδιαστικού λογισμικού.

**The future is wireless**  
**Mario Sulcaj**

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 0° : Εισαγωγή .....	6
Κεφάλαιο 1° : Κυψελωτά ασύρματα δίκτυα .....	22
Κεφάλαιο 2° : Γενιές ασύρματων κυψελωτών δικτύων (1 <sup>η</sup> έως 3 <sup>η</sup> ) .....	38
Κεφάλαιο 3° : Προχωρημένα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα 4 <sup>ης</sup> γενιάς .....	68
Κεφάλαιο 4° : Συστήματα κατανεμημένων κεραιών .....	90
Κεφάλαιο 5° : Σχεδίαση συστημάτων κατανεμημένων κεραιών (DAS) .....	120
Κεφάλαιο 6° : Εργαλεία σχεδίασης συστημάτων κεραιών (DAS) .....	137
Κεφάλαιο 7° : Σχεδίαση συστημάτων κεραιών (DAS) με χρήση ειδικού λογισμικού .....	152
Βιβλιογραφία .....	170



## 0. Εισαγωγή

### 0.1 Σημασία Εσωτερικής Κάλυψης

Καθώς οι κινητές συσκευές διατίθενται πλέον σε προσιτές τιμές, οι ρυθμοί νέων συνδρομητών έχουν αυξηθεί. Ο κύριος σκοπός των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς (2G) της κινητής τηλεφωνίας είναι να γίνονται κλήσεις εν κινήσει. Των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G) της κινητής τηλεφωνίας ήταν να η ανταλλαγή email και sms μακριά από το γραφείο. Όσον αφορά τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G) της κινητής τηλεφωνίας ο κύριος σκοπός είναι η πρόσβαση στο διαδίκτυο μακριά από το γραφείο αλλά και με μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης.

Το πρόβλημα όμως για τους πάροχους είναι πως όταν πολλοί χρήστες είναι μαζεμένοι σε έναν χώρο ή ακόμα χειρότερα οι χρήστες βρίσκονται σε χώρους με φυσικά ή κατασκευαστικά εμπόδια. Σε τέτοιους χώρους οι σταθμοί βάσης της περιοχής δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν την τηλεπικοινωνιακή κίνηση ή τα σήματα εκπομπής τους δεν μπορούν να φτάσουν τις κινητές συσκευές. Τέτοιοι χώροι είναι:

- Αεροδρόμια
- Μουσεία
- Στάδια και αρένες
- Υπόγεια μέσα μαζικής μεταφοράς (Μετρό)
- Εμπορικά κέντρα και μεγάλα κτήρια.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για έναν πάροχο, εμπορικοί αλλά και τεχνικοί, να παρέχει επαρκή κάλυψη μέσα σε κτήρια. Τα τεχνικά κίνητρα είναι τα εξής: έλλειψη κάλυψης, βελτίωση ποιότητας υπηρεσιών, ανάγκη για περισσότερη χωρητικότητα, ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και να μεταφέρει την τηλεπικοινωνιακή κίνηση από τους υπάρχοντες macro σταθμούς βάσης. Μάλιστα στα δίκτυα 3G/4G, η ανάγκη ελάφρυνσης της κίνησης των macro σταθμών είναι πολύ σημαντική. Ακόμα η ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης μέσα σε κτήρια είναι ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας. Είναι προφανές ότι χρειάζονται λύσεις για τα κτήρια έτσι ώστε να παρέχονται υψηλής ποιότητας υπηρεσίες στους πελάτες.

Ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος πρέπει πρώτα να κάνει μια καλή εκτίμηση του κάθε έργου πριν επενδύσει σε οποιαδήποτε λύση εσωτερικής κάλυψης. Είναι γεγονός πως μεγάλο μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης καταναλώνεται μέσα από τα κτήρια. Επομένως πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό για να εκπληρωθούν οι προσδοκίες και οι απαιτήσεις όλων των χρηστών. Ειδικά σε αστικές περιοχές όπου οι χρήστες θέλουν ολοένα και μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων.

Ακόμα και ο πιο αφοσιωμένος σχεδιαστής γνωρίζει πως ο κύριος λόγος που παρέχονται λύσεις εσωτερικής κάλυψης είναι για λόγους επιχειρηματικούς. Ο σχεδιαστής έχει μεγάλη ευθύνη για ένα καλοσχεδιασμένο και υψηλής απόδοσης σύστημα αλλά θα πρέπει να λάβει υπόψη πως το σύστημα αυτό θα πρέπει να πραστατεύει την επένδυση στο μέλλον και να την κάνει να αξίζει τον κόπο. Δεν είναι λίγες οι φορές που οι σχεδιαστές είναι υπερβολικό με τον σχεδιασμό (π.χ. περισσότερες κεραιές από όσες χρειάζονται) με αποτέλεσμα το κόστος να εκτοξεύεται στα ύψη. Επομένως κάθε πάροχος θα πρέπει προσεκτικά να αξιολογήσει κάθε λύση εσωτερικής κάλυψης. Συγκεκριμένα θα πρέπει να απαντήσει τις εξής ερωτήσεις:

- 1) Η επένδυση θα είναι επιτυχημένη;
- 2) Η επένδυση θα είναι ανταποδοτική;
- 3) Είναι η επιλεγμένη λύση βέλτιστη για μελλοντικές ανάγκες:
  - Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.
  - Νέες υπηρεσίες.
  - Περισσότεροι πάροχοι.
  - Επιπλέον χωρητικότητα.
- 4) Μπορεί η επιλεγμένη λύση να συμβαδίσει με τις μελλοντικές αλλαγές του κτηρίου όπως:
  - Ανοικοδόμηση.
  - Επέκταση.
- 5) Θα μπορέσει η νέα λύση να ελαφρύνει την κίνηση των γειτονικών macro σταθμών βάσης και να ελευθερώσει την διαθέσιμη χωρητικότητα τους;
- 6) Υπάρχουν στρατηγικοί λόγοι για την παροχή της λύσης εσωτερικής κάλυψης;
  - Ανταγωνισμός ενάντια σε άλλους πάροχους.
  - Αυξημένη κίνηση σε άλλα μέρη του δικτύου.

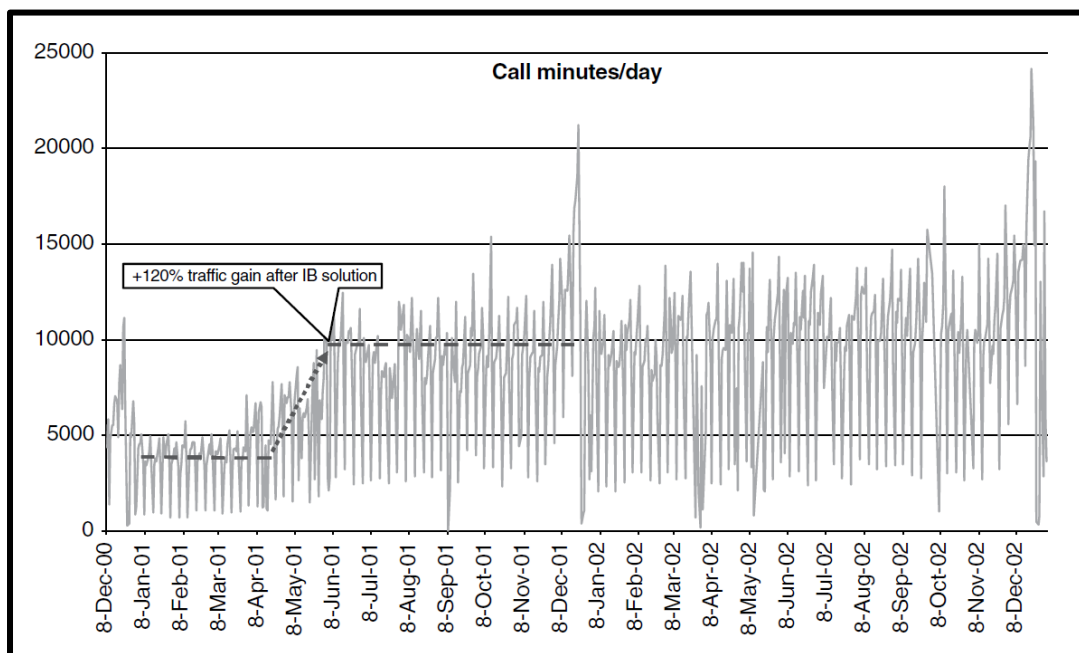
- Χρήστες με περιαγωγή σε αεροδρόμια, λιμάνια, πλοία, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα κτλπ.

7) Μπορεί να παρέχεται εσωτερική κάλυψη στα εταιρικά κτήρια έτσι ώστε να υπάρξει:

- Καλύτερη κάλυψη.
- Καλύτερη ποιότητα.
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα.
- Υψηλή ρυθμοί μετάδοσης.
- Μεγαλύτερη εμπιστοσύνη από τους χρήστες.

## 0.2 Εσωτερική Κάλυψη από Macro Σταθμούς Βάσης

Μια πολύ καλή λύση για να παρέχουμε εσωτερική κάλυψη σε κτήρια είναι να χρησιμοποιήσουμε τους κοντινούς σταθμούς βάσης από το macro επίπεδο. Όταν σχεδιάζουμε ένα κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, συνηθίζουμε να καλύπτουμε όσο τον δυνατόν περισσότερα κτήρια αλλά και χώρους από το macro επίπεδο. Ακόμα και αν γνωρίζουμε πως όλη η τηλεπικοινωνιακή κίνηση προέρχεται μέσα από αυτά τα κτήρια και χώρους. Σε ένα τυπικό προαστιακό περιβάλλον θα πρέπει να βασιζόμαστε από το πυκνό δίκτυο των macro σταθμών βάσης και να μην ξεπερνάει τα 1-2 χιλιόμετρα, ανάλογα βέβαια με τις υπηρεσίες που προσφέρονται. Στα αστικά περιβάλλοντα η απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κτηρίου κάλυψης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 300-500 μέτρα. Πολλές φορές ένα τέτοιο σενάριο δεν είναι επαρκές για να καλύψει ένα σύστημα 2G, πόσο μάλλον τα συστήματα 3G και 4G. Ειδικά για το 4G θα πρέπει να δώσουμε μεγάλη προσοχή καθώς μπορεί να μην μπορεί να καλύψει τους χώρους των κτηρίων.



**Εικόνα 0.1:** Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση σε περιοχή που καλύπτεται από macro σταθμούς βάσης είναι διπλάσια όταν κάνουμε εγκατάσταση συστήματος εσωτερικής κάλυψης

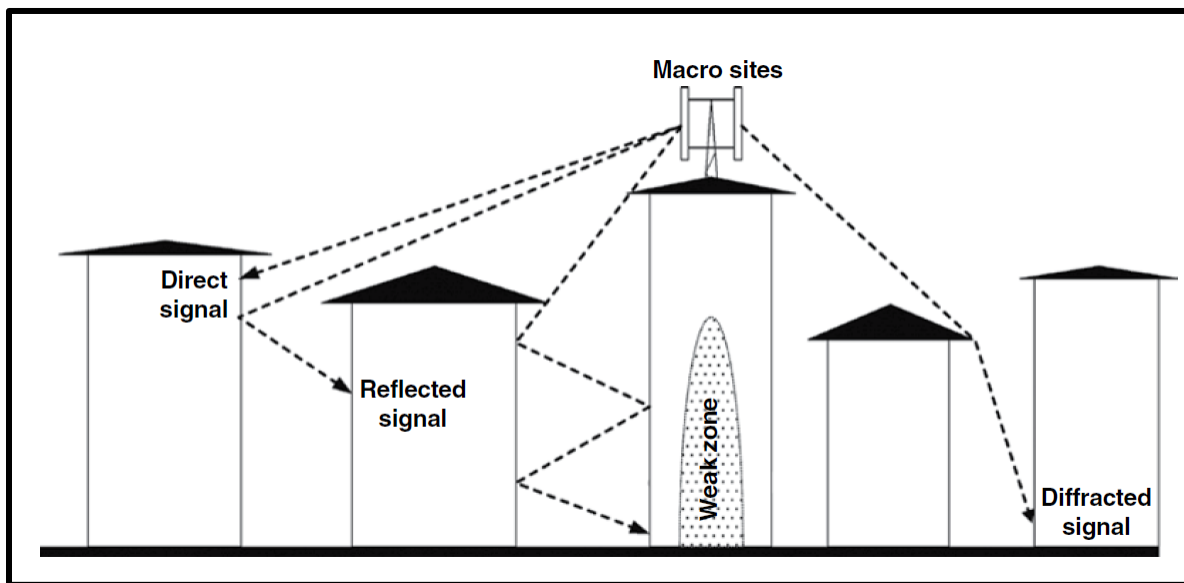


Όπως φαίνεται και στην φωτογραφία από πραγματικό παράδειγμα, ακόμα και ένα πυκνό δίκτυο από macro σταθμούς βάσης μπορεί να είναι ανεπαρκές για να καλύψει τους χρήστες μέσα στα κτήρια. Ειδικά τους χρήστες των 4G συστημάτων που έχουν μεγαλύτερες ανάγκες από τους χρήστες φωνής των συστημάτων 2G και 3G.

Από το παράδειγμα στην εικόνα 0.1 φαίνεται ξεκάθαρα ότι από την στιγμή που έγινε η εγκατάσταση συστήματος εσωτερικής κάλυψης στην περιοχή κάλυψης του macro σταθμού βάρξε υπήρξε μια απότομη αύξηση στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση του σταθμού. Συγκεκριμένα υπήρξε μια αύξηση 120%. Όχι μόνο το σύστημα εσωτερικής κάλυψης στην περιοχή ανέλαβε περισσότερη κίνηση αλλά αύξησε και την κίνηση από τους γειτονικούς macro σταθμούς βάσης. Ακόμα μείωσε και όλες τις διακοπές κλήσεων όταν τα επίπεδα σήματος δεν ήταν ανεπαρκή.

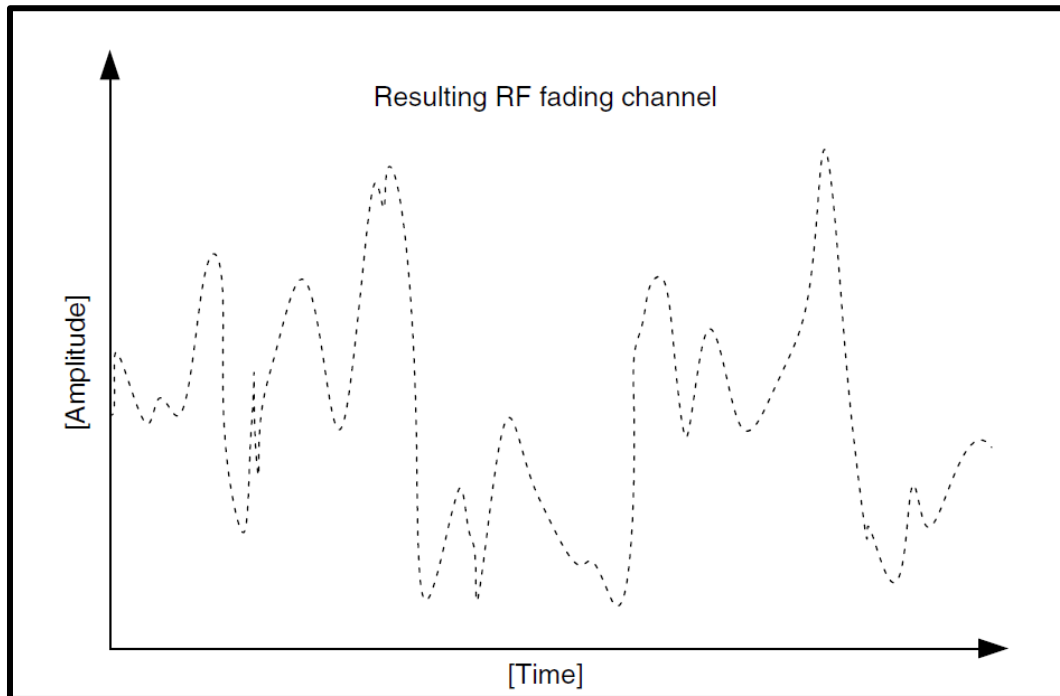
Ακόμα και αν τα επίπεδα ισχύος των macro σταθμών ήταν υψηλά, υπήρχαν χρήστες όπου δεν τους κάλυπτε. Τώρα όμως με την εγκατάσταση του συστήματος εσωτερικής κάλυψης μπορούν να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες τους. Αυτό μας δείχνει πως τα συστήματα εσωτερικής κάλυψης είναι πολύ σημαντικά για τους πάροχους. Βέβαια θα πρέπει αυτά να τα νέα συστήματα να εγκαθίστανται σε σωστές περιοχές, να καλύπτουν τα σωστά κτήρια και να έχουν σχεδιαστεί επαρκώς.

Δεν είναι λίγες οι φορές που οι macro σταθμοί βάσης δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν τους χρήστες μέσα στα κτήρια. Ας δούμε λοιπόν τον λόγο που συμβαίνει αυτό.



**Εικόνα 0.2:** Οι macro σταθμοί βάσης βασίζονται κυρίως στις ανακλάσεις των αστικών περιβαλλόντων για να παρέχουν εσωτερική κάλυψη

Στα αστικά και προαστικά περιβάλλοντα οι macro σταθμοί βάσης θα καλύψουν τους χρήστες με αντανάκλαση και περίθλαση (πολλαπλή διάδοση). Η καθυστέρηση συνήθως είναι 1-2  $\mu\text{s}$ . Μόνο ένα μικρό μέρος εξυπηρετείται από το απευθείας σήμα (line of sight) έχοντας απώλειες ελευθέρου χώρου (free space loss) και τις απώλειες από το υλικό του κτηρίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 0.2. Στους υψηλούς ορόφους του κτηρίου η κάλυψη θα είναι επαρκής αλλά πιο κάτω το πρόβλημα αρχίζει να εμφανίζεται. Ξεκινώντας από αδύναμο σήμα στις σκάλες και στα ασανσέρ μέχρι και σε σημαντικά σημεία του κτηρίου, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στους χρήστες με σημαντικότερη την υπηρεσία δεδομένων.



Εικόνα 0.3: Τυπικό multipath fade κανάλι

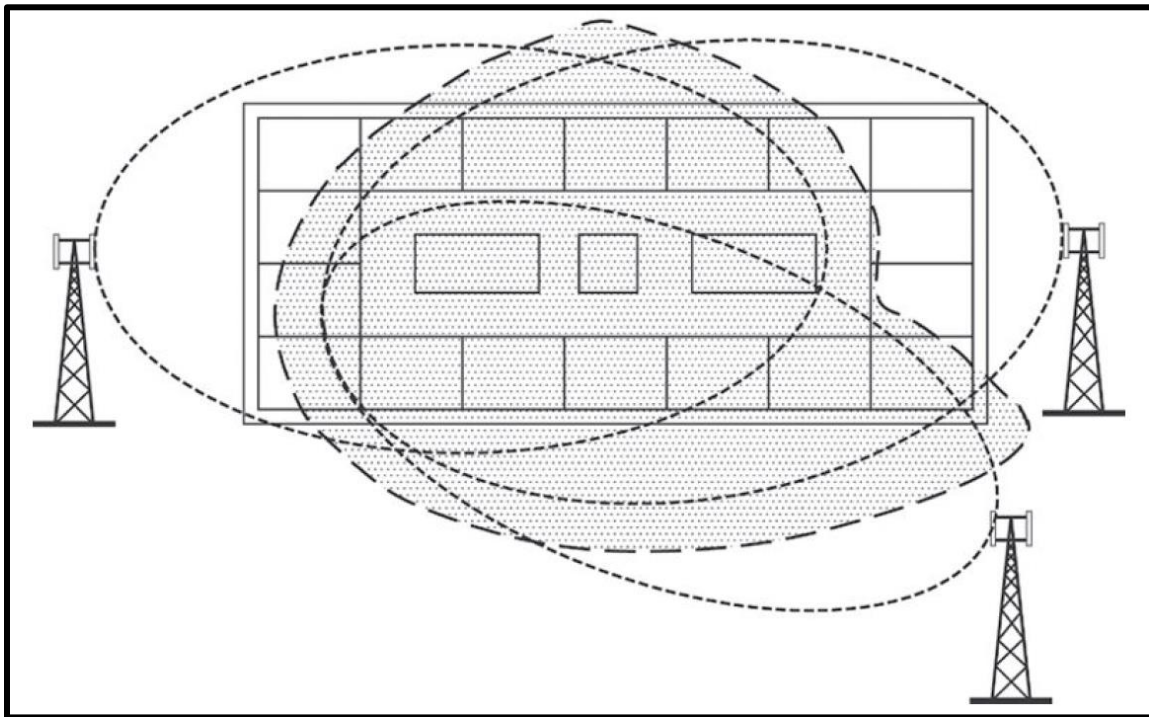
### 0.3 Συχνά Σχεδιαστικά Λάθη

Είναι πολύ δελεαστικό να κατασκευάσεις έναν macro σταθμό βάσης κοντά ένα κτήριο με σύστημα εσωτερικής κάλυψης. Συχνά το μέρος του κτηρίου που είναι από την μεριά κάλυψης του σταθμού βάσης θα έχει πολύ καλύτερα επίπεδα λήψης από ότι άλλα μέρη του κτηρίου, όπως το υπόγειο ή τα πάρκινγκ.

Κλασσικό παράδειγμα αποτελούν τα εμπορικά κέντρα. Τα κτήρια αυτά είναι πολύ σημαντικά για κάποιους χρήστες. Μάλιστα για τους πάροχους είναι κτήρια υψηλής σημασίας και τους δίνεται ιδιαίτερη προτεραιότητα. Ένας macro σταθμός βάσης κοντά στο εμπορικό κέντρο θα είναι η λύση; Κανονικά ο πάροχος αμέσως θα καταλάβει πως σε τέτοιους χώρους η κάλυψη από τους κοντινούς macro σταθμούς βάσης δεν θα επαρκεί. Ειδικά για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Ακόμα η χωρητικότητα που θα χρειαστούν οι χρήστες μέσα στο εμπορικό κέντρο μπορεί να ξεπεράσει τις δυνατότητες του macro σταθμού βάσης.

Έτσι λοιπόν ο πάροχος καταλαβαίνει πώς η λύση είναι ο σχεδιασμός ενός 2G/3G/4G δικτύου εσωτερικής κάλυψης.

Προσπαθώντας να καλύψεις ένα εμπορικό κέντρο από έναν macro σταθμό βάσης είναι αρκετά δελεαστικό. Μάλιστα εδώ αρχίζει να εμφανίζεται και η εμπειρία του σχεδιαστή για το 2G δίκτυο. Δηλαδή σχεδιάζουμε το 2G δίκτυο για την εσωτερική κάλυψη έτσι ακριβώς όπως θα σχεδιάζαμε και ένα 2G εξωτερικό δίκτυο. Ωστόσο αυτό δεν μπορεί να συμβεί με τα δίκτυα 3G και 4G, καθώς μετά την ενεργοποίηση πχ του δικτύου 3G μέσα στο κτήριο, ο πάροχος γρήγορα θα καταλάβει πως το 60 με 80% της τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι στις περιοχές handover (εικόνα 0.4).



**Εικόνα 0.4:** Περιοχές handover μεταξύ macro σταθμών βάσης και κτηρίου εσωτερικής κάλυψης.

Τα πολλά αυτά handovers (μεταπομπές) θα υποβαθμίσουν σοβαρά την απόδοση του δικτύου αλλά και των ρυθμών μετάδοσης. Αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε πολύ εύκολα να λυθεί σε ένα δίκτυο 2G με την χρησιμοποιήσει διαφορετικών συχνοτήτων, αλλά τα 3G/4G δίκτυα θα χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα σε όλες τις κυψέλες. Ο σχεδιαστής μπορεί να μπει στον πειρασμό να χρησιμοποιήσει συγκεκριμένο κανάλι για το 3G δίκτυο του κτηρίου αλλά και πάλι αυτός είναι σχεδιασμός 2G. Αν το κάνει αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσει μεγάλο μέρος της χωρητικότητας. Κανονικά, διαθέσιμα, έχουμε μόνο δύο με τρία 3G κανάλια στο σύνολο. Ένα για την ομιλία, ένα για τα data (HSPA) και ένα για το σύστημα εσωτερικής κάλυψης που θα μείνει σε αναμονή για επιπλέον χωρητικότητα για πιθανή αύξηση της χωρητικότητας στο μέλλον.

Η καλύτερη δυνατή λύση είναι να ανακατευθύνουμε ή να καταργήσουμε κυψέλες των κοντινών macro σταθμών βάσης που καλύπτουν το εμπορικό κέντρο. Ωστόσο η κυψέλη που καταργήθηκε μπορεί να εξυπηρετούσε και άλλα μικρότερα κτήρια στην περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση το μόνο που μπορεί να γίνει είναι να κατασκευαστεί ένας πολύ μικρότερος σταθμός βάσης (micro) για να εξυπηρετήσει.

Ο ορθός και σωστός τρόπος για να σχεδιάσεις ένα 2G/3G/4G σύστημα εσωτερικής αλλά και εξωτερικής κάλυψης είναι να το κάνεις από μέσα προς τα έξω και όχι από έξω προς τα μέσα. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό να υφίσταται σε χώρους με ανάγκη για μεγάλη χωρητικότητα όπως περιοχές με κτήρια.

### ***“Τα 2G/3G/4G δίκτυα πρέπει να σχεδιάζονται από μέσα προς τα έξω”***

Είναι γεγονός πως το κόστος κατασκευής ενός συστήματος εσωτερικής κάλυψης είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος κατασκευής ενός δικτύου εξωτερικής κάλυψης.

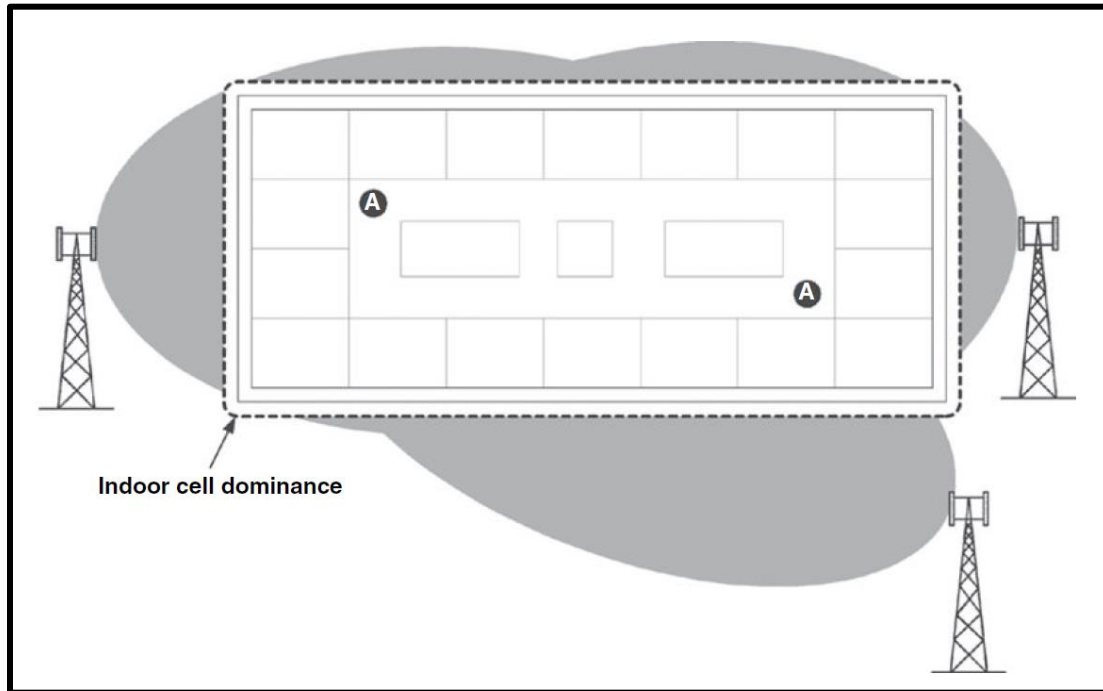
#### ***0.4 Βασικές Σχεδιαστικές Αρχές Δικτύων Εσωτερικής Κάλυψης***

Χωρίς να έχει σημασία τι ραδιοπηρεσία κατασκευάζεις, είτε 2G, 3G, 4G είτε άλλες τεχνολογίες (Wi-Fi), θα πρέπει να ακολουθούνται μερικοί βασικοί κανόνες για να κατασκευάσουμε δίκτυα εσωτερικής κάλυψης υψηλής απόδοσης.

Αν θα έπρεπε να επιλέξουμε μια παράμετρο, αλλά μόνο μια παράμετρο που πραγματικά ορίζει την επιτυχία σε ένα σύστημα εσωτερικής κάλυψης τότε αυτή είναι η **απομόνωση**. Η απομόνωση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του σήματος που προέρχεται από το δίκτυο εσωτερικής κάλυψης και το σήμα που προέρχεται από το εξωτερικό δίκτυο και το αντίστροφο. Οι χρήστες στα κτήρια συχνά βρίσκονται κοντά σε παράθυρα, επομένως η κυριαρχία του σήματος προερχόμενη από το εσωτερικό δίκτυο θα πρέπει να διατηρείται σε όλο το κτήριο, ακόμα και κοντά στα παράθυρα.

Τα σύγχρονα ενεργειακής απόδοσης παράθυρα στα κτήρια με μια επίστρωση λεπτής μεταλλικής επικάλυψης θα εξασθενήσουν σημαντικά το σήμα που προέρχεται από τους macro σταθμούς βάσης. Αυτός ο τύπος παραθύρου θα εξασθενήσει σημαντικά το RF σήμα με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη για μια ειδική λύση. Ένα θετικό στο όλο “πρόβλημα” είναι πως όταν το δίκτυο εσωτερικής κάλυψης εγκατασταθεί, αυτά τα παράθυρα που περιγράψαμε νωρίτερα θα βοηθήσουν το σύστημα με μια καλή απομόνωση. Αυτά τα είδη παραθύρων μπορούν μάλιστα να εξασθενήσουν το σήμα κατά 20 με 40 db, ανάλογα και την συχνότητα που χρησιμοποιείται αλλά και την γωνία του σήματος.

Πρόσφατα νέοι τύποι παραθύρων χρησιμοποιούνται. Ονομάζονται “Wi-Fi proof glass” και εμποδίζουν τους hackers με ηλεκτρονικούς υπολογιστές έξω από το κτήριο να χρησιμοποιούν το εσωτερικό δίκτυο Wi-Fi. Αυτά τα παράθυρα εξασθενούν το σήμα κατά 50 με 70 db. Αυτό βέβαια βοηθάει ακόμα περισσότερο να κατασκευαστεί ένα καλό δίκτυο εσωτερικής κάλυψης. Με 40 έως 70 db απομόνωση ακόμα και ένας κοντινός macro σταθμός βάσης δεν θα μπορέσει να διεισδύσει μέσα στο κτήριο. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 0.5. Τώρα στα άκρα του κτηρίου δεν θα γίνονται συχνές μεταπομπές.

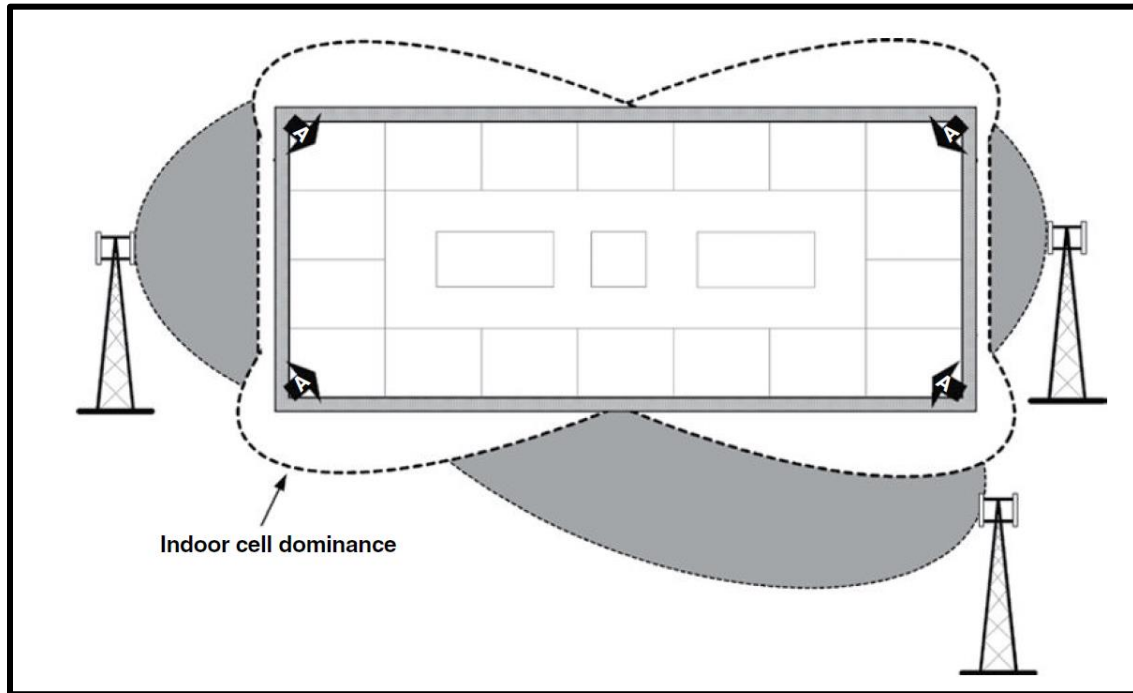


**Εικόνα 0.5:** Ένα καλοσχεδιασμένο δίκτυο εσωτερικής κάλυψης θα είναι κυρίαρχο μέσα στο κτήριο και δεν θα έχει “διαρροή” από τους κοντινούς macro σταθμούς βάσης.

Ένα ακόμα υψηλής σημασίας πρόβλημα δημιουργείται σε κάποια συγκεκριμένα κτήρια, κυρίως παλιά αλλά και κακοδιατηρημένα. Σε τέτοια κτήρια βιώνουμε **υψηλά επίπεδα παρεμβολών** από τους macro σταθμούς βάσης, ακόμα και από σταθμούς που γεωγραφικά βρίσκονται πολύ μακριά. Αυτό κυρίως συμβαίνει καθώς το RF σήμα που διέρχεται από τα παράθυρα εξασθενεί λίγο ή και καθόλου και τα σήματα από τους γύρω σταθμούς και διαχέονται μέσα στο κτήριο. Άρα πέρα από αυτό το πρόβλημα θα πρέπει να γίνει σωστή επιλογή στα σημεία που θα στηθεί το σύστημα εσωτερικής κάλυψης.

Η κλασική προσέγγιση θα ήταν να εγκαταστήσουμε ομοιοκατευθυντικές κεραίες (omni antennas) σε διαδρόμους, όπως φαίνεται στην εικόνα 0.5 στα σημεία A και B αλλά αυτό μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα προβλήματα. Αυτές οι omni κεραίες θα πρέπει να εκπέμπουν υψηλά επίπεδα RF ακτινοβολίας για να ξεπεράσουν την RF ακτινοβολία των γύρω σταθμών. Επομένως αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σήμα της εσωτερικής κάλυψης να διαχέεται στην περιοχή κάλυψης των macro σταθμών βάσης, να αυξάνει τον θόρυβο και να υποβαθμίσει την ποιότητα και την χωρητικότητα.

Η λύση είναι να κάνουμε το εσωτερικό δίκτυο, κυρίαρχο, μόνο μέσα στο κτήριο. Αυτό μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση κατευθυντικών κεραιών στις γωνίες του κτηρίου, στα σύνορα δηλαδή με τους macro σταθμούς βάσης και να κατευθύνονται προς το κέντρο του κτηρίου (εικόνα 0.6). Αυτό θα διασφαλίζει πως το σήμα από το εσωτερικό δίκτυο θα είναι πιο ισχυρό από το σήμα από το εξωτερικό δίκτυο.



**Εικόνα 0.6:** Ο τρόπος απομόνωσης του κτηρίου από τα RF σήματα των macro σταθμών βάσης είναι η εγκατάσταση directional κεραιών στα άκρα του δικτύου με κατεύθυνση προς το εσωτερικό του.

### 0.5 Σχεδιαστικά Επίπεδα Δικτύων Εσωτερικής Κάλυψης

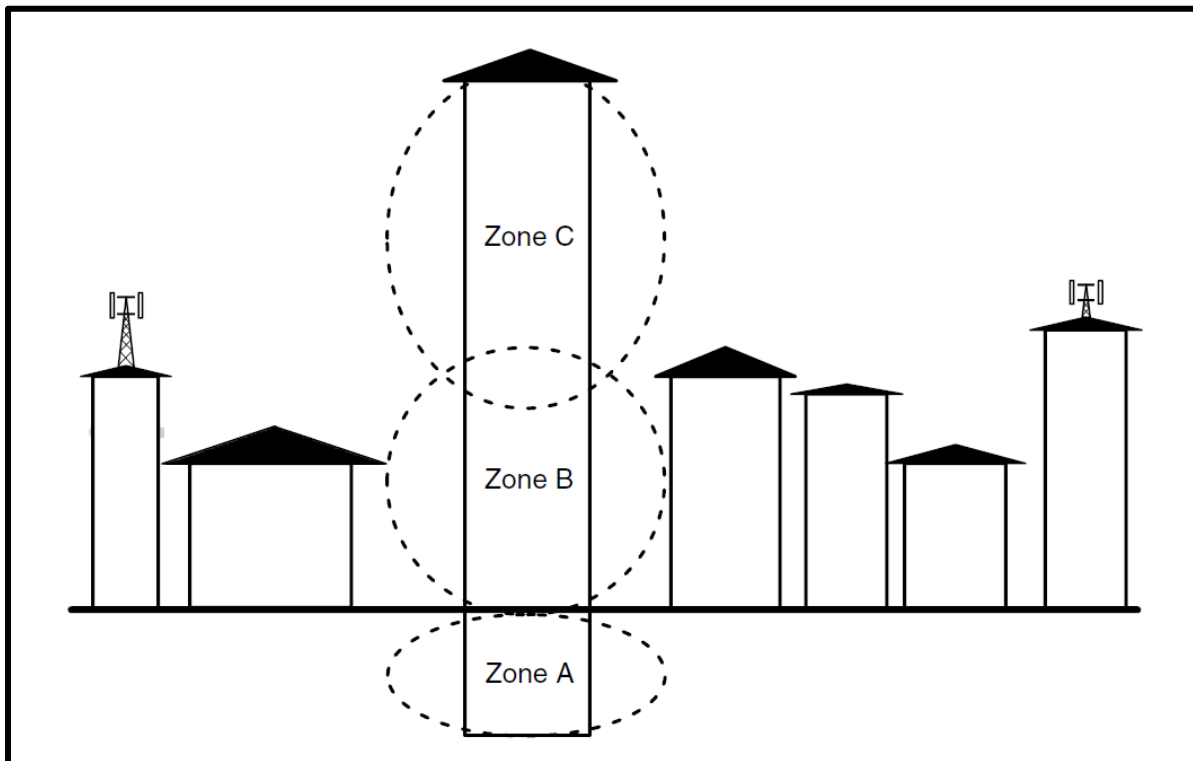
Συχνά οι πάροχοι χρησιμοποιούν μόνο και μόνο ένα σχεδιαστικό επίπεδο (design level) για τα δίκτυα εσωτερικής κάλυψης. Ωστόσο, όπως ξέρουμε, η ποιότητα αλλά και οι ρυθμοί μετάδοσης του ραδιοσήματος εξαρτώνται από το SNR (signal to noise ratio). Πώς όμως αυτό επηρεάζει τον σχεδιασμό των δικτύων εσωτερικής κάλυψης;

Όπως είπαμε, η απομόνωση (isolation) παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Κάθε κτήριο θα πρέπει να χωρίζεται σε ζώνες σύμφωνα με τα επίπεδα ισχύος των σημάτων από τους macro σταθμούς βάσης. Άρα ο σχεδιαστής θα χρησιμοποιήσει περισσότερα από ένα σχεδιαστικά επίπεδα. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 0.7.

#### **Α΄ Ζώνη: Περιοχή Περιορισμένης Κάλυψης**

Η απομόνωση από τα εξωτερικά δίκτυα των macro σταθμών βάσης είναι πολύ καλή και δεν κάνει καθόλου εντύπωση καθώς το μέρος αυτό του κτηρίου είναι υπόγειο. Μια τυπική απομόνωση είναι της τάξεως από 70 με 80 db και το σχεδιαστικό επίπεδο είναι εξαιρετικά χαμηλό, γιατί δεν θα πρέπει να λάβουμε υπόψη της παρεμβολές των macro σταθμών που επηρεάζουν την απόδοση. Τυπικά σχεδιαστικά επίπεδα για την ζώνη Α είναι τα εξής:

- -85 dbm (2G RxLev)
- -90 dbm (3G CPICH Level)
- -87 dbm (4G RSRP Level)



**Εικόνα 0.7:** Έχοντας διαφορετικά επίπεδα παρεμβολών μέσα στο κτήριο, είναι συνετό να προσαρμόσουμε τα σχεδιαστικά επίπεδα και να χωρίσουμε το κτήριο σε επίπεδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εξοικονομήσουμε χρήματα και να διατηρήσουμε την RF απόδοση.

### **Β' Ζώνη: Περιοχή Περιορισμένης Κάλυψης και Παρεμβολών**

Το μεσαίο τμήμα του κτηρίου συχνά εξυπηρετείται από τις κοντινές macro κυψέλες. Το συγκεκριμένο μέρος του κτηρίου, εν μέρει, είναι απομονωμένο από παρεμβολές που προέρχονται από τους κοντινούς σταθμούς βάσης αλλά και τα γειτονικά κτήρια. Όταν σχεδιάζουμε στην β' περιοχή, θα πρέπει να προσπεράσουμε ακόμα και τις χαμηλής στάθμης παρεμβολές από τους μακρινούς macro σταθμούς βάσης και να εξασφαλίσουμε πως το σύστημα μας θα είναι κυρίαρχο μέσα στο κτήριο. Τυπικά θα χρειαστούμε μεσαίας επίπεδα στάθμης για να παρέχουμε απομόνωσή από πιθανές μεταπομπές. Τέλος θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί με την β' ζώνη καθώς δεν πρέπει να υπάρχει διαρροή από το σύστημα μας στην γύρω περιοχή, περαστικούς, διερχόμενα οχήματα κ.α. Τυπικά σχεδιαστικά επίπεδα για την ζώνη B είναι τα εξής:

- -70 dbm (2G RxLev)
- -80 dbm (3G CPICH Level)
- -75 dbm (4G RSRP Level)

### Γ' Ζώνη: Περιοχή Παρεμβολών

Είναι το ανώτερο τμήμα ενός πολυώροφου κτηρίου και συνήθως ξεπερνάει σε ύψος τα γειτονικά κτήρια. Οι χρήστες, περιμετρικά του κτηρίου ή στα παράθυρα, θα έχουν καθαρή οπτική επαφή με πολλούς macro σταθμούς βάσης. Αυτοί οι σταθμοί εισάγουν παρεμβολές και γενικά όλα τα προβλήματα που αναφέραμε. Οι παρεμβολές αυτές μπορεί να καταφθάνουν από σταθμούς βάσης που βρίσκονται μέχρι και 10 με 20 km μακριά. Κανονικά οι χρήστες θα έχουν υψηλά επίπεδα στάθμης αλλά θα “υποφέρουν” από υποβάθμιση των υπηρεσιών όπως κακής ποιότητας κλήσεις, μικρή χωρητικότητα, διακοπές στις κλήσεις ακόμα και ολική διακοπή της υπηρεσίας που διαθέτουν. Τυπικά σχεδιαστικά επίπεδα για την ζώνη Γ είναι τα εξής:

- -60 dbm (2G RxLev)
- -70 dbm (3G CPICH Level)
- -70 έως -65 dbm (4G RSRP Level)

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε και δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στην διαρροή **από** την ζώνη Γ. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να σχεδιάσουμε με μεγαλύτερα επίπεδα στάθμης από το προαναφερόμενα για την ζώνη Γ. Θα πρέπει να προσέξουμε να διαχέεται προς το εξωτερικό δίκτυο μεγάλο ποσοστό ισχύος. Ακόμα θα πρέπει να τοποθετούμε τις κατευθυντικές κεραιές στις γωνίες του κτηρίου και να στρέφονται προς το κέντρο του ορόφου. Δεν θα πρέπει η εκπεμπόμενη ενέργεια να περνάει τα 15 με 20 dbm.

Πέρα από την ζώνη Γ υπάρχει και η ζώνη Δ. Αυτό υφίσταται στα κτήρια με πολύ μεγάλο ύψος. Σε αυτό το σημείο οι παρεμβολές από το εξωτερικό δικτύου αρχίζουν και μειώνονται. Ωστόσο, πάλι θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί για την διαρροή σήματος από την Δ ζώνη του κτηρίου.

### **0.6 Βασικές RF Μετρικές**

Ακόμα και αν οι περισσότεροι αναγνώστες της μελέτης μου καταλαβαίνουν και κατανοούν πλήρως τα βασικά του RF (radio frequency) θεώρησα σωστό να αναφέρω κάποιες βασικές μετρικές που είναι βασικές για κάθε σχεδιαστή συστημάτων εσωτερικής κάλυψης.

**Κέρδος (Gain):** Είναι η διαφορά μεταξύ της ισχύος του σήματος που εισέρχεται στην συσκευή με αυτή που εξέρχεται. Θεωρούμε πως το κέρδος, πάντα, έχει θετικό πρόσημο σε λογαριθμική κλίμακα. Ωστόσο γίνεται να υπάρχει και αρνητικό κέρδος.

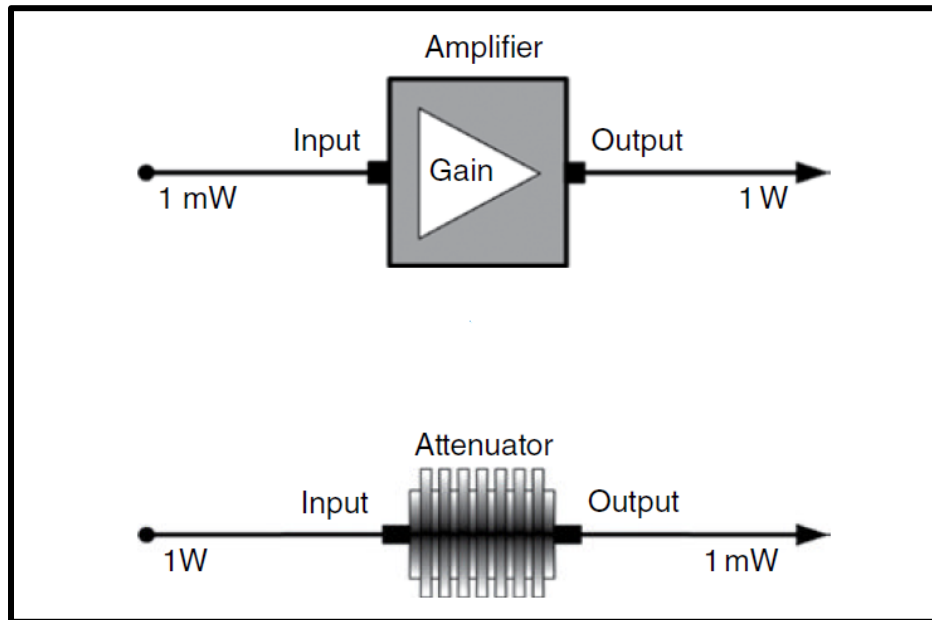
● Αν εξετάσουμε τον **ενισχυτή** στην εικόνα 0.8 θα δούμε ότι τροφοδοτούμε με ένα σήμα ισχύος 1 mW. Επίσης βλέπουμε πως ο ενισχυτής στην έξοδο του μας δίνει 1 W. Δηλαδή 1000 φορές την ισχύ που του δώσαμε στην είσοδο. Συγκεκριμένα:

$$\text{Gain}(F) = P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = 1000 / 1 = 1000$$



- Αν εξετάσουμε τον **εξασθενητή** στην εικόνα 0.8 θα δούμε ότι τροφοδοτούμε με ένα σήμα ισχύος 1 W. Επίσης βλέπουμε πως ο εξασθενητής στην έξοδο του μας δίνει 1mW. Δηλαδή 1000 φορές εξασθενημένη την ισχύη που του δώσαμε στην είσοδο.

$$\text{Gain}(F) = P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = 1 / 1000 = 0.001$$



**Εικόνα 0.8:** Ενισχυτής και Εξασθενητής

**Decibel (dB):** Όταν σχεδιάζουμε RF συστήματα μας βολεύει να εκφράζουμε τα αποτελέσματα σε dB για να αποφύγουμε μεγάλους σε έκταση αριθμούς. Είναι η μονάδα που περιγράφει έναν λόγο (κλάσμα) και υπολογίζεται ως ένας λογάριθμος με βάση το 10. Στις τηλεπικοινωνίες γίνεται ευρεία χρήση των dB και των μαθηματικών ιδιοτήτων των λογάριθμων. Ο λόγος είναι ότι οι πολλαπλασιαστικές εξισώσεις μετατρέπονται σε αθροιστικές και έτσι ο χειρισμός τους είναι πιο εύκολος. Έχει καθιερωθεί λοιπόν η χρήση των dB σε τέτοιο βαθμό, έτσι ώστε στην βιβλιογραφία να απαντώνται διάφορες λογαριθμικές μονάδες που περιέχουν το dB στην ονομασία τους, ανεξάρτητα εάν αυτές αναφέρονται στην ισχύ, τάση, αντίσταση, θερμοκρασία, συχνότητα κ.α. Συγκεκριμένα ισχύει το εξής:

$$\text{dB}(\text{decibel}) = 10 \times \log_{10} (F [\text{factor}])$$

Επεκτείνοντας την γνώση μας μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε το κέρδος σε dB. Συγκεκριμένα:

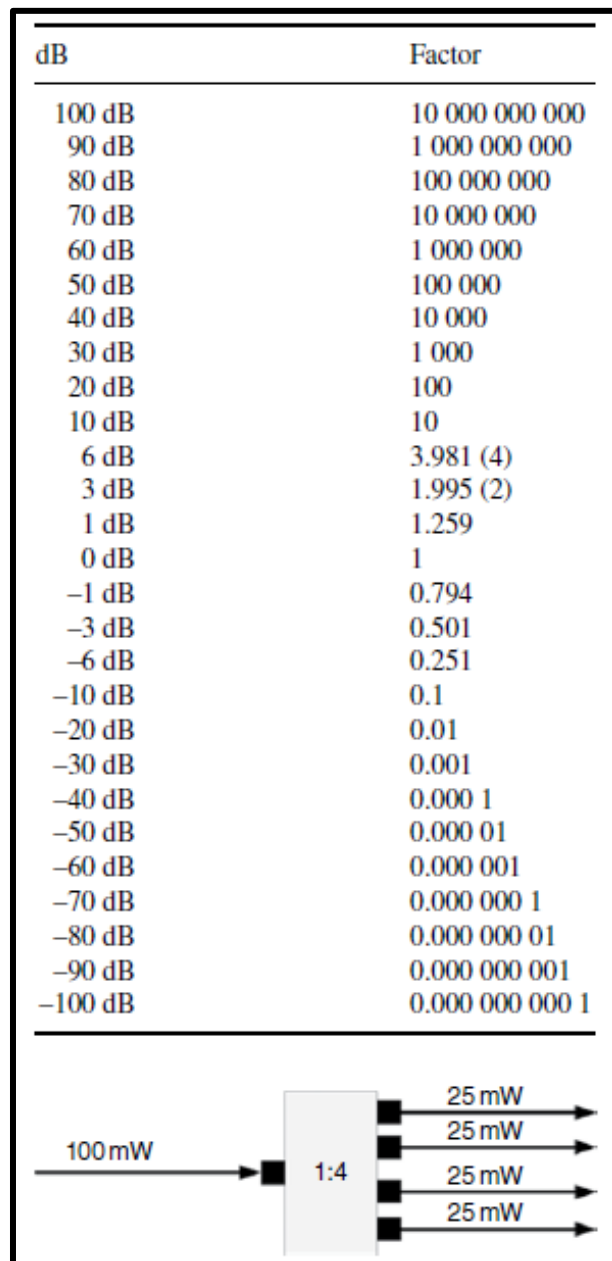
$$\text{Gain}(\text{dB}) = 10 \times \log_{10} (\text{gain factor})$$

Στο παράδειγμά μας στην εικόνα 0.8, αν το gain factor ήταν 1000 τότε για τον ενισχυτή αλλά και για τον εξασθενητή θα είχαμε:

$$\text{Gain (dB)} = 10 \times \log_{10} (1000) = 30 \text{ dB}$$

$$\text{Gain (dB)} = 10 \times \log_{10} (0.001) = -30 \text{ dB}$$

Όπως περιγράφηκε και νωρίτερα με έναν 30 dB εξασθενητή, το κέρδος μπορεί να είναι αρνητικό ή αλλιώς να έχουμε απώλειες. Ένα άλλο παράδειγμα δίνετε με έναν power splitter 1:4 (γίνετε ανάλυση του εξαρτήματος σε επόμενο κεφάλαιο).



**Εικόνα 0.9:** Power splitter 1:4 και dB vs Factor

Για παράδειγμα αν θέλουμε να τροφοδοτήσουμε την είσοδο ενός splitter με 100 mW, αυτή η ισχύς θα διαμοιραστεί σε ίσα τμήματα στις 4 εξόδους που έχει. Επομένως η κάθε μια θα έχει 25 mW. Κανονικά ένα τυπικό splitter έχει απώλειες εισόδου (insertion loss) περίπου 0.2 dB. Για το παράδειγμα μας θα το παραλείψουμε αλλά σε ένα σύστημα εσωτερικής κάλυψης θα πρέπει να δώσουμε μεγάλη προσοχή.

$$\text{Gain}(F) \text{ is } P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = 25 \text{ mW} / 100 \text{ mW} = 0.25$$

$$\text{Gain(dB)} \text{ is } 10 \times \log_{10}(\text{gain factor}) = -6 \text{ dB}$$

**dBm:** Το dBm είναι άλλη μια σχεδιαστική παράμετρος, που ένας σχεδιαστής εσωτερικής κάλυψης, πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη του. Σε αντίθεση με το dB, το dBm είναι μια απόλυτη τιμή ισχύος. Το dBm σχετίζεται με τα dBWatt (dBW).

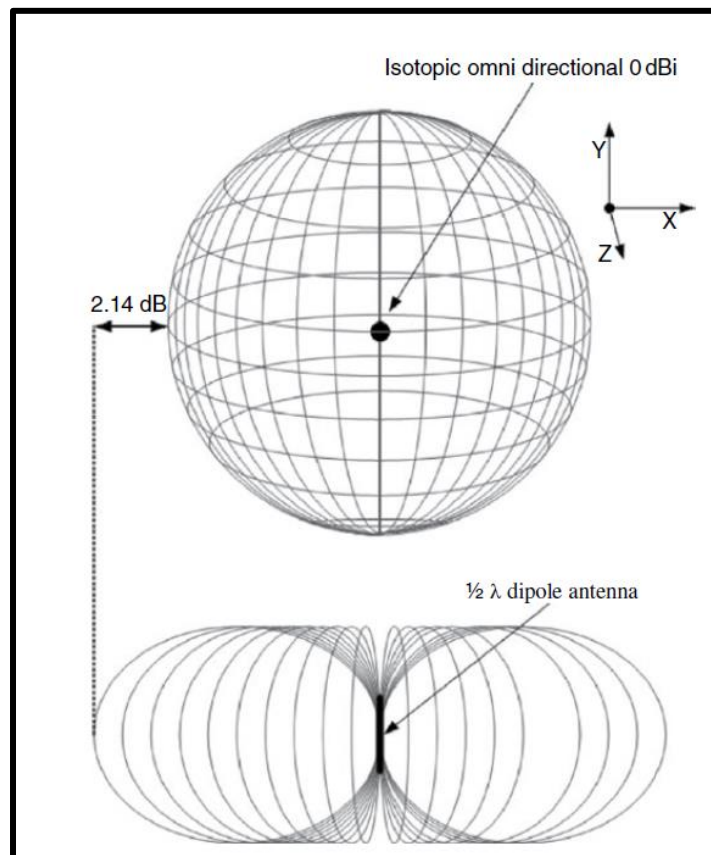
Στην επόμενη εικόνα δίνονται μερικές τιμές dBm σε W.

dBm	Level
46 dBm	40 W
43 dBm	20 W
40 dBm	10 W
30 dBm	1 W
20 dBm	100 mW
10 dBm	10 mW
0 dBm	1 mW
-10 dBm	0.1 mW
-20 dBm	0.01 mW
-30 dBm	0.001 mW
-40 dBm	0.0001 mW
-50 dBm	0.000 01 mW
-60 dBm	0.000 001 mW
-70 dBm	0.000 0001 mW
-80 dBm	0.000 000 01 mW
-90 dBm	0.000 0000 01 mW
-100 dBm	0.000 000 0001 mW
-110 dBm	0.000 000 000 01 mW
-120 dBm	0.000 000 000 001 mW

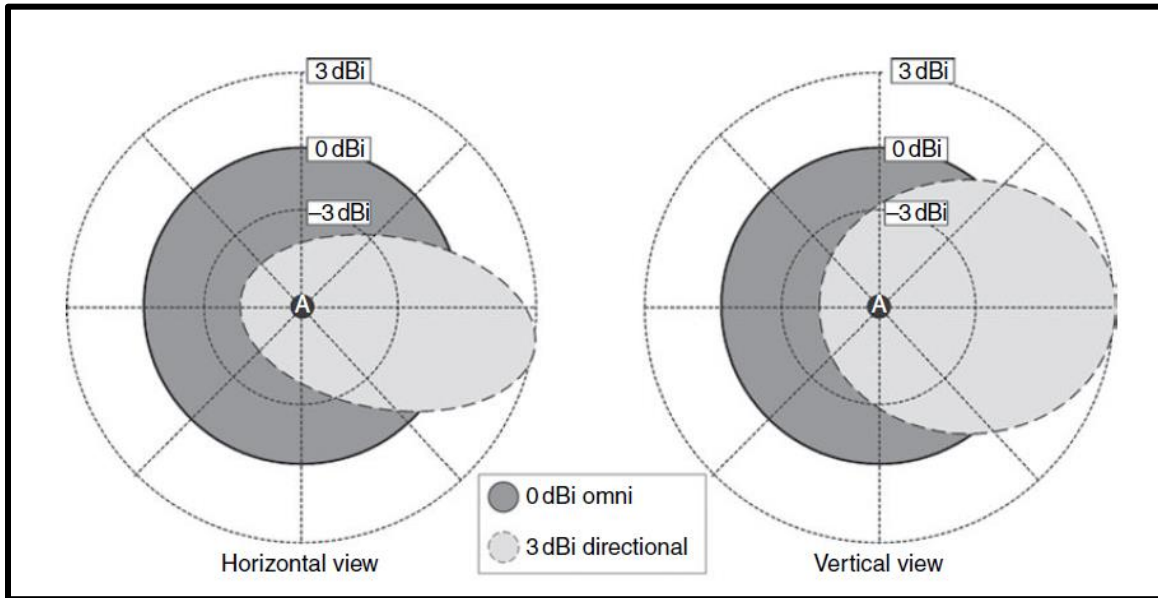
Εικόνα 0.10: Power

**dB<sub>i</sub>**: Είναι το υποτιθέμενο κέρδος μίας ιστροπικής κεραίας η οποία υπάρχει μόνο στην θεωρία και δεν μπορεί να κατασκευαστεί. Για παράδειγμα 0dB<sub>i</sub> είναι το κέρδος μίας υποθετικής κεραίας που ακτινοβολεί όλη την ισχύ της σε μία τέλεια ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή. Οι υπάρχουσες κεραίες κατασκευάζονται ώστε να συγκεντρώνουν την ισχύ του σήματος προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Για έναν απομακρυσμένο δέκτη που δε γνωρίζει τι είδους κεραία στέλνει το σήμα, αυτό που "φαίνεται" είναι το συγκεντρωμένο σήμα που έχει σταλεί και μοιάζει σαν έχει σταλεί από μία ιστροπική κεραία η οποία με κάποιο τρόπο έχει αυξήσει την ισχύ του εισερχόμενου σήματος και το έχει εκπέμψει σφαιρικά, έτσι με αυτόν τον τρόπο λέμε ότι οι κεραίες έχουν "κέρδος".

**EIRP**: Εκφράζει την ακτινοβλούμενη ισχύ της κεραίας, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες των παθητικών στοιχείων του συστήματος εσωτερικής κάλυψης. Στην ουσία είναι η ισχύς του σήματος στον κύριο λοβό της κεραίας σε σχέση με μια ιστροπική κεραία (0 dB ενίσχυση). Ισούται με την ενίσχυση της κεραίας σε dB συν την ισχύ του σήματος που δέχεται η κεραία από τον πομπό (όπως φαίνεται στην εικόνα 0.11).



**Εικόνα 0.11:** Η ισχύς του σήματος στον κύριο λοβό της κεραίας σε σχέση με μια ιστροπική κεραία.



**Εικόνα 0.12:** Παράδειγμα οριζόντιας και κατακόρυφης κατευθυντικότητας ομοιοκατευθυντικών αλλά και κατευθυντικών κεραιών.

Επομένως το EIRP ορίζεται ως:

$$\text{EIRP} = (\text{RF power from the RF source}) - (\text{loss in the system}) + (\text{directivity of the antenna})$$

Για παράδειγμα σε σύστημα εσωτερικής κάλυψης η radio unit (μονάδα επεξεργασίας RF) κάνει εκπομπή με 10 dBm και είναι διασυνδεδεμένη με μια 2.14 dBi ομοιοκατευθυντική κεραία σε ομοαξονικό καλώδιο με 1 dB απώλειες. Το αναμενόμενο EIRP θα είναι:

$$\text{EIRP} = 10 \text{ dBm} - 1 \text{ dB} + 2.14 \text{ dBi} = 11.14 \text{ dBm}$$



# 1. Κυψελωτά Ασύρματα Δίκτυα

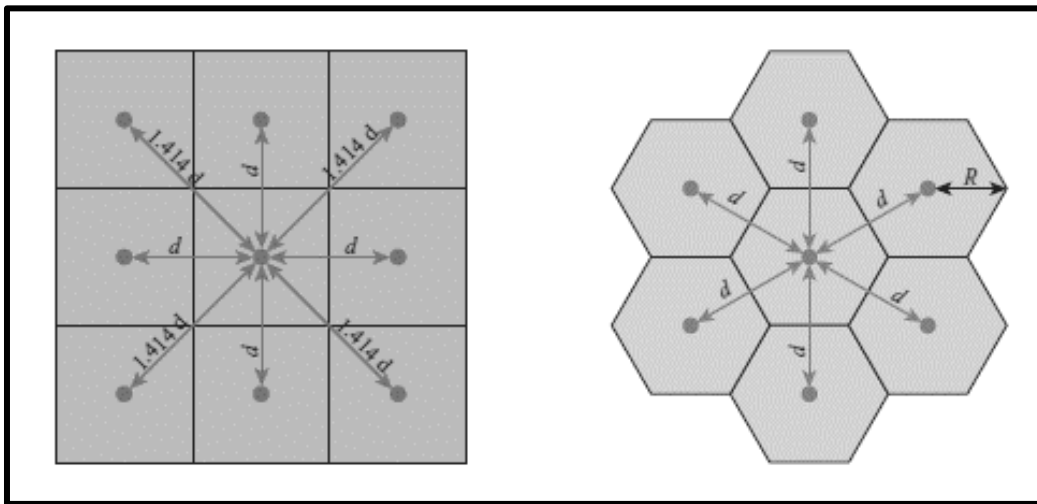
## 1.1 Αρχές Κυψελωτών Δικτύων

Η κυψελοειδής ασύρματη μετάδοση (cellular ratio) είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε για να αυξήσει την διαθέσιμη χωρητικότητα για την υπηρεσία των κινητών ασύρματων τηλεφώνων. Πριν από την εμφάνιση της κυψελοειδούς ασύρματης μετάδοσης, η υπηρεσία κινητών ασύρματων τηλεφώνων παρέχονταν από έναν μόνο υψηλής ισχύος πομποδέκτη. Ένα τυπικό σύστημα μπορούσε να υποστηρίξει γύρω στα 25 κανάλια με ενεργό ακτίνα της τάξης των 80 km. Ο τρόπος για να αυξήσουμε την χωρητικότητα του συστήματος είναι να χρησιμοποιήσουμε συστήματα χαμηλότερης ισχύος με μικρότερη ακτίνα και με περισσότερους πομποδέκτες.

## 1.2 Οργάνωση Κυψελωτών Δικτύων

Η ουσία ενός ασύρματου δικτύου είναι η χρήση πολλών πομπών χαμηλής ισχύος, της τάξεως των 100 W ή και λιγότερο. Επειδή η εμβέλεια ενός τέτοιου πομπού είναι μικρή, μια περιοχή μπορεί να διαιρεθεί σε **κυψέλες (cells)**, και η κάθε μια εξυπηρετείται από την δικιά της κεραία. Σε κάθε κυψέλη εκχωρείται μια ζώνη συχνοτήτων και εξυπηρετείται από έναν **σταθμό βάσης (base station)**, ο οποίος αποτελείται από έναν πομπό, έναν δέκτη και μια μονάδα ελέγχου. Στις γειτονικές κυψέλες εκχωρούνται διαφορετικές κυψέλες για να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Αν όμως οι κυψέλες απέχουν μεταξύ τους αρκετά τότε μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια ζώνη συχνοτήτων.

Η πρώτη σχεδιαστική απόφαση που πρέπει να ληφθεί είναι η μορφή των κυψελών για την κάλυψη μιας περιοχής. Η πιο απλή διάταξη που μπορεί να οριστεί είναι ένας πίνακας τετράγωνων κυψελών (εικόνα 1.1). Ωστόσο αυτή η γεωμετρική διάταξη δεν είναι ιδανική. Αν το μήκος πλευράς μιας τετράγωνης κυψέλης είναι  $d$ , τότε μια κυψέλη έχει τέσσερις γείτονες σε απόσταση  $d$  και τέσσερις γείτονες σε απόσταση ρίζα  $2d$ . Καθώς ο χρήστης κινητού μέσα σε μια κυψέλη κινείται προς τα όρια της κυψέλης, είναι καλύτερο αν όλες οι γειτονικές κεραίες ισαπέχουν. Αυτό απλοποιεί την εργασία για το καθορισμό για το ποτε πρέπει να γίνει η μεταγωγή του χρήστη σε μια γειτονική κεραία και για το ποια κεραία πρέπει να επιλεγεί. Μια εξαγωνική διάταξη παρέχει την δυνατότητα κεραιών που ισαπέχουν (σχήμα 1.1). Η ακτίνα ενός εξαγώνου ορίζεται ότι είναι η ακτίνα του κύκλου που το περιβάλλει (ισοδύναμα, η απόσταση από το κέντρο προς την κάθε κορυφή ή αλλιώς ίση με το μήκος μιας πλευράς του εξαγώνου).



**Εικόνα 1.1:** Κυψελοειδής γεωμετρικές διατάξεις.

Στην πράξη δεν χρησιμοποιείται ακριβώς με εξαγωνική διάταξη. Οι αποκλίσεις από την ιδανική μορφή οφείλονται σε τοπογραφικούς περιορισμούς, σε τοπικές συνθήκες καθυστέρησης διάδοσης και σε πρακτικούς περιορισμούς στην τοποθέτηση των κεραιών.

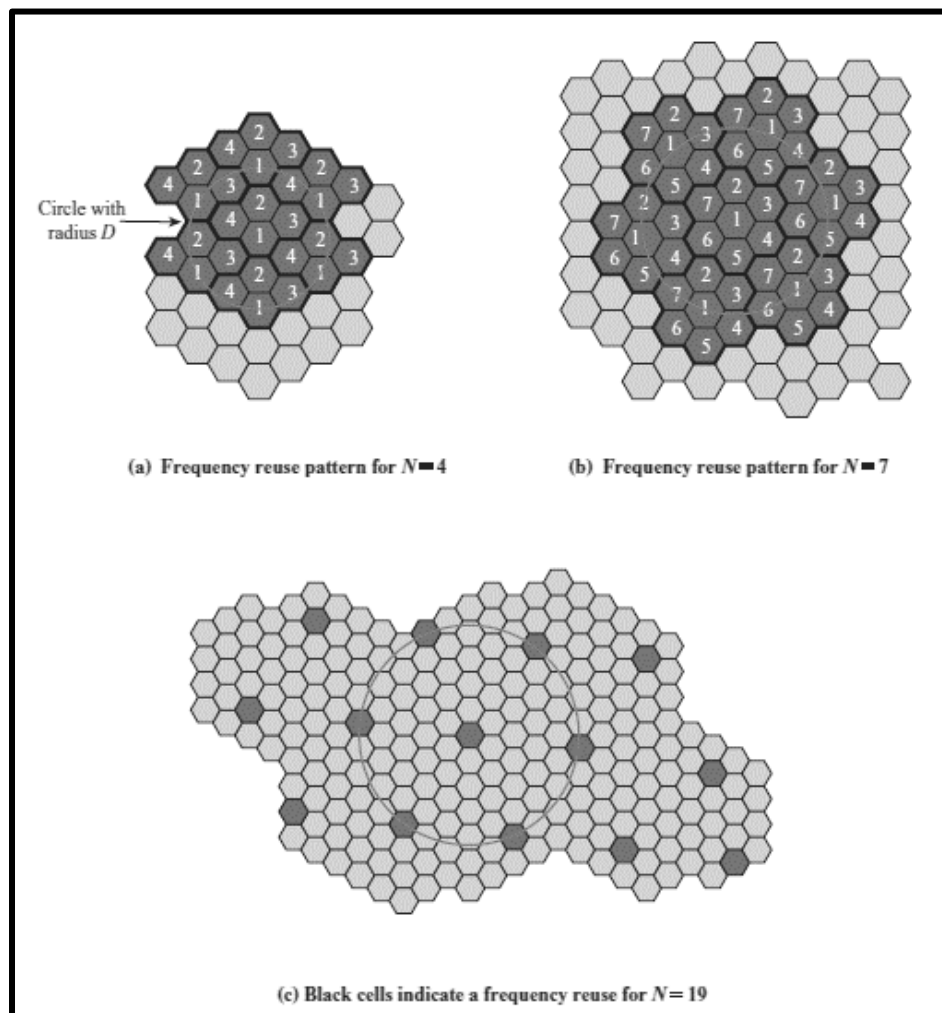
Με ένα ασύρματο κυψελοειδές σύστημα, έχουμε τον περιορισμό στο κατά πόσο συχνά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ίδια συχνότητα για διαφορετικές επικοινωνίες γιατί τα σήματα, όταν δεν περιορίζονται, μπορούν να επηρεάσουν το ένα το άλλο ακόμα και αν είναι γεωγραφικά περιορισμένα.

### 1.3 Επαναχρησιμοποίηση Συχνότητας Κυψελωτών Δικτύων

Σε ένα κυψελοειδές σύστημα, κάθε κυψέλη έχει ένα πομποδέκτη βάσης. Η ισχύς εκπομπής ελέγχεται προσεκτικά (στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό μέσα στο άκρως μεταβαλλόμενο περιβάλλον κινητής επικοινωνίας) για να είναι δυνατή η επικοινωνία μέσα στην κυψέλη που χρησιμοποιεί μία συγκεκριμένη συχνότητα, περιορίζοντας ταυτόχρονα σε αυτή τη συχνότητα την ισχύ που διαφεύγει προς τις γειτονικές κυψέλες.

Το ζητούμενο είναι να χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα σε άλλες κοντινές κυψέλες επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη χρήση της ίδιας αυτής συχνότητας σε πολλές ταυτόχρονες συνομιλίες. Γενικά, σε κάθε κυψέλη εκχωρούνται 10 έως 50 συχνότητες, ανάλογα με την αναμενόμενη κίνηση.

Το βασικό πρόβλημα, βέβαια, είναι να καθορίσουμε πόσες κυψέλες πρέπει να μεσολαβούν μεταξύ δύο κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα έτσι ώστε οι δύο κυψέλες να μην επηρεάζουν η μία την άλλη. Υπάρχουν διάφορες μορφές **επαναχρησιμοποίησης συχνότητας** που μπορούν να εφαρμοστούν. Η εικόνα 1.2 παρουσιάζει μερικά παραδείγματα. Αν η διάταξη αποτελείται από  $A$  κυψέλες και σε κάθε κυψέλη έχει εκχωρηθεί ο ίδιος αριθμός συχνοτήτων, τότε κάθε κυψέλη μπορεί να έχει  $K/N$  συχνότητες, όπου  $K$  είναι ο συνολικός αριθμός των συχνοτήτων που έχουν εκχωρηθεί στο σύστημα. Για το δίκτυο AMPS,  $K = 395$  και  $N = 7$  είναι η μικρότερη διάταξη που μπορεί να δώσει επαρκή απομόνωση μεταξύ δύο χρήσεων της ίδιας συχνότητας. Αυτό σημαίνει ότι κατά μέσο όρο μπορούν να υπάρχουν το πολύ 57 συχνότητες ανά κυψέλη.



**Εικόνα 1.2:** Διατάξεις επαναχρησιμοποίησης συχνότητας



Για το χαρακτηρισμό της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι εξής:

**D:** Ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κέντρων των κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων

**R:** Ακτίνα κυψέλης

**d:** Απόσταση μεταξύ των κέντρων γειτονικών κυψελών

**N:** Αριθμός των κυψελών σε μία επαναλαμβανόμενη διάταξη (κάθε κυψέλη στη διάταξη χρησιμοποιεί μία μοναδική ζώνη συχνοτήτων), που λέγεται **συντελεστής επαναχρησιμοποίησης** (reuse factor)

Σε μία εξαγωνική διάταξη κυψέλης, μόνο οι παρακάτω τιμές του  $N$  είναι δυνατές:

$$N = I^2 + J^2 + (I \times J) \quad I, J = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Έτσι οι πιθανές τιμές του  $N$  είναι 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21 .. κτλ. Επίσης ισχύ και η σχέση:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

#### 1.4 Αύξηση Χωρητικότητας Κυψελωτών Δικτύων

Με το πέρασμα του χρόνου, όσο περισσότεροι πελάτες χρησιμοποιούν το σύστημα, η κίνηση μπορεί να αυξηθεί με αποτέλεσμα οι εκχωρημένες συχνότητες σε μία κυψέλη να μην επαρκούν για τη διαχείριση των κλήσεων της. Οι προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι οι εξής:

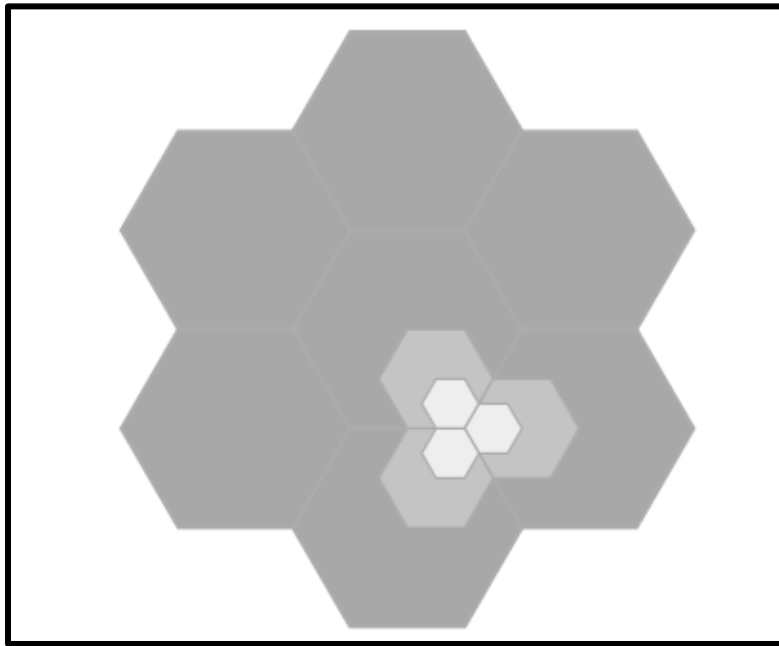
**Προσθήκη νέων καναλιών:** Συνήθως, όταν εγκαθίσταται ένα σύστημα σε μία περιοχή δε χρησιμοποιούνται όλα τα κανάλια, και η ανάπτυξη και η επέκτασή του μπορεί να επιτευχθεί με συστηματικό τρόπο, προσθέτοντας νέα κανάλια.

**Δανεισμός συχνοτήτων:** Στην απλούστερη περίπτωση, οι υπερφορτωμένες κυψέλες παίρνουν συχνότητες από κάποιες γειτονικές κυψέλες. Οι συχνότητες μπορούν επίσης να εκχωρούνται δυναμικά.

**Διάσπαση κυψελών:** Στην πράξη; η κατανομή της κίνησης και των τοπογραφικών χαρακτηριστικών δεν είναι ομοιόμορφη, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα για αύξηση της χωρητικότητας. Οι κυψέλες των περιοχών υψηλής χρήσης μπορούν να χωριστούν σε μικρότερες κυψέλες. Γενικά, οι αρχικές κυψέλες είναι μεγέθους περίπου από 6.5 μέχρι 13 km. Οι μικρότερες κυψέλες μπορούν και αυτές να χωριστούν σε ακόμα μικρότερες κυψέλες, όμως σε γενικές γραμμές οι κυψέλες της τάξης του 1.5 km είναι κοντά στο πρακτικό ελάχιστο μέγεθος (δείτε όμως παρακάτω και την παράγραφο που αναφέρεται στις μικροκυψέλες). Για να χρησιμοποιήσουμε μία μικρότερη κυψέλη, το επίπεδο ισχύος πρέπει να μειωθεί ώστε το σήμα να κρατηθεί μέσα στην κυψέλη. Επίσης, καθώς οι κινητές μονάδες μετακινούνται, διέρχονται από κυψέλη σε κυψέλη, η οποία είναι μία διαδικασία που απαιτεί μεταφορά της κλήσης από τον ένα πομποδέκτη βάσης στον άλλον. Αυτή η διαδικασία λέγεται **μεταπομπή (handoff)**. Όσο μικρότερες γίνονται οι κυψέλες, τόσο πιο συχνές γίνονται αυτές οι μεταπομπές. Το Σχήμα 1.3 δείχνει σχηματικά πως μπορούν να διαιρεθούν οι κυψέλες για να παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα. Μία μείωση της

ακτίνας κατά συντελεστή  $F$  μειώνει την περιοχή κάλυψης και αυξάνει τον απαιτούμενο αριθμό σταθμών βάσης κατά συντελεστή  $F^2$ .

**Τομεοποίηση κυψελών:** Με την τομεοποίηση των κυψελών, μία κυψέλη χωρίζεται σε έναν αριθμό τμημάτων σφηνοειδούς μορφής με δική του ομάδα καναλιών το καθένα, συνήθως 3 ή έξι τμήματα ανά κυψέλη. Σε κάθε τμήμα εκχωρείται μία ξεχωριστή υποομάδα των καναλιών της κυψέλης και στο σταθμό βάσης χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραιές για να εστιάζουν στο κάθε τμήμα.



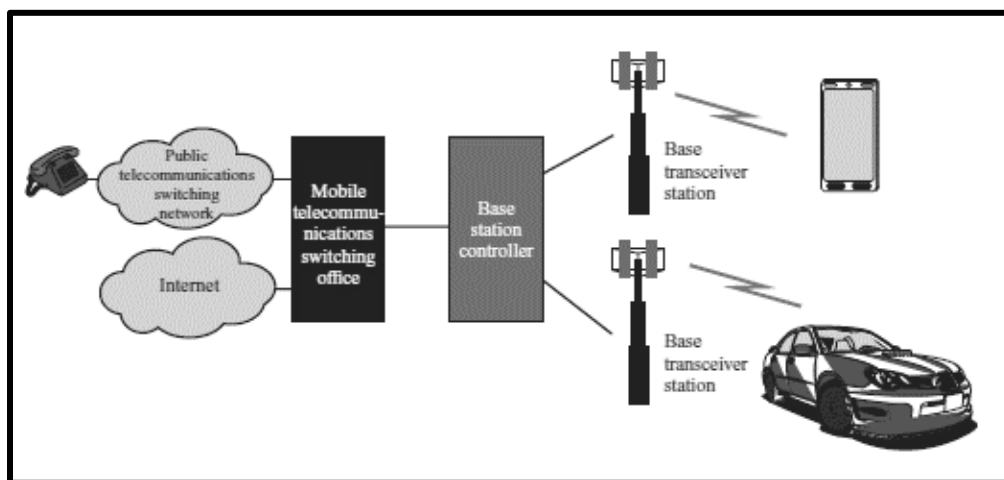
**Εικόνα 1.3:** Τμηματοποίηση κυψελών.

**Μικροκυψέλες:** Καθώς οι κυψέλες μικραίνουν, οι κεραιές μεταφέρονται από τις κορυφές ψηλών κτιρίων ή λόφων στις κορυφές μικρών κτιρίων ή στις πλευρές μεγάλων κτιρίων, για να καταλήξουν πάνω σε κολώνες φωτισμού όπου σχηματίζουν μικροκυψέλες. Κάθε μείωση στο μέγεθος της κυψέλης συνοδεύεται από μείωση στα εκπεμπόμενα επίπεδα ισχύος από τους σταθμούς βάσης και τις κινητές μονάδες (συσκευές). Οι μικροκυψέλες είναι χρήσιμες στους δρόμους των πόλεων σε υπερφορτωμένες περιοχές, κατά μήκος των αυτοκινητόδρομων και στο εσωτερικό μεγάλων δημόσιων κτιρίων.

Η μέση καθυστέρηση διασποράς αναφέρεται στην καθυστέρηση διασποράς πολλαπλών διαδρομών (όταν δηλαδή το ίδιο σήμα ακολουθεί διαφορετικές διαδρομές και υπάρχει μία χρονική καθυστέρηση μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας άφιξης του σήματος στο δέκτη). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση μικρότερων κυψελών δίνει τη δυνατότητα για χρήση μικρότερης ισχύος και παρέχει καλύτερες συνθήκες διάδοσης.

## 1.5 Λειτουργία Κυψελωτών Συστημάτων

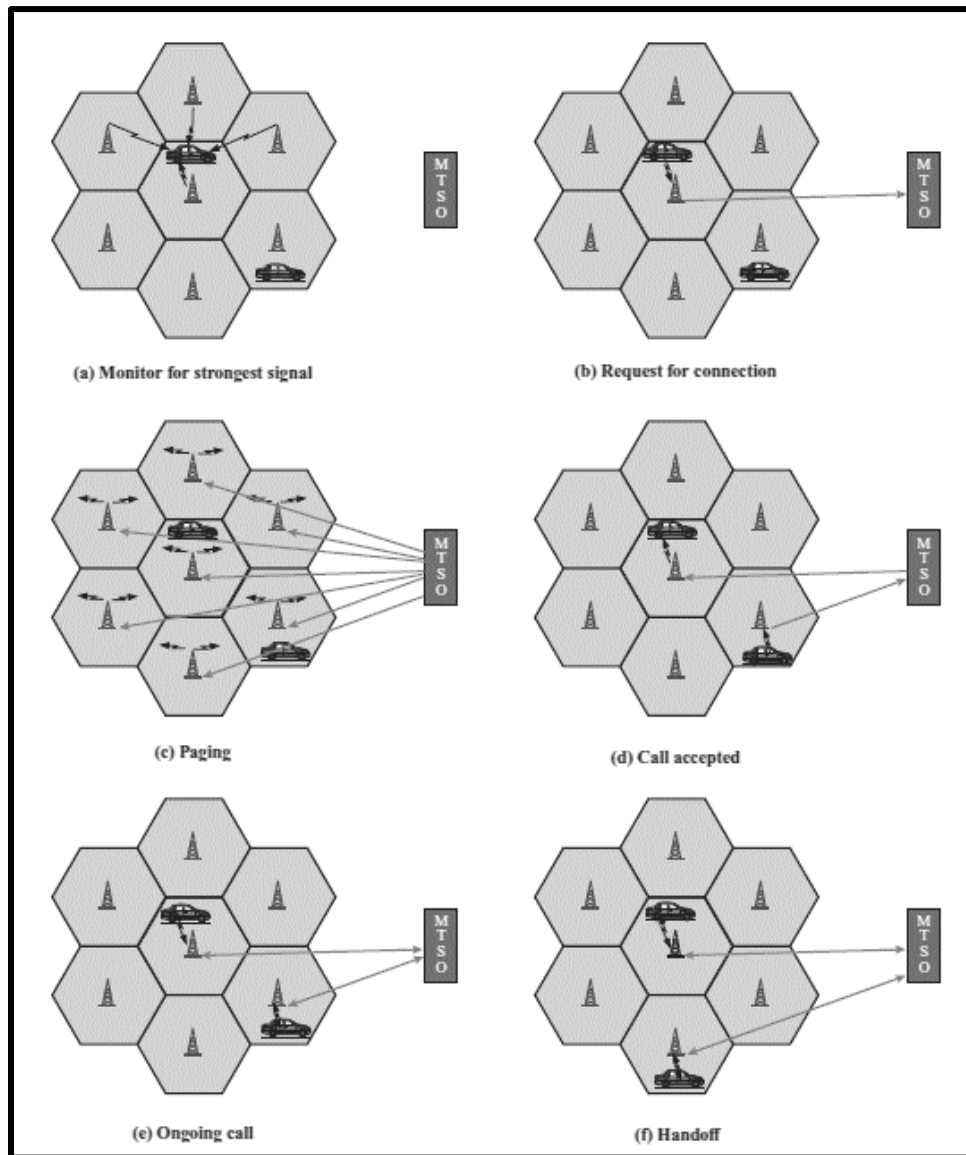
Η εικόνα 1.4 δείχνει τα βασικά στοιχεία ενός κυψελοειδούς συστήματος. Στο κέντρο περίπου της κάθε κυψέλης βρίσκεται ο σταθμός βάσης. Ο σταθμός βάσης περιλαμβάνει την κεραία, τον ελεγκτή και τους διάφορους πομποδέκτες για την επικοινωνία στα κανάλια που έχουν εκχωρηθεί σε αυτή την κυψέλη. Ο ελεγκτής χρησιμοποιείται για να χειρίζεται τη διαδικασία της κλήσης μεταξύ της κινητής μονάδας και του υπόλοιπου δικτύου. Κάθε χρονική στιγμή, ένας αριθμός κινητών μονάδων χρηστών μπορούν να είναι ενεργές, να μετακινούνται μέσα στην κυψέλη και να επικοινωνούν με το σταθμό βάσης. Κάθε σταθμός βάσης συνδέεται σε ένα κέντρο μεταγωγής κινητών τηλεπικοινωνιών (mobile telecommunications switching office, MTSO), όπου κάθε MTSO εξυπηρετεί πολλούς σταθμούς βάσης. Συνήθως, η ζεύξη μεταξύ ενός MTSO και ενός σταθμού βάσης είναι ενσύρματη αλλά μπορεί να είναι και ασύρματη. Το MTSO συνδέει τις κλήσεις μεταξύ των κινητών μονάδων αλλά παράλληλα συνδέεται και στο δημόσιο τηλεφωνικό ή τηλεπικοινωνιακό δίκτυο καθιστώντας δυνατή τη σύνδεση μεταξύ ενός σταθερού συνδρομητή του δημόσιου δικτύου και ενός κινητού συνδρομητή του κυψελοειδούς δικτύου. Το MTSO εκχωρεί το κανάλι φωνής σε κάθε κλήση, πραγματοποιεί μεταπομπές και παρακολουθεί τις κλήσεις για τις πληροφορίες χρέωσης.



Εικόνα 1.4: Διάγραμμα κυψελοειδούς συστήματος

Η χρήση ενός κυψελοειδούς συστήματος είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και δεν απαιτεί καμία ενέργεια από την πλευρά του χρήστη εκτός από το να κάνει ή να απαντήσει μία κλήση. Οι τύποι των καναλιών που χρησιμοποιούνται μεταξύ κινητής μονάδας και σταθμού βάσης είναι δύο: τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης. Τα **κανάλια ελέγχου (control channels)** χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών που έχουν να κάνουν με τη δημιουργία και τη διατήρηση κλήσεων και με την αποκατάσταση επαφής μεταξύ μίας κινητής μονάδας και του πλησιέστερου σταθμού βάσης. Τα **κανάλια κίνησης (traffic channels)** μεταφέρουν συνδέσεις φωνής ή δεδομένων μεταξύ των χρηστών.

Η εικόνα 1.5 παρουσιάζει τα βήματα μίας τυπικής κλήσης μεταξύ δύο κινητών χρηστών σε μία περιοχή που ελέγχεται από ένα MTSO:



Εικόνα 1.5: Παράδειγμα

**Εκκίνηση κινητής μονάδας:** Όταν η κινητή μονάδα ενεργοποιείται, ανιχνεύει και επιλέγει το κανάλι ελέγχου που παρέχει την ισχυρότερη αποκατάσταση επαφής που χρησιμοποιείται σε αυτό το σύστημα. Οι κυψέλες με διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων εκπέμπουν αντίστοιχα σε διαφορετικά κανάλια αποκατάστασης. Ο δέκτης επιλέγει το κανάλι με την ισχυρότερη αποκατάσταση και παρακολουθεί αυτό το κανάλι. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ότι η κινητή μονάδα έχει επιλέξει αυτόματα την κεραία του σταθμού βάσης της κυψέλης μέσα στην οποία θα λειτουργήσει. Τότε λαμβάνει χώρα μία χειραψία (**handshake**) μεταξύ της κινητής μονάδας και του MTSO που ελέγχει αυτή την κυψέλη μέσω του σταθμού βάσης της κυψέλης. Η χειραψία χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του χρήστη και την

καταγραφή της θέσης του. Όσο η κινητή μονάδα είναι ενεργοποιημένη, η διαδικασία ανίχνευσης επαναλαμβάνεται περιοδικά για να ελέγχεται η κίνηση της μονάδας. Αν η μονάδα εισέλθει σε μία νέα κυψέλη, τότε επιλέγεται ένας νέος σταθμός βάσης. Επιπλέον, η κινητή μονάδα παρακολουθεί για τηλεειδοποιήσεις, οι οποίες εξετάζονται παρακάτω.

**Δημιουργία κλήσης από την κινητή μονάδα:** Μία κινητή μονάδα δημιουργεί μία κλήση με την αποστολή του αριθμού της μονάδας που καλείται στο προεπιλεγμένο κανάλι αποκατάστασης. Ο δέκτης στην κινητή μονάδα ελέγχει πρώτα ότι το κανάλι αποκατάστασης δε χρησιμοποιείται, εξετάζοντας τις πληροφορίες στο εισερχόμενο κανάλι (από το σταθμό βάσης). Όταν ανιχνεύεται ένα διαθέσιμο κανάλι, η κινητή μονάδα μπορεί να εκπέμψει στο αντίστοιχο εξερχόμενο κανάλι (προς το σταθμό βάσης). Ο σταθμός βάσης στέλνει την αίτηση στο MTSO.

**Τηλεειδοποίηση:** Το MTSO επιχειρεί τότε να ολοκληρώσει τη σύνδεση προς την καλούμενη μονάδα, στέλνοντας ένα μήνυμα τηλεειδοποίησης προς κάποιους σταθμούς βάσης, ανάλογα με τον καλούμενο κινητό αριθμό. Ο κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει το σήμα στο δικό του κανάλι αποκατάστασης.

**Αποδοχή κλήσης:** Η καλούμενη μονάδα κλήσης αναγνωρίζει τον αριθμό της στο κανάλι αποκατάστασης που παρακολουθείται και αποκρίνεται σε αυτόν το σταθμό βάσης, ο οποίος στέλνει την απόκριση στο MTSO. Το MTSO αποκαθιστά ένα κύκλωμα μεταξύ του καλούντος και του καλούμενου σταθμού βάσης. Ταυτόχρονα, το MTSO επιλέγει ένα διαθέσιμο κανάλι κίνησης μέσα στην κυψέλη του κάθε σταθμού βάσης και ειδοποιεί τον κάθε σταθμό βάσης, ο οποίος με τη σειρά του ειδοποιεί την κινητή του μονάδα. Οι δύο κινητές μονάδες συντονίζονται στα αντίστοιχα εκχωρημένα σ' αυτές κανάλια.

**Εξελισσόμενη κλήση:** Καθώς η σύνδεση εξελίσσεται, οι δύο κινητές μονάδες ανταλλάσσουν σήματα φωνής ή δεδομένων τα οποία διέρχονται μέσω των αντίστοιχων σταθμών βάσης τους και του MTSO.

**Μεταπομπή:** Αν μία κινητή μονάδα βγει έξω από την εμβέλεια μίας κυψέλης και εισέλθει μέσα στην εμβέλεια μίας άλλης κατά τη διάρκεια της σύνδεσης, το κανάλι κίνησης πρέπει να αλλάξει σε αυτό που είναι εκχωρημένο στο σταθμό βάσης στη νέα κυψέλη. Το σύστημα κάνει αυτή την αλλαγή χωρίς να διακόψει την κλήση και χωρίς να ειδοποιήσει το χρήστη.

Υπάρχουν και κάποιες άλλες λειτουργίες οι οποίες δε φαίνονται στην εικόνα 1.5 οι οποίες είναι οι εξής:

**Φραγή κλήσης:** Κατά τη φάση της δημιουργίας κλήσης από την κινητή μονάδα, αν όλα τα κανάλια κίνησης που είναι εκχωρημένα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης είναι κατειλημμένα, τότε η κινητή μονάδα επιχειρεί έναν προκαθορισμένο αριθμό επαναλαμβανόμενων προσπαθειών. Στην περίπτωση που όλες οι προσπάθειες είναι ανεπιτυχείς, τότε επιστρέφεται στο χρήστη ο τόνος κατειλημμένου.

**Τερματισμός κλήσης:** Όταν ο ένας από τους δύο χρήστες παραμένει όπως είναι εκτυπωμένο, το MTSO ενημερώνεται και τα κανάλια κίνησης στους δύο σταθμούς βάσης αποδεσμεύονται.

**Διακοπή κλήσης:** Κατά τη διάρκεια μίας σύνδεσης, εξαιτίας παρεμβολών ή σημείων με αδύνατο σήμα σε κάποιες περιοχές, αν ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να διατηρήσει την ελάχιστη απαιτούμενη ένταση σήματος για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το κανάλι κίνησης προς το χρήστη διακόπτεται και ενημερώνεται το MTSO.

**Κλήσεις προς ή από σταθερό και απομακρυσμένο κινητό χρήστη:** Το MTSO συνδέεται στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής. Συνεπώς, το MTSO μπορεί να αποκαταστήσει μία σύνδεση μεταξύ ενός κινητού χρήστη που βρίσκεται στην περιοχή του και ενός σταθερού συνδρομητή μέσω του τηλεφωνικού δικτύου. Επιπλέον, το MTSO μπορεί να συνδεθεί με ένα απομακρυσμένο MTSO μέσω του τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω αφιερωμένων γραμμών και να αποκαταστήσει μία σύνδεση μεταξύ ενός κινητού χρήστη που βρίσκεται στην περιοχή του και ενός απομακρυσμένου κινητού χρήστη.

## 1.6 Φαινόμενα Διάδοσης Ραδιοκυμάτων

Η επικοινωνία κινητών ραδιοκυμάτων παρουσιάζει πολυπλοκότητες που δε συναντιόνται στην ενσύρματη επικοινωνία ή στη σταθερή ασύρματη επικοινωνία. Η ένταση του σήματος και τα φαινόμενα διάδοσης του σήματος είναι οι δύο πιο σημαντικές περιοχές ενδιαφέροντος.

**Ένταση σήματος (Signal Strength):** Η ένταση του σήματος μεταξύ του σταθμού βάσης και της κινητής μονάδας πρέπει να είναι αρκετά δυνατή για να διατηρείται η ποιότητα του σήματος στο δέκτη αλλά όχι τόσο δυνατή ώστε να δημιουργεί παρεμβολή με κανάλια μίας άλλης κυψέλης που χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι αρκετοί και σύνθετοι. Ο θόρυβος που προκαλείται από τον άνθρωπο μεταβάλλεται σημαντικά έχοντας ως αποτέλεσμα ένα μεταβλητό επίπεδο θορύβου. Για παράδειγμα, ο θόρυβος εκκίνησης των κινητήρων των αυτοκινήτων στην κυψελοειδή περιοχή συχνοτήτων είναι μεγαλύτερος στην πόλη από ότι στα προάστια. Άλλες πηγές σημάτων μεταβάλλονται από τόπο σε τόπο. Η ένταση του σήματος μεταβάλλεται συναρτήσει της απόστασης από το σταθμό βάσης προς ένα σημείο μέσα στην κυψέλη του. Επίσης, η ένταση του σήματος μεταβάλλεται δυναμικά καθώς η κινητή μονάδα μετακινείται.

**Διάλειψη (Fading):** Ακόμα και αν η ένταση του σήματος βρίσκεται μέσα στην περιοχή λειτουργίας, τα φαινόμενα διάδοσης σημάτων μπορούν να αλλοιώσουν το σήμα και να προκαλέσουν σφάλματα.

Στη σχεδίαση μίας κυψελοειδούς διάταξης, ο μηχανικός επικοινωνιών πρέπει να λάβει υπόψη του τα διάφορα αυτά φαινόμενα διάδοσης, το επιθυμητό μέγιστο επίπεδο ισχύος εκπομπής στο σταθμό βάσης και στις κινητές μονάδες, το τυπικό ύψος της κεραίας της κινητής μονάδας και το διαθέσιμο ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης. Αυτοί οι παράγοντες θα καθορίσουν το μέγεθος της κάθε κυψέλης. Δυστυχώς, όμως, όπως αναφέρθηκε ήδη, τα φαινόμενα διάδοσης είναι δυναμικά και δύσκολο να προβλεφθούν. Το καλύτερο που μπορεί να γίνει είναι να φτιάξουμε ένα μοντέλο βασισμένοι σε εμπειρικά δεδομένα και να το εφαρμόσουμε σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον για να δημιουργήσουμε έναν οδηγό για το μέγεθος κυψέλης, Ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα δημιουργήθηκε από τον T. Okumura και στη συνέχεια βελτιώθηκε από τον M. HATA . Το αρχικό μοντέλο ήταν μία λεπτομερής ανάλυση της περιοχής του Τόκιο και δημιουργούσε πληροφορίες απώλειας διαδρομής για ένα αστικό περιβάλλον. Το μοντέλο του Hata είναι μία εμπειρική τυποποίηση η οποία λαμβάνει υπόψη της μία ποικιλία περιβαλλόντων και συνθηκών. Για ένα αστικό περιβάλλον η προβλεπόμενη απώλεια διαδρομής είναι:

$$L_{dB} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_t - A(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d$$

$f_c$ : φέρουσα συχνότητα σε MHz από 150 ως 1500 MHz

$h_t$ : ύψος της κεραίας εκπομπής (σταθμός βάσης) σε m, από 30 ως 300 m

$h_r$ : ύψος της κεραίας λήψης (κινητή μονάδα) σε m, από 1 ως 10 m

$D$ : απόσταση διάδοσης μεταξύ των κεραιών σε km, από 1 ως 20 km

$A(h_r)$ : συντελεστής διόρθωσης για το ύψος της κινητής κεραίας

Για μία μικρή ή μεσαίου μεγέθους πόλη, ο συντελεστής διόρθωσης δίνεται από τη σχέση:

$$A(h_r) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_r - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB}$$

Για μία μεγάλη πόλη δίνεται από τη σχέση:

$$A(h_r) = 8.29 [\log(1.54 h_r)]^2 - 1.1 \text{ dB} \quad \text{for } f_c \leq 300 \text{ MHz}$$

$$A(h_r) = 3.2 [\log(11.75 h_r)]^2 - 4.97 \text{ dB} \quad \text{for } f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

Για να εκτιμήσουμε την απώλεια διαδρομής σε μία προαστιακή περιοχή, ο τύπος για την αστική απώλεια διαδρομής τροποποιείται ως εξής:

$$L_{dB}(\text{suburban}) = L_{dB}(\text{urban small/medium city}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4$$

Για την απώλεια διαδρομής σε ανοικτές περιοχές ο τύπος τροποποιείται ως εξής:

$$L_{dB}(\text{open}) = L_{dB}(\text{urban small/medium city}) - 4.78 (\log f_c)^2 - 18.733 (\log f_c) - 40.98$$

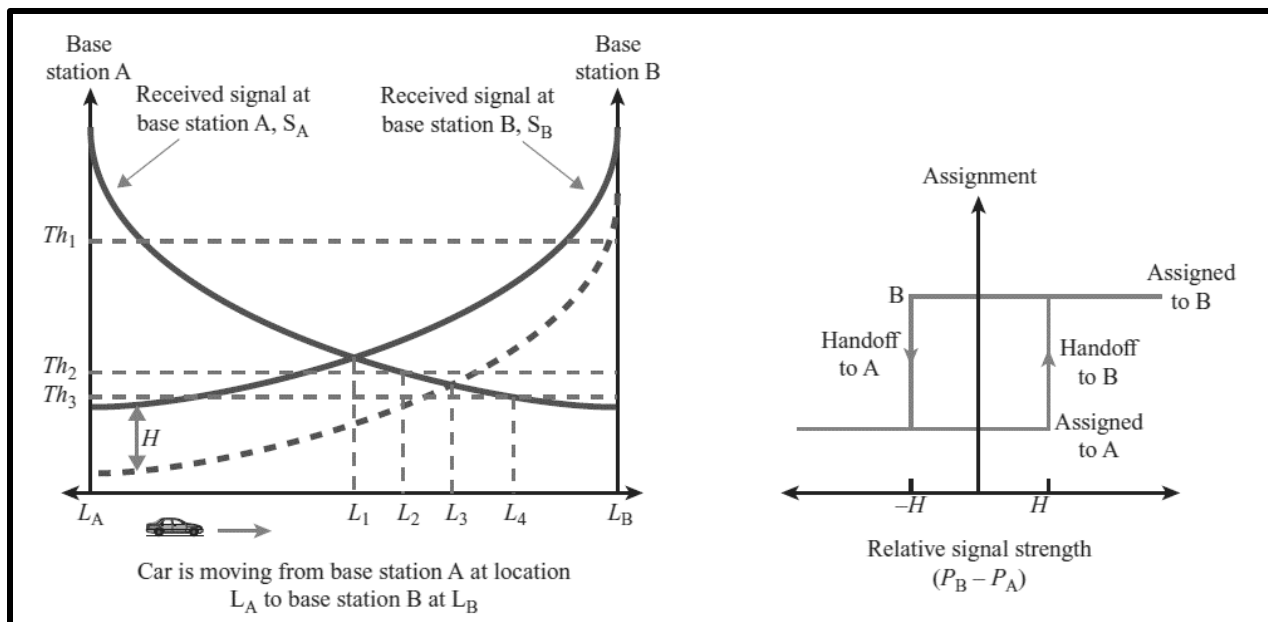
Το μοντέλο Okumura/Hata θεωρείται μεταξύ των κορυφαίων όσον αφορά στην ακρίβεια της πρόβλεψης απώλειας διαδρομής και παρέχει έναν πρακτικό τρόπο για την εκτίμηση της απώλειας διαδρομής σε ποικίλες διαφορετικές καταστάσεις [FREE97, RAPP97].

## 1.7 Μεταπομπή ραδιοκυμάτων

Η **μεταπομπή (handover)** είναι η διαδικασία αλλαγής της εκχώρησης μίας κινητής μονάδας από ένα σταθμό βάσης σε έναν άλλο καθώς η μονάδα μετακινείται από μία κυψέλη σε μία άλλη. Η μεταπομπή χειρίζεται με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικά συστήματα και εμπλέκει αρκετούς παράγοντες, όπως θα δούμε και στη σύντομη περίληψη που ακολουθεί.

Η μεταπομπή μπορεί να ενεργοποιείται από το δίκτυο και στην περίπτωση αυτή η απόφαση λαμβάνεται αποκλειστικά από τις μετρήσεις δικτύου των λαμβανόμενων σημάτων από την κινητή μονάδα. Σε άλλες περιπτώσεις, κάποιες διατάξεις μεταπομπής δίνουν τη δυνατότητα στην κινητή μονάδα να συμμετέχει στην απόφαση μεταπομπής, παρέχοντας ανατροφοδότηση πληροφοριών στο δίκτυο σχετικά με τα σήματα που λαμβάνονται από την κινητή μονάδα. Σε κάθε περίπτωση όμως, μπορεί να χρησιμοποιείται ένας αριθμός διαφορετικών μέτρων απόδοσης για τη λήψη μίας απόφασης. Συγκεκριμένα:

- **Πιθανότητα φραγής κυψέλης:** Η πιθανότητα φραγής μίας νέας κλήσης λόγω μεγάλου φόρτου στη χωρητικότητα κίνησης του σταθμού βάσης. Σε αυτή την περίπτωση, η κινητή μονάδα μεταπέμπεται σε μία γειτονική κυψέλη όχι βάσει της ποιότητας του σήματος αλλά βάσει της χωρητικότητας κίνησης.
- **Πιθανότητα διακοπής κλήσης:** Η πιθανότητα της κλήσης, λόγω της μεταπομπής, να τερματιστεί.
- **Πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης:** Η πιθανότητα που έχει μία αποδεκτή κλήση να μη διακοπεί πριν την ολοκλήρωσή της.
- **Πιθανότητα ανεπιτυχούς μεταπομπής:** Η πιθανότητα που έχει μία μεταπομπή να πραγματοποιηθεί όταν οι συνθήκες λήψης είναι ακατάλληλες.
- **Πιθανότητα φραγής μεταπομπής:** Η πιθανότητα που έχει μία μεταπομπή να μην ολοκληρωθεί επιτυχώς.
- **Πιθανότητα μεταπομπής:** Η πιθανότητα που έχει μία μεταπομπή να εμφανιστεί πριν από την ολοκλήρωση της κλήσης.
- **Ρυθμός μεταπομπής:** Ο αριθμός των μεταπομπών ανά μονάδα χρόνου.
- **Διάρκεια διακοπής:** Το χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια μίας μεταπομπής στο οποίο μία κινητή μονάδα δεν είναι συνδεδεμένη σε κανέναν από τους δύο σταθμούς βάσης.
- **Καθυστερήση μεταπομπής:** Η απόσταση που διανύει η κινητή μονάδα από το σημείο από το οποίο θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί η μεταπομπή μέχρι το σημείο που πραγματοποιείται.



Εικόνα 1.6: Μεταπομπή μεταξύ δυο κυψελών.



- **Σχετική ένταση σήματος:** Η κινητή μονάδα μεταπέμπεται από το σταθμό βάσης A προς το σταθμό βάσης B όταν η ένταση του σήματος στον B για πρώτη φορά είναι μεγαλύτερη από αυτή στον A. Αν η ένταση του σήματος στη συνέχεια πέσει κάτω από αυτή του A, η κινητή μονάδα μεταπέμπεται πίσω στον A.
- **Σχετική ένταση σήματος με κατώφλι:** Η μεταπομπή συμβαίνει μόνο αν το σήμα στον τρέχοντα σταθμό βάσης είναι αρκετά αδύνατο (μικρότερο από κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι) και το άλλο σήμα είναι το ισχυρότερο από τα δύο. Ο σκοπός είναι ότι εφόσον το σήμα στον τρέχοντα σταθμό βάσης είναι ικανοποιητικό η μεταπομπή δεν είναι απαραίτητη.
- **Σχετική ένταση σήματος με υστέρηση:** Η μεταπομπή συμβαίνει μόνο αν ο νέος σταθμός βάσης είναι αρκετά ισχυρότερος από τον τρέχοντα σταθμό βάσης
- **Τεχνικές πρόβλεψης:** Η απόφαση για την πραγματοποίηση της μεταπομπής βασίζεται στην αναμενόμενη μελλοντική τιμή της λαμβανόμενης έντασης σήματος.

## 1.8 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

Η χωρητικότητα μίας κυψέλης είναι ίση με τον αριθμό των καναλιών συχνότητας που της έχουν εκχωρηθεί. Στην ιδανική περίπτωση, ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών σε μία κυψέλη θα ήταν ίσος με το συνολικό αριθμό συνδρομητών που θα ήταν ενεργοί οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Στην πράξη, δεν είναι εφικτό η χωρητικότητα να χειρίζεται οποιοδήποτε πιθανό φόρτο (κίνηση) όλες τις στιγμές. Ευτυχώς, όλοι οι συνδρομητές δεν πραγματοποιούν κλήσεις ταυτόχρονα και επομένως είναι λογικό να δίνουμε τέτοιο μέγεθος στο δίκτυο ώστε να μπορεί να χειριστεί κάποιο αναμενόμενο επίπεδο κίνησης. Αυτός είναι και ο κανόνας της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Οι αρχές της τηλεπικοινωνιακής κίνησης αναπτύχθηκαν στη σχεδίαση των τηλεφωνικών μεταγωγέων και των τηλεφωνικών δικτύων κυκλωμάτων μεταγωγής, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν ισοδύναμα και στα κυψελοειδή δίκτυα. Έστω ότι έχουμε μία κυψέλη που μπορεί να διαχειριστεί  $N$  ταυτόχρονους χρήστες (χωρητικότητα  $N$  καναλιών) και η οποία έχει  $L$  πιθανούς συνδρομητές ( $L$  κινητές μονάδες). Αν  $L < N$ , τότε το σύστημα λέγεται **αφρακτικό σύστημα (nonblocking)**, δηλαδή όλες οι κλήσεις μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα κάθε χρονική στιγμή. Αν  $L > N$ , τότε το σύστημα λέγεται **σύστημα έμφραξης (blocking)**, δηλαδή ένας συνδρομητής μπορεί να επιχειρήσει να πραγματοποιήσει μία κλήση και όλη η χωρητικότητα να είναι σε πλήρη χρήση οπότε θα γίνει φραγή της κλήσης. Για ένα σύστημα έμφραξης, τα θεμελιώδη ερωτήματα για την απόδοση, στα οποία θα θέλαμε κάποιες απαντήσεις, είναι τα εξής:

- Ποιος είναι ο βαθμός φραγής. Δηλαδή ποια είναι η πιθανότητα να γίνει φραγή σε μία αίτηση κλήσης; Με άλλα λόγια, τι χωρητικότητα ( $N$ ) χρειάζεται για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο ανώτατο όριο στην πιθανότητα φραγής;
- Αν οι φραγμένες κλήσεις μπαίνουν σε σειρά αναμονής για εξυπηρέτηση, ποια είναι η μέση καθυστέρηση; Με άλλα λόγια, τι χωρητικότητα χρειάζεται για να επιτευχθεί μία συγκεκριμένη μέση καθυστέρηση;

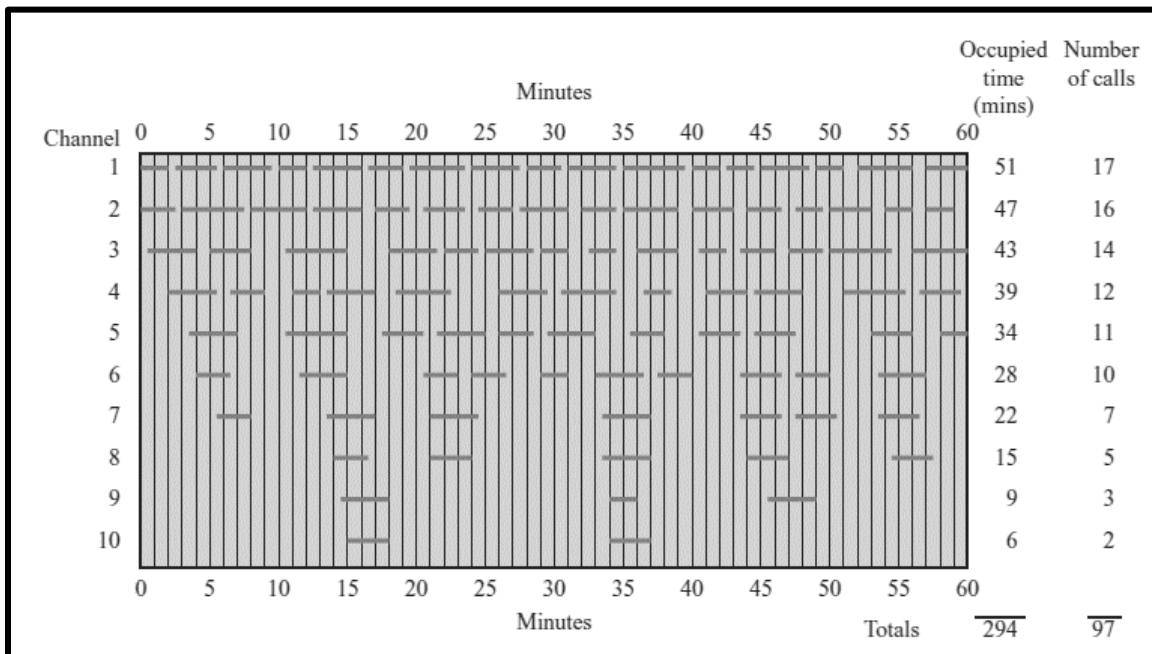
Ο βαθμός του φόρτου που παρουσιάζεται σε ένα σύστημα καθορίζεται από δύο παραμέτρους:

**λ:** ο μέσος ρυθμός κλήσεων που επιχειρείται ανά μονάδα χρόνου

**h:** ο μέσος χρόνος απασχόλησης ανά επιτυχημένη κλήση

Το βασικό μέτρο της κίνησης είναι η **ένταση κίνησης (traffic intensity)**, που εκφράζεται από μία μονάδα χωρίς διαστάσεις, το erlang:

$$A = \lambda h$$



**Εικόνα 1.7:** Παράδειγμα τηλεπικοινωνιακής κίνησης σε κυψέλη με κανάλια N=10.

### 1.9 Έλεγχος Ισχύος

Πολλά σχεδιαστικά θέματα καθιστούν επιθυμητή, ακόμα και αναγκαία σε κάποιες περιπτώσεις, τη δυνατότητα δυναμικού ελέγχου της ισχύος σε ένα κυψελοειδές σύστημα:

Για αποτελεσματική επικοινωνία, η λαμβανόμενη ισχύς πρέπει να είναι αρκετά πάνω από το επίπεδο του θορύβου, γεγονός που καθορίζει την απαιτούμενη ισχύ εκπομπής. Καθώς η κινητή μονάδα απομακρύνεται από τον πομπό, η λαμβανόμενη ισχύς μειώνεται λόγω της φυσιολογικής εξασθένησης. Επιπλέον, τα φαινόμενα της ανάκλασης, της περίθλασης και της διάχυσης μπορούν να προκαλέσουν γρήγορες μεταβολές στα επίπεδα της λαμβανόμενης ισχύος σε μικρές αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το επίπεδο ισχύος είναι το άθροισμα από σήματα που έρχονται από πολλές διαφορετικές διαδρομές και οι φάσεις αυτών των διαδρομών είναι τυχαίες, άλλες φορές προσθετικές και άλλες φορές αφαιρετικές. Καθώς η κινητή μονάδα μετακινείται, η συμβολή της κάθε διαδρομής αλλάζει.

Ταυτόχρονα, είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση της ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος από την κινητή μονάδα για να μειωθεί η παρεμβολή μεταξύ καναλιών της ίδιας συχνότητας που βρίσκονται σε απομακρυσμένες κυψέλες, για την εξάλειψη επιδράσεων που έχουν να κάνουν με τη δημόσια υγεία και για την εξοικονόμηση ενέργειας της μπαταρίας.

Στα συστήματα διασποράς φάσματος που χρησιμοποιούν πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA), είναι επιθυμητή η εξίσωση του επιπέδου της λαμβανόμενης ισχύος από όλες τις κινητές μονάδες στο σταθμό βάσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την απόδοση του συστήματος επειδή όλοι οι χρήστες έχουν την ίδια κατανομή συχνότητας. Υπάρχουν δυο τύποι ελέγχου της ισχύος:

**Ο έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου (open-loop power control)** εξαρτάται αποκλειστικά από την κινητή μονάδα χωρίς ανατροφοδότηση πληροφοριών από το σταθμό βάσης και χρησιμοποιείται σε μερικά συστήματα διασποράς φάσματος. Στα συστήματα διασποράς φάσματος, ο σταθμός βάσης εκπέμπει συνέχεια ένα αδιαμόρφωτο σήμα, που λέγεται **πιλότος (pilot)**.

Ο πιλότος επιτρέπει στην κινητή μονάδα να αποκτήσει το χρονισμό του κανονικού καναλιού CDMA (σταθμός βάσης προς την κινητή μονάδα) και παρέχει μία φάση αναφοράς για την αποδιαμόρφωση. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ισχύος. Η κινητή μονάδα παρακολουθεί το επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος του πιλότου και θέτει την εκπεμπόμενη ισχύ στο αντίθετο κανάλι (κινητή μονάδα προς το σταθμό βάσης) αντιστρόφως ανάλογα με αυτό. Αυτή η προσέγγιση υποθέτει ότι οι εντάσεις των σημάτων στην κανονική και στην αντίθετη ζεύξη είναι στενά συσχετισμένες, που είναι και η συνήθης περίπτωση. Η προσέγγιση ανοικτού βρόχου δεν είναι τόσο ακριβής όσο η προσέγγιση κλειστού βρόχου, όμως η διάταξη ανοικτού βρόχου μπορεί να αντιδράσει πιο γρήγορα σε γρήγορες μεταβολές της έντασης του σήματος, όπως στις περιπτώσεις που ένα κινητό ξεπροβάλλει πίσω από ένα μεγάλο κτίριο. Αυτή η γρήγορη αντίδραση απαιτείται στο αντίθετο κανάλι ενός συστήματος CDMA όπου η ξαφνική αύξηση στη λαμβανόμενη ένταση στο σταθμό βάσης μπορεί να παρεμποδίσει όλα τα άλλα σήματα.

**Ο έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (closed-loop power control)** ρυθμίζει την ένταση του σήματος στο αντίθετο κανάλι (κινητή μονάδα προς το σταθμό βάσης) με βάση κάποια μέτρα της απόδοσης σε αυτό το αντίθετο κανάλι, όπως το επίπεδο ισχύος της λαμβανόμενης ισχύος, ο λόγος λαμβανόμενου σήματος προς το θόρυβο ή ο ρυθμός των λαμβανόμενων σφαλμάτων bit. Ο σταθμός βάσης παίρνει την απόφαση ρύθμισης της ισχύος και στέλνει μία εντολή ρύθμισης ισχύος προς την κινητή μονάδα σε ένα κανάλι ελέγχου. Ο έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου χρησιμοποιείται επίσης για να ρυθμίζει την ισχύ και στο κανονικό κανάλι. Σε αυτή την περίπτωση, η κινητή μονάδα δίνει πληροφορίες για την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος στο σταθμό βάσης, ο οποίος ρυθμίζει την εκπεμπόμενη ισχύ.



## 2. Γενιές Ασύρματων Κυβελωτών Δικτύων (1<sup>η</sup> έως 3<sup>η</sup>)

### 2.1 Εισαγωγή στα ασύρματα κυβελωτά δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς (AMPS-1G)

#### 2.1.1 Εισαγωγή

Τα πρώτα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είχαν αναλογικά κανάλια κίνησης και σήμερα αναφέρονται ως συστήματα πρώτης γενιάς. Από τις αρχές της δεκαετίας 1980 το πιο συνηθισμένο σύστημα πρώτης γενιάς στη Βόρειο Αμερική ήταν η Προηγμένη Υπηρεσία Κινητής Τηλεφωνίας (Advanced Mobile Phone Service, AMPS) που αναπτύχθηκε από την AT&T. Ωστόσο, η χρήση του ήταν πολύ διαδεδομένη και στη Νότιο Αμερική, στην Αυστραλία και στην Κίνα. Αν και σήμερα έχει αντικατασταθεί από τα συστήματα δεύτερης γενιάς, η AMPS εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε κάποιες περιοχές.

#### 2.1.2 Φασματική Εκχώρηση

Στη Βόρειο Αμερική, στο σύστημα AMPS εκχωρούνται δύο ζώνες των 25 MHz (εικόνα 2.1), μία για την εκπομπή από το σταθμό βάσης προς την κινητή μονάδα (869-894 MHz) και μία για την εκπομπή από την κινητή μονάδα προς το σταθμό βάσης (824-849 MHz). Κάθε μία από αυτές τις ζώνες χωρίζεται σε δύο τμήματα για την ενθάρρυνση του ανταγωνισμού (για να μπορούν, δηλαδή, να υποστηριχθούν δύο εταιρείες). Σε κάθε εταιρεία εκχωρούνται μόνο 12.5 MHz στην κάθε κατεύθυνση για το σύστημά της. Τα κανάλια χωρίζονται μεταξύ τους ανά 30 KHz, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν 416 κανάλια ανά εταιρεία. Από αυτά, τα 21 κανάλια εκχωρούνται για τον έλεγχο και τα 395 για να μεταφέρουν κλήσεις. Τα κανάλια ελέγχου είναι κανάλια δεδομένων που λειτουργούν στα 10 kbps. Τα κανάλια ομιλίας μεταφέρουν τις συνομιλίες σε αναλογική μορφή χρησιμοποιώντας διαμόρφωση συχνότητας. Οι πληροφορίες ελέγχου στέλνονται και αυτές μέσω των καναλιών ομιλίας ως ριπές δεδομένων. Αυτός ο αριθμός κανα-

λιών είναι ανεπαρκής για τις περισσότερες μεγάλες αγορές, επομένως πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ώστε ή να χρησιμοποιείται μικρότερο εύρος ζώνης ανά συνομιλία ή να επαναχρησιμοποιούνται συχνότητες. Στις διάφορες τεχνικές της κινητής τηλεφωνίας έχουν χρησιμοποιηθεί και οι δύο αυτές μέθοδοι. Ειδικότερα, όμως, για την AMPS έχει επικρατήσει η μέθοδος της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων.

Base station transmission band	869 to 894 MHz
Mobile unit transmission band	824 to 849 MHz
Spacing between forward and reverse channels	45 MHz
Channel bandwidth	30 kHz
Number of full-duplex voice channels	790
Number of full-duplex control channels	42
Mobile unit maximum power	3 watts
Cell size, radius	2 to 20 km
Modulation, voice channel	FM, 12-kHz peak deviation
Modulation, control channel	FSK, 8-kHz peak deviation
Data transmission rate	10 kbps
Error control coding	BCH (48, 36,5) and (40, 28,5)

**Εικόνα 2.1:** Παράμετροι AMPS

### 2.1.3 Λειτουργία ασύρματων κυψελωτών δικτύων πρώτης γενιάς

Κάθε κινητό τηλέφωνο AMPS έχει μία μονάδα εκχώρησης αριθμών (numeric assignment module, NAM) στη μνήμη ROM. Η NAM περιέχει τον τηλεφωνικό αριθμό της συσκευής, ο οποίος δίνεται από την εταιρεία παροχής της υπηρεσίας, και το σειριακό αριθμό της συσκευής, ο οποίος δίνεται από τον κατασκευαστή. Όταν το τηλέφωνο είναι ανοικτό, εκπέμπει το σειριακό του αριθμό και τον τηλεφωνικό του αριθμό στο MTSO. Το MTSO διατηρεί μία βάση δεδομένων με πληροφορίες για τις κινητές μονάδες που έχουν αναφερθεί ότι είναι κλεμμένες και χρησιμοποιεί το σειριακό αριθμό για τον εντοπισμό τους.

Το MTSO χρησιμοποιεί τον τηλεφωνικό αριθμό για τη διαδικασία της χρέωσης. Αν το τηλέφωνο χρησιμοποιείται σε μία απομακρυσμένη πόλη, η υπηρεσία εξακολουθεί να χρεώνεται στην τοπική εταιρεία παροχής του χρήστη. Όταν γίνεται μία κλήση, λαμβάνει χώρα η ακόλουθη σειρά γεγονότων:

- Ο συνδρομητής πληκτρολογεί τον τηλεφωνικό αριθμό του χρήστη που θέλει να καλέσει και πατά το πλήκτρο κλήσης.
- Το MTSO επιβεβαιώνει ότι ο τηλεφωνικός αριθμός είναι έγκυρος και ότι ο χρήστης μπορεί να κάνει την κλήση. Κάποιες εταιρείες απαιτούν από το χρήστη να εισάγει τον προσωπικό αριθμό αναγνώρισης (personal identification number, PIN) εκτός από τον αριθμό κλήσης, για την αποτροπή κλοπών.
- Το MTSO στέλνει ένα μήνυμα στο κινητό του χρήστη υποδεικνύοντας ποια κανάλια κίνησης να χρησιμοποιήσει για αποστολή και λήψη.
- Το MTSO στέλνει ένα ηχητικό σήμα στον καλούμενο. Όλες αυτές οι λειτουργίες συμβαίνουν μέσα σε 10 δευτερόλεπτα από την αρχή της κλήσης.

- Όταν ο καλούμενος απαντήσει, το MTSSO αποκαθιστά ένα κύκλωμα μεταξύ των δύο χρηστών και ξεκινά τη διαδικασία χρέωσης.
- Όταν ο ένας από τους χρήστες κλείσει, το MTSSO αποδεσμεύει το κύκλωμα, ελευθερώνει τα κανάλια εκπομπής και ολοκληρώνει τη διαδικασία χρέωσης.

#### 2.1.4 Κανάλια ελέγχου ασύρματων κυψελωτών δικτύων πρώτης γενιάς

Κάθε υπηρεσία AMPS περιλαμβάνει 21 αμφίδρομα κανάλια ελέγχου των 30 kHz τα οποία αποτελούνται από 21 αντίθετα κανάλια ελέγχου (reverse control channels, RCC) από το συνδρομητή προς το σταθμό βάσης και από 21 κανονικά κανάλια (forward control channels, FCC) από το σταθμό βάσης προς το συνδρομητή. Αυτά τα κανάλια εκπέμπουν ψηφιακά δεδομένα χρησιμοποιώντας FSK. Και στις δύο περιπτώσεις, τα δεδομένα εκπέμπονται με τη μορφή πλαισίων.

#### 2.1.5 Ψηφιακά κυψελωτά δίκτυα

Καθώς οι πάροχοι σε όλο τον κόσμο διέθεταν καθαρές φωνητικές συνδέσεις μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας για τους πελάτες τους, οι χρήστες είχαν την ανάγκη για συνδέσεις δεδομένων στο κινητό τους. Οι πρώτες εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας έγινε με την βοήθεια των αναλογικών δρομολογητών για να μεταφέρουν σήματα fax πάνω στο αναλογικό δίκτυο. Σύντομα κατέστη σαφές πως υπήρχε η ανάγκη για πραγματική μετάδοση δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για μετάδοση δεδομένων, καλύτερη ποιότητα φωνής αλλά και καλύτερης αποδοτικότητας του διαθέσιμου φάσματος εφαρμόστηκαν τα πρώτα ψηφιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Πολλά ανταγωνιστικά δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς εμφανίστηκαν εκείνη την περίοδο, αλλά σε παγκόσμιο επίπεδο το πιο κυρίαρχο ήταν το GSM. Με την χρήση ψηφιακών σημάτων μετάδοσης πολλά πλεονεκτήματα επιτευχθήκαν:

- Καλύτερη κατανομή του φάσματος.
- Χαμηλότερα κόστη κατασκευής των σταθμών.
- Μείωση των κλοπών, με χρήση κρυπτογράφησης των δεδομένων και των υπηρεσιών.
- Χαμηλότερα κόστη του εξοπλισμού αλλά και τερματικών συσκευών.
- Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από τις τερματικές συσκευές.

## 2.2 Εισαγωγή στα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς (GSM/DCS-2G)

### 2.2.1 Εισαγωγή

Για να κάνουμε καλύτερο αλλά και πιο βέλτιστο σχεδιασμό GSM δικτύου εσωτερικής κάλυψης, ο σχεδιαστής θα πρέπει να γνωρίζει κάποιες βασικές πληροφορίες για το εν λόγω δίκτυο.

Το GSM (2G) πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 1990 ως ένα πλήρως ψηφιακό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Είχε οριστεί από τον ETSI και αρχικά ήταν προορισμένο να λειτουργήσει μόνο στην Ευρώπη. Ωστόσο το GSM αποδείχθηκε μια πολύ ελκυστική τεχνολογία κινητών επικοινωνιών, και μετά την έναρξη λειτουργίας του στην Ευρώπη, το GSM είχε εξελιχθεί λίγο πολύ σε ένα πραγματικό παγκόσμιο πρότυπο για της κινητές επικοινωνίες. Παρόλο που το GSM είναι σχετικά παλιό δίκτυο (κάπου στα 30 χρόνια) συνεχίζει την λειτουργία σχεδόν σε όλο το κόσμο. Μάλιστα οι πάροχοι δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην χρήση του για εσωτερική κάλυψη κτηρίων.

Το δίκτυο GSM αρχικά είχε οριστεί να λειτουργεί στα 900 MHz. Ωστόσο η ίδια δομή αλλά και η αρχιτεκτονική χρησιμοποιήθηκε και για το DCS στα 1800 MHz. Μάλιστα οι GSM/DCS τεχνικές εφαρμόστηκαν και σε άλλες συχνότητες 800-900 MHz και 1800-1900 ανά τον κόσμο, με την μόνη διαφορά τους στην συχνότητα λειτουργίας.

Όλες οι επικοινωνίες στο GSM είναι ψηφιακά πακέτα. Ειδικά η φωνή που μετατρέπεται από αναλογική σε ψηφιακή και ψηφιακή σε αναλογική. Συγκρίνοντας με την αναλογική τηλεφωνία που αναφέρθηκα νωρίτερα, το GSM δίκτυο είναι πολύ περισσότερο ασφαλές και δύσκολο να το διακόψεις σε σχέση με το αναλογικό 1<sup>ης</sup> γενιάς. Εισάγεται η ψηφιακή κρυπτογράφηση, αναγνώριση κλήσης, επιλογή απόρριψης ή επιλογής της κλήσης κ.α.

### 2.2.2 Ράδιο ιδιαιτερότητες ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

Συγκρίνοντας εκείνη την εποχή με τα αναλογικά δίκτυα πρώτης γενιάς όπως το AMPS, νέο αλλά και πιο σοφιστικές δυνατότητες εισήχθησαν στο δίκτυο GSM. Μια νέα δυνατότητα ήταν το DTx (διακοπτόμενη μετάδοση) που άφηνε τον σταθμό βάσης (base station) ή την κινητή συσκευή μόνο να εκπέμπει όταν γινόταν κλήση φωνής. Αυτό παρατείνει την ζωή της κινητής συσκευής αλλά επίσης μειώνει σημαντικά τις παρεμβολές μεταξύ σημάτων uplink και downlink. Ο DTx μπορεί και ελέγχει την δραστηριότητα φωνής στην γραμμή και κατά την περίοδο που δεν διέρχονται σήματα φωνής στην γραμμή τότε η μετάδοση σταματάει. Προκειμένου να αποτρέψει του χρήστες από το να διακόψουν την κλήση όταν κανένας δεν μιλάει, το σύστημα εισάγει έναν μικρό θόρυβο και να ξεγελάει τους χρήστες.

Το GSM σύστημα επίσης χρησιμοποιεί την μεταπήδηση συχνότητας, αντιμετωπίζοντας την επιλεκτική εξασθένιση του καναλιού με την μετατόπιση των ραδιοσυχνοτήτων 217 φορές ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η αναπήδηση ελέγχεται από μια μεμονωμένη ακολουθία μεταπήδησης για κάθε κυψέλη. Στην εικόνα 2.2 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 2<sup>ης</sup> γενιάς.

	GSM	IS-136	IS-95
Year introduced	1990	1991	1993
Access method	TDMA	TDMA	CDMA
Base station transmission band	935 to 960 MHz	869 to 894 MHz	869 to 894 MHz
Mobile station transmission band	890 to 915 MHz	824 to 849 MHz	824 to 849 MHz
Spacing between forward and reverse channels	45 MHz	45 MHz	45 MHz
Channel bandwidth	200 kHz	30 kHz	1250 kHz
Number of duplex channels	125	832	20
Mobile unit maximum power	20 W	3 W	0.2 W
Users per channel	8	3	35
Modulation	GMSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK
Carrier bit rate	270.8 kbps	48.6 kbps	9.6 kbps
Speech coder	RPE-LTP	VSELP	QCELP
Speech-coding bit rate	13 kbps	8 kbps	8, 4, 2, 1 kbps
Frame size	4.6 ms	40 ms	20 ms
Error control coding	Convolutional 1/2 rate	Convolutional 1/2 rate	Convolutional 1/2 rate forward; 1/3 rate reverse

Εικόνα 2.2: Παράμετροι δικτύων κινητής τηλεφωνίας 2<sup>ης</sup> γενιάς

### 2.2.3 Υπηρεσίες δεδομένων ασύρματων κυψελωτών δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς

Τα αναλογικά δίκτυα εκείνη την εποχή ήταν δυνατόν να μεταδίδουν δεδομένα μόνο μέσα από αναλογικά modem και μόνο με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 0.3 kbps. Η πιθανότητα για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα κινητά δίκτυα με την εμφάνιση του GSM στην 1<sup>η</sup> φάση ήταν εκπληκτική. Οι ρυθμοί μετάδοσης αυξήθηκαν στα 9.6 kbps. Σήμερα μπορεί να μας φαίνεται πολύ χαμηλός ο ρυθμός αλλά εκείνη την εποχή ήταν το κάτι άλλο. Μάλιστα δεν είχαν κάνει ακόμα την εμφάνιση τους τα Windows 1.0. Ακόμα, εκείνη την εποχή, θα ήσουν πολύ τυχερός αν η τηλεφωνική σου γραμμή έπιανε την ταχύτητα των 0.3 kbps. Με το πέρασμα των χρόνων το GSM σε εξελίχθηκε στο GPRS και το EDGE και τώρα μπορεί να φτάσει σε ρυθμούς 200 με 300 kbps.

Σχετικά γρήγορα έγινε σαφές πως από τα overhead των καναλιών του GSM να μπορέσουμε να εισάγουμε κάποια περιορισμένα δεδομένα. Έτσι μια νέα υπηρεσία δημιουργήθηκε. Αυτή του SMS. Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την δυνατότητα αποστολής και λήψης κειμένου μέχρι και 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων από μία συσκευή προς μία άλλη. Αρχικά το SMS ήταν να χρησιμοποιείται για την ανακοίνωση φωνητικών μηνυμάτων, πληροφοριών των κυψελών αλλά και άλλων υπηρεσιών.

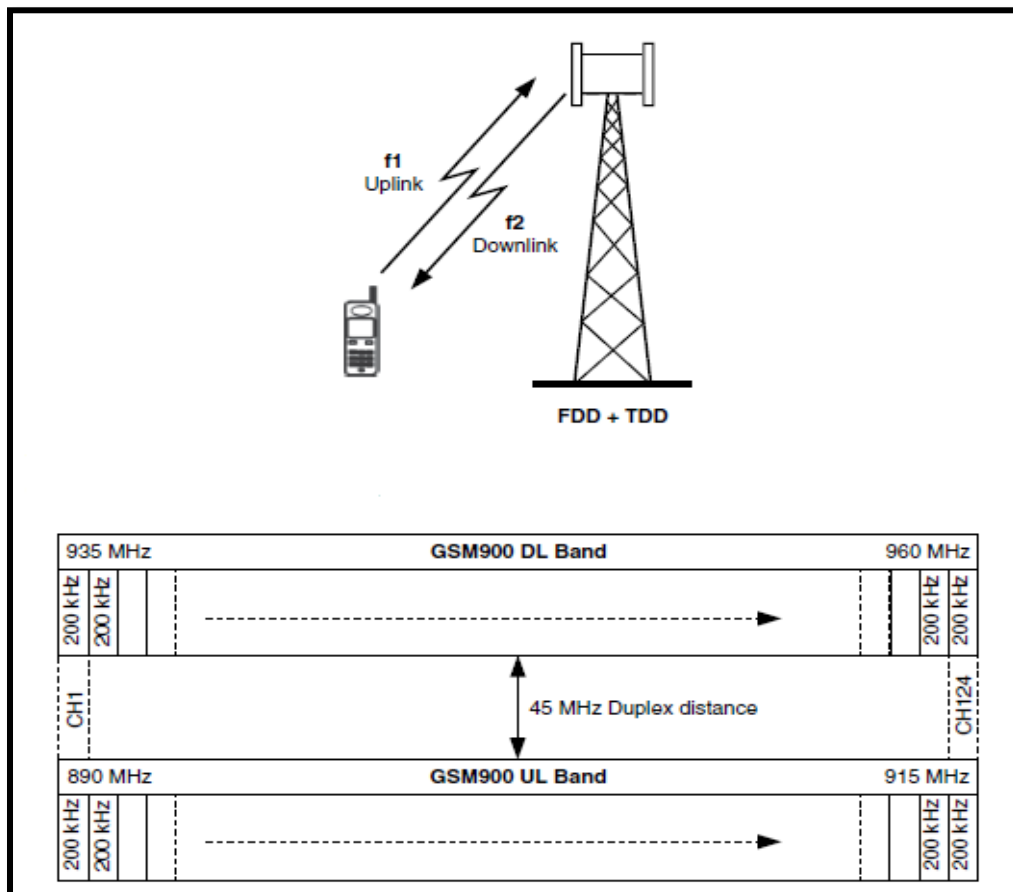
Ακόμα μερικές νέες υπηρεσίες έκαναν την εμφάνιση τους με το GSM. Αυτές ήταν η προώθηση αλλά και η αναμονή κλήσης, κλήσεις διασκέψεις αλλά και φωνητικά μηνύματα. Στις μέρες μας όλα αυτά φαίνονται φυσιολογικά αλλά εκείνη την εποχή ήταν μια πραγματική επανάσταση.



## 2.2.4 Ζώνες συχνοτήτων ασύρματων κυβελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

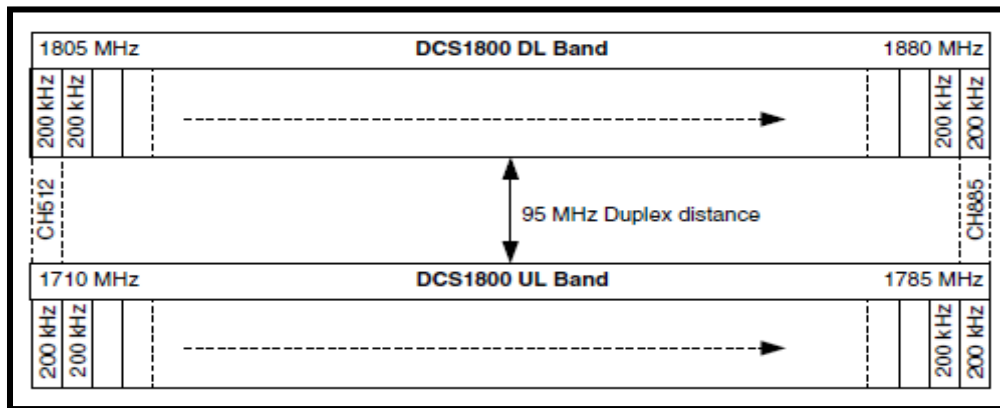
Τα δίκτυα GSM, όπως και όλων των ειδών τα δίκτυα επικοινωνίας, έχουν δυνατότητα λειτουργίας σε κάποιες συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων. Οι ζώνες αυτές στη συνέχεια χωρίζονται σε κανάλια συχνοτήτων, τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε χρονοθυρίδες που αποτελούν τα κανάλια επικοινωνίας των χρηστών με τους σταθμούς βάσης. Έτσι, για κάθε συχνότητα δημιουργούνται οκτώ κανάλια πλήρους ρυθμού, ή 16 μισού ρυθμού ανά συχνότητα και η τεχνική πολύπλεξης που χρησιμοποιείται είναι TDMA/FDD.

• **GSM 900:** Η πρώτη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκε για τα δίκτυα GSM ήταν η ζώνη των 900MHz. Τα δίκτυα αυτά άρχισαν να λειτουργούν το 1990 και η Διεθνής ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) όρισε σαν ζεύγη συχνοτήτων λειτουργίας των δικτύων αυτών τις ζώνες 890-915 MHz και 935-960 MHz. Η ζώνη συχνοτήτων 890-915 MHz ορίστηκε σαν η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η κινητή συσκευή για την επικοινωνία της με τον σταθμό βάσης (Up Link) ενώ η ζώνη 935-960 MHz σαν η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης για την επικοινωνία του με τις κινητές συσκευές (Down Link). Κάθε μία από αυτές τις ζώνες συχνοτήτων, **εύρους 25MHz, υποδιαιρούνται σε 125 κανάλια**, κάθε ένα από τα οποία έχει εύρος ζώνης συχνοτήτων 200kHz, από τα οποία τα 124 κανάλια χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των σταθμών βάσης με τις κινητές συσκευές ενώ 1 κανάλι μένει ελεύθερο.



Εικόνα 2.3: Δίκτυο GSM/2G 900 (κανάλια και συχνότητες uplink και downlink)

• **GSM 1800:** Η εξέλιξη του GSM-900 έγινε ένα χρόνο αργότερα, το 1991, χρονιά που αναπτύχθηκε το σύστημα GSM-1800 (που σε κάποιες χώρες ονομάζεται "Digital Cellular System 1800" (DCS-1800) που ήταν και το πρώτο όνομα που δόθηκε στα δίκτυα αυτά, με την αλλαγή του σε GSM-1800 να λαμβάνει χώρα στα τέλη της δεκαετίας του 1990 που η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS-1800 σε GSM-1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.). Το σύστημα αυτό έχει την ίδια δομή με το GSM-900 με την ειδοποιό διαφορά να είναι οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται. Όπως γίνεται φανερό και από το όνομα του εν λόγω δικτύου, οι ζώνες αυτές είναι στην περιοχή των 1800MHz και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η ζώνη των 1710-1785MHz για Up Link και η ζώνη των 1805-1880MHz για Down Link. **Το εύρος των ζωνών αυτών είναι 95MHz** και, όπως και στο GSM-900 χωρίζονται σε κανάλια των 200kHz, **δημιουργώντας έτσι 375 κανάλια επικοινωνίας** (με τα 374 κανάλια να χρησιμοποιούνται και 1 να μένει ελεύθερο), αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα του δικτύου σχεδόν τρεις φορές.

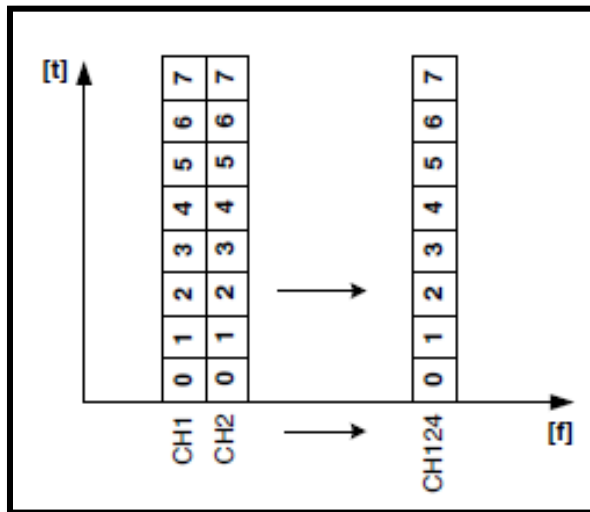


**Εικόνα 2.4:** Δίκτυο DCS/2G 1800 (κανάλια και συχνότητες uplink και downlink)

### 2.2.5 Σηματοδοσία ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

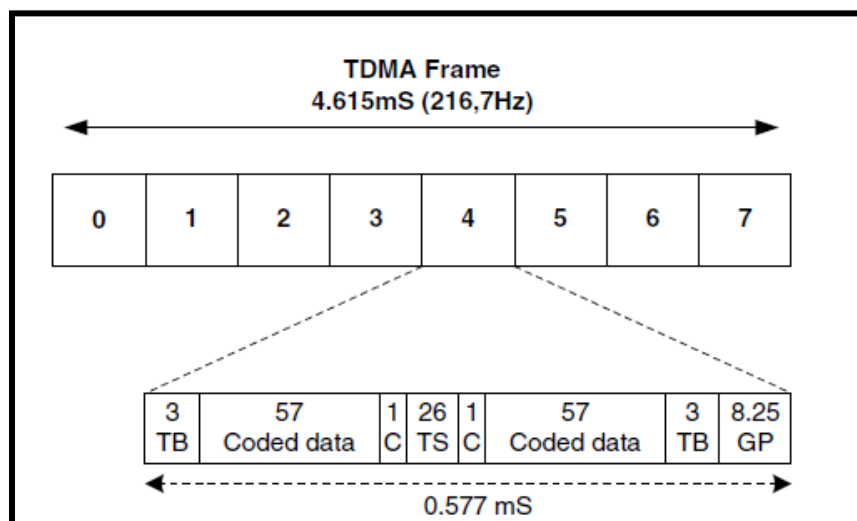
Η επικοινωνία των κινητών συσκευών με τους σταθμούς βάσης πραγματοποιείται με χρήση των καναλιών επικοινωνίας που έχουν οριστεί για κάθε δίκτυο. Τα κανάλια αυτά ονομάζονται φυσικά κανάλια και κάθε ένα από αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία μίας κινητής συσκευής με έναν σταθμό βάσης. Κάθε κανάλι επικοινωνίας καταλαμβάνει ένα εύρος συχνοτήτων 200 kHz και στο σύνολο του διαθέσιμου εύρους ζώνης συχνοτήτων προκύπτουν:

- 124 κανάλια για το GSM 900
- 374 κανάλια για το GSM 1800



**Εικόνα 2.5:** 125 κανάλια “σπασμένα” σε 8 χρονοθυρίδες το καθένα σε GSM 900 δίκτυο

Σε κάθε κανάλι ανατίθεται ένας μοναδικός αριθμός καναλιού, ο οποίος ονομάζεται Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN) και χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των διαφόρων καναλιών που έχει κάθε δίκτυο. Κάθε τέτοιο κανάλι διαιρείται σε οκτώ χρονοθυρίδες (TS-Time Slots), κάθε μία από τις οποίες έχει διάρκεια 577  $\mu$ sec και ορίζει την έννοια του φυσικού καναλιού. Τα οκτώ TS ορίζουν ένα πλαίσιο (frame) του οποίου η διάρκεια είναι 4.615 msec.



**Εικόνα 2.6:** Frame σε GSM δίκτυο χωρισμένο σε 8 χρονοθυρίδες (timeslots) των 0,577 ms η κάθε μια. Όμως, οι πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω αυτών των καναλιών είναι ποικίλων ειδών, που μπορεί να είναι, γενικά, δεδομένα για επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του δικτύου, που χαρακτηρίζονται σαν συνδρομητικά δεδομένα και δεδομένα ελέγχου και σηματοδοσίας μεταξύ των χρηστών και του δικτύου, που χαρακτηρίζονται ως μηνύματα σηματοδοσίας. Για την μετάδοση των δεδομένων αυτών ορίζονται κάποια λογικά κανάλια, που ανάλογα με το είδος των δεδομένων για την μετάδοση των οποίων χρησιμοποιούνται, ομαδοποιούνται σε δύο γενικές κατηγορίες:

• **Κανάλια Δεδομένων (Traffic Channels-TCH):** Τα λογικά αυτά κανάλια χρησιμοποιούνται για την μεταφορά συνδρομητικών δεδομένων, και ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης διακρίνονται σε:

α) **Λογικά κανάλια πλήρους ρυθμού (Full rate, TCH/F),** των οποίων ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας είναι 22.8kbps.

β) **Λογικά κανάλια μισού ρυθμού (Half rate, TCH/H),** των οποίων ο ρυθμός μετάδοσης είναι 11.4kbps.

• **Κανάλια Σηματοδοσίας/Ελέγχου (Signalling/Control Channels):** Τα λογικά αυτά κανάλια χρησιμοποιούνται για την μεταφορά μηνυμάτων ελέγχου και σηματοδοσίας μεταξύ της κινητής συσκευής και του δικτύου. Ανάλογα με την λειτουργικότητα των μηνυμάτων για τα οποία χρησιμοποιούνται, τα λογικά κανάλια σηματοδοσίας και ελέγχου διακρίνονται στις εξής τρεις γενικές κατηγορίες:

α) **Κανάλια Ευρείας Μετάδοσης (Broadcast Channels, BCH):** Τα κανάλια αυτά μεταδίδονται σε μία και μόνο συχνότητα σε κάθε κελί, συγκεκριμένη για κάθε δίκτυο, και η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω αυτών αφορά την εισαγωγή νέων χρηστών στο δίκτυο. Υπάρχουν τρία διαφορετικά BCH κανάλια:

**1. Frequency Correction Channel (FCCH):** Το κανάλι αυτό μεταδίδει μόνο λογικά "0". Η μετάδοση των "0" αυτών χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της φέρουσας συχνότητας του BCH από την κινητή συσκευή για να συντονιστεί στην συχνότητα του BCH ώστε, μέσω των λογικών καναλιών SCH και BCCH, να ανακτήσει σημαντικές πληροφορίες για την εισαγωγή του στο δίκτυο.

**2. Synchronization Channel (SCH):** Αφού έχει συγχρονιστεί η κινητή συσκευή στο BCH, μέσω των λογικών αυτών καναλιών μεταδίδεται πληροφορία για τον αριθμό του TDMA πλαισίου, επιτρέποντας τον συντονισμό της κινητής συσκευής σε επίπεδο πλαισίου, καθώς και πληροφορία για την ταυτότητα του Βασικού Υποσυστήματος Σταθμού (BTS).

**3. Broadcast Control Channel (BCCH):** Έχοντας εγκαθιδρυθεί η επικοινωνία της κινητής συσκευής με το δίκτυο, μέσω του λογικού αυτού καναλιού μεταφέρονται πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα της περιοχής θέσης, την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ στο συγκεκριμένο κελί, τις διαθέσιμες συχνότητες των καναλιών που χρησιμοποιούνται από το κελί αυτό, τις συχνότητες που χρησιμοποιούν τα γειτονικά κελιά για τα BCH κανάλια τους, στοιχεία για τη χρήση του CCCH καναλιού κ.α. .

β) **Κοινόχρηστα Κανάλια Ελέγχου (Common Control Channels, CCCH):** Τα κοινόχρηστα αυτά κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ της κινητής συσκευής και του δικτύου, χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα με τα BCH, και μπορεί να τα χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε χρήστης του δικτύου, είναι κοινόχρηστα. Τα CCCH κανάλια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι:

**1. Paging Channel (PCH):** Τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται από τις κινητές συσκευές ανά τακτά χρονικά διαστήματα για τον έλεγχο πιθανών εισερχόμενων κλήσεων και μηνυμάτων (SMS). Τα μηνύματα που μεταδίδονται μέσω των καναλιών αυτών περιέχει το IMSI της κινητής συσκευής έτσι ώστε να γίνει η αναγνώριση του αποδέκτη της κλήσης ή του μηνύματος. Τα κανάλια αυτά, μιας και χρησιμοποιούνται μόνο για την μετάδοση μηνυμάτων πληροφορίας από το δίκτυο προς την κινητή συσκευή χρησιμοποιούν την Down Link συχνότητα.

**2. Random Access Channel (RACH):** Το είδος των καναλιών αυτών χρησιμοποιείται από την κινητή συσκευή για να αιτηθεί ένα αφιερωμένο κανάλι ελέγχου/σηματοδοσίας από το δίκτυο και, ανάλογα με την

περίπτωση των PCH, αφού χρησιμοποιείται μόνο από τις κινητές συσκευές για την αποστολή μηνυμάτων προς το δίκτυο, χρησιμοποιούν μόνο την Up Link συχνότητα.

**3. Access Grant Channel (AGCH):** Όταν μία κινητή συσκευή έχει χρησιμοποιήσει ένα RACH κανάλι και έχει αιτηθεί ένα αφιερωμένο κανάλι ελέγχου/σηματοδοσίας, μέσω των καναλιών αυτών (AGCH) το δίκτυο της αποδίδει το κανάλι που αιτήθηκε (αν είναι διαθέσιμο). Χρησιμοποιούνται μόνο για την μετάδοση μηνυμάτων από το δίκτυο προς τους χρήστες και άρα χρησιμοποιεί μόνο τις Down Link συχνότητες.

**γ) Αφιερωμένα Κανάλια Ελέγχου (Dedicated Control Channels, DCCH):** Η τελευταία κατηγορία λογικών καναλιών ελέγχου/σηματοδοσίας είναι τα DCCH. Τα κανάλια αυτά, όπως προαναφέρθηκε, αποδίδονται από το δίκτυο σε κάποιο συγκεκριμένο χρήστη ο οποίος αιτήθηκε την χρήση ενός τέτοιου και, ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται, χωρίζονται με τη σειρά τους στις εξής τρεις κατηγορίες:

**1. Stand alone Dedicated Control Channel (SDCCH):** Τα λογικά αυτά κανάλια χρησιμοποιούνται για την εγκαθίδρυση κλήσης (call setup) καθώς και για την μετάδοση μηνυμάτων (SMS), όταν η κινητή συσκευή δεν είναι κατειλημμένη. Χρησιμοποιεί και τις Down Link και τις Up Link συχνότητες και όταν η διαδικασία εγκαθίδρυσης της κλήσης ολοκληρωθεί, αποδίδεται στην συσκευή ένα συγκεκριμένο TCH για την κλήση αυτή.

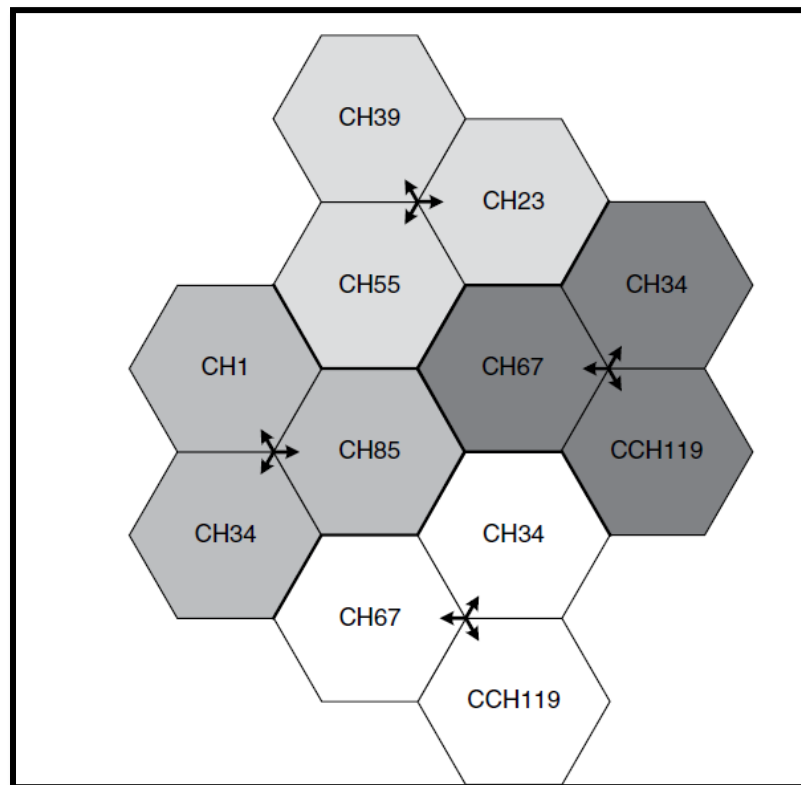
**2. Slow Associated Control Channel (SACCH):** Τα λογικά αυτά κανάλια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα, αλλά συνδέονται με ένα SDCCH ή ένα TCH έτσι ώστε να σταλούν δεδομένα σχετικά με την επικοινωνία της κινητής συσκευής με το δίκτυο. Χρησιμοποιούν και το Down Link και το Up Link του καναλιού με το οποίο συνδέεται και μέσω του Down Link η κινητή συσκευή λαμβάνει εντολές σχετικά με την ισχύ εκπομπής του (power control commands) καθώς και τον χρόνο εκπομπής του (timing advance) ενώ μέσω του Up Link η κινητή συσκευή στέλνει αποτελέσματα μετρήσεων από το τρέχον BTS καθώς και από γειτονικά. Μία χρήση των δεδομένων αυτών είναι η μεταφορά της κινητής συσκευής σε άλλο σταθμό βάσης (Handover).

**3. Fast Associated Control Channel (FACCH):** Αν παρθεί απόφαση μεταφοράς της μίας κινητής συσκευής από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλο (handover) τότε χρησιμοποιείται το είδος των λογικών αυτών καναλιών ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία της μεταφοράς.

## 2.2.6 Δομή ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

Όπως γνωρίζουμε το δίκτυο GSM απαρτίζεται από κυψέλες (εικόνα 2.7). Οι κυψέλες (cells) λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες και κάθε μια αναγνωρίζεται από τον δείκτη κυψέλης (CI, Cell Identity) αλλά και από τον κώδικα ταυτότητας σταθμού βάσης (BCIC, Base Station Identity Code). Ανάλογα από το γεωγραφικό ανάγλυφο αλλά και από την σχεδίαση του δικτύου, οι συχνότητες μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν από διάφορες κυψέλες αρκεί η μια κυψέλη με μια συγκεκριμένη συχνότητα να επικαλύπτει, στην ίδια περιοχή, άλλη κυψέλη που έχει και αυτή την ίδια συχνότητα.

Η αναβάθμιση χωρητικότητας της κυψέλης μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση περισσότερων ραδιοδιαύλων ανά κυψέλη. Η αναβάθμιση της κυψέλης με ένα ακόμα ραδιοδιάυλο θα δώσει άλλα 8 λογικά κανάλια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σηματοδότηση ή τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Σε αστικές περιοχές είναι σωστό να έχουμε από 6 έως 12 ραδιοδιαύλους ανά κυψέλη. Σε ένα δίκτυο με macro σταθμούς βάσης ένα τυπικό configuration είναι ο σταθμός να έχει σχεδιαστεί με 3 κυψέλες (όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.7).



**Εικόνα 2.7:** Δομή GSM δικτύου αποτελούμενη από 3 macro σταθμούς βάσης, όπου ο καθένας έχει τρεις κυψέλες

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως τα GSM δίκτυα αρχικά αναπτύχθηκαν στην συχνότητα των 900 MHz, αλλά πολλές χώρες, σε δεύτερο χρόνο τα ανέπτυξαν στην συχνότητα των 1800 MHz (DCS-1800) για την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων GSM και να καλύψουν τις τεράστιες απαιτήσεις για κλήσεις που είχαν αλλά και έχουν οι πελάτες των παροχών. Σε πολλές περιπτώσεις (όχι σε όλες), το DCS-1800 έχει πολύ μικρότερη εμβέλεια χάρις των απωλειών ελευθέρου χώρου (FSL, free space loss) που προκλήθηκαν από την μεγαλύτερη συχνότητα λειτουργίας.

### 2.2.7 Διαχείριση κινητικότητας ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

Η διατήρηση της ποιότητας της υπηρεσίας αλλά και η κινητικότητα των χρηστών του δικτύου GSM είναι πολύ σημαντική. Το δίκτυο πρέπει να σιγουρευτεί για τον καλύτερο και σωστότερο τρόπο για την ποιότητα της υπηρεσίας αλλά και των μεταπομπών μεταξύ των χρηστών οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο. Γίνονται περίπλοκες μετρήσεις της στάθμης του σήματος αλλά και της ποιότητας για να μπορεί να επιτευχθεί η κινητικότητα μέσα στο δίκτυο.

Κατά την αποκλειστική λειτουργία (dedicated call, during a call) ο σταθμός βάσης παίρνει **μετρήσεις** των επιπέδων της στάθμης του σήματος αλλά και της ποιότητας (BER, Bit Error Rate) του λαμβανόμενου σήματος από το κινητό σταθμό. Ο κινητός σταθμός επίσης μετράει τα επίπεδα στάθμης αλλά και ποιότητας του σταθμού που τον εξυπηρετεί αλλά και των γειτονικών σταθμών βάσης. Έτσι ο κινητός σταθμός δίνει αναφορά για τις μετρήσεις που έκανε στο δίκτυο σε σχέση με την αξιολόγηση ποιότητας, έλεγχο ισχύος (power control) αλλά και τις αξιολογήσεις των μεταπομπών (handover evaluation).

Η ραδιοποιότητα (radio quality, bit error rate) για το downlink αλλά και για το uplink χωρίζεται σε 8 επίπεδα και ορίζεται ως **RX-Quality** 0-7, με το 0 να είναι η καλύτερη ποιότητα καναλιού. Με το 7 ως ποιότητα καναλιού η κλήση θα τερματιστεί αν τα επίπεδα στάθμης δεν αυξηθούν σύντομα. Αν το RX Quality περάσει το 4 τότε τότε η ποιότητα της φωνής θα υποβαθμιστεί και θα έχει αντίκτυπο στους χρήστες. Το RX Quality θα πρέπει να είναι καλύτερο από το 3 όταν σχεδιάζουμε δίκτυα εσωτερικής κάλυψης με στόχο το RX Quality να φτάσει το 0 σε όλο το κτήριο. Ο κύριος λόγος υποβάθμισης του RX Quality είναι οι παρεμβολές στις κυψέλες που χρησιμοποιούν ίδια συχνότητα ή λόγω χαμηλής στάθμης του σήματος.

Η στάθμη του σήματος μετριέται ως **RX-Level** και χωρίζεται από το 0 έως το 64. Το RX-Level είναι η στάθμη σήματος πάνω από το -110 dBm. Για παράδειγμα το RX-Level 30 είναι  $-110 + 30 = -80$  dBm. Ο κινητός σταθμός επίσης θα μετρήσει την ποιότητα καναλιού αλλά και το επίπεδο στάθμης από το σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί αλλά και άλλους γειτονικούς σταθμούς βάσης που ελέγχονται από το ίδιο BSC (Base Station Controller). Έτσι ο κινητός σταθμός μετράει και αποκωδικοποιεί το BSIC (Base Station Identity Code) και αναφέρει την κυψέλη με τα μεγαλύτερα επίπεδα στάθμης πίσω στο BSC για να μπορέσει να κάνει την μεταπομπή (αξιολόγηση ή εκτέλεση).

Βασιζόμενο στις αξιολογήσεις των μετρήσεων που γίνονται και από το BSC αλλά και από τον κινητό σταθμό, το δίκτυο (δηλαδή το BSC) θα **ελέγξει αλλά και προσαρμόσει** μερικές παραμέτρους όπως τα επίπεδα ισχύος, χρονισμού (timing), αναπήδηση συχνότητας (frequency hopping) κ.α, με σκοπό να διασφαλίσει τις διαλείψεις, τα επίπεδα σήματος αλλά και την ποιότητα.

Το δίκτυο έχει την δυνατότητα να προσαρμόσει την ισχύ εκπομπής από τον κινητό σταθμό προς τον σταθμό βάσης. Αυτό επιτυγχάνεται με μια τεχνική που ονομάζεται **έλεγχος ισχύος (power control)**. Η κύρια λειτουργία του ελέγχου ισχύος είναι να διασφαλίσει ότι η ραδιοεπικοινωνία επαρκεί για να εκπληρώσει τις παραμέτρους ποιότητας, αλλά επίσης να βεβαιωθεί ότι οι κινητοί σταθμοί κοντά στους σταθμούς βάσης δεν θα υπερνικήσουν στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink). Προσαρμοζόμενα επίπεδα για ελάχιστο αλλά και μέγιστο RX-Level ορίζονται στο δίκτυο, ξεχωριστά για κάθε κυψέλη. Αυτά τα RX Levels

θα προσαρμόσουν την εκπεμπόμενη ισχύ για να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις. Ο έλεγχος ισχύος γίνεται με βήματα ανα 2 dB.

### 2.2.8 Διαχείριση θέσης ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

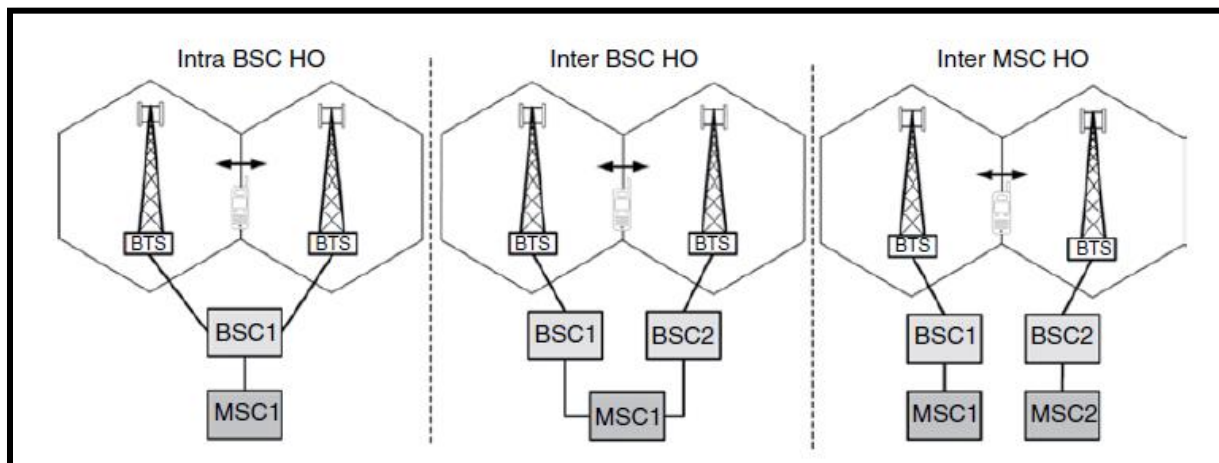
Το δίκτυο GSM χωρίζεται σε περιοχές (location areas). Το πιο σημαντικό κίνητρο για να διαχωρίσεις το δίκτυο σε διαφορετικές περιοχές είναι για να περιορίσεις τον δείκτη φορτίου (paging load). Η κινητή συσκευή παρακολουθεί και ενημερώνει το δίκτυο όποτε εντοπίσει ότι εξυπηρετείται από μια νέα διαφορετική περιοχή εξυπηρέτησης (new location area). Αυτό επιτυγχάνεται από τον κινητό σταθμό παρακολουθώντας το **LAC (Location Area Code)** που ενημερώνεται από τους σταθμούς βάσης. Μέσα στον VLR (Visitor Location Register, δεξ 2.2.10) στο δίκτυο αποθηκεύονται όλες οι πρόσφατες πληροφορίες των LAC περιοχών που εξυπηρετήθηκε ο κινητός σταθμός. Χρησιμοποιώντας διάφορες περιοχές το δίκτυο περιορίζει τις σηματοδοσίες των κινητών σταθμών για την τοποθεσία τους. Αυτό θα ήταν μια υπερφόρτωση για το δίκτυο με σημαντικά προβλήματα.

### 2.2.9 Μεταπομπή (Handover) ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

Μία πολύ σημαντική δυνατότητα που προσφέρουν τα GSM δίκτυα είναι η αλλαγή καναλιού επικοινωνίας, με τα κανάλια να μπορεί να ανήκουν στην ίδια κυψέλη ή σε διαφορετικές κυψέλες (handover) χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της συσκευής. Τα είδη μεταπομπών στο GSM είναι:

- **Intra BSC Handovers:** Αφορά την εναλλαγή κυψελών που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ίδιου BSC και χαρακτηρίζονται σαν “εσωτερικά handover” και τα διαχειρίζεται το BSC, ενημερώνοντας το MSC μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας.
- **Inter BSC Handovers:** Εμπεριέχει εναλλαγή μεταξύ κυψελών που ανήκουν σε διαφορετικά BSC και τα handovers αυτού του τύπου καλούνται εξωτερικά. Αυτά τα διαχειρίζονται τα MSCs ώστε να επιτευχθεί η μεταβίβαση της κλήσης από τον ένα BSC στον άλλο.
- **Inter MSC Handovers:** Τα handovers μπορούν να ενεργοποιηθούν από το ίδιο το κινητό ή το MSC σαν λύση για την καταπολέμηση της αυξημένης κίνησης σε μια κυψέλη, κάνοντας εναλλαγή μεταξύ των πιθανών κυψελών που έχει αποθηκεύσει η συσκευή ή ακόμα και μεταξύ διαφορετικών καναλιών επικοινωνίας στην ίδια κυψέλη ( τρίτος τύπος handover). Οι πληροφορίες αυτές περνάνε στο BSC και στο MSC και χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο του handover. Βάση του αλγορίθμου αυτού, όταν το σήμα φθίνει πιο κάτω από ένα καθορισμένο όριο, η ισχύς του κινητού αυξάνεται ώστε να αυξηθεί η ισχύς του σήματος και όταν η αύξηση αυτή δεν βελτιώσει το σήμα δημιουργείται νέο handover.





**Εικόνα 2.8:** Intra BSC Handover, Inter BSC Handovers, Inter MSC Handovers

### 2.2.10 Αρχιτεκτονική ασύρματων κυψελωτών δικτύων δεύτερης γενιάς

Σε αυτή την υποενότητα δίνεται μια πολύ βασική εισαγωγή των στοιχείων που απαρτίζουν ένα GSM δίκτυο και έχει απλοποιηθεί όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.9. Δεν γίνεται λεπτομερής περιγραφή των στοιχείων αλλά δίνεται μια γενική ιδέα για την λειτουργία τους. Η υλοποίηση και σωστή λειτουργία ενός GSM δικτύου απαιτεί την ύπαρξη τριών βασικών μερών:

**Κινητός Σταθμός (Mobile Station):** Ένας κινητός σταθμός επικοινωνεί κατά μήκος της διεπαφής Um, η οποία λέγεται ραδιοδιεπαφή αέρος (air interface), με τον πομποδέκτη ενός σταθμού βάσης ο οποίος βρίσκεται στην ίδια κυψέλη με αυτή στην οποία βρίσκεται και η κινητή μονάδα. Η κινητή συσκευή (mobile equipment, ME) αναφέρεται στη φυσική τερματική μονάδα, όπως ένα τηλέφωνο, ένας φορητός Η/Υ ή ένας Η/Υ παλάμης, η οποία περιέχει τον πομποδέκτη ραδιοκυμάτων, επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων και τη μονάδα ταυτότητας συνδρομητή (subscriber identity module, SIM). Η μονάδα SIM είναι ένα φορητό εξάρτημα με τη μορφή έξυπνης κάρτας (που είναι και η συνήθης περίπτωση) ή πρόσθετου στοιχείου το οποίο αποθηκεύει τον αριθμό αναγνώρισης του συνδρομητή, τα δίκτυα τα οποία είναι εξουσιοδοτημένος ο χρήστης να χρησιμοποιεί, κλειδιά κρυπτογράφησης και άλλες πληροφορίες που αφορούν το χρήστη. Οι μονάδες συνδρομητών GSM είναι γενικής χρήσης μέχρι να τοποθετηθεί μία κάρτα SIM. Γι' αυτό το λόγο ένας συνδρομητής χρειάζεται να έχει μαζί του μόνο την κάρτα SIM για να μπορεί να χρησιμοποιήσει μία τεράστια ποικιλία συσκευών σε πολλές χώρες, εισάγοντας απλά την κάρτα SIM στη συσκευή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Στην πραγματικότητα, εκτός από κάποιες επικοινωνίες άμεσης ανάγκης, οι συσκευές συνδρομητών δε θα λειτουργήσουν αν δεν έχει τοποθετηθεί προηγουμένως μία κάρτα SIM. Επομένως, αυτές που περιφέρονται είναι οι SIM και όχι απαραίτητα οι συσκευές των συνδρομητών.

**Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem, BSS):** Ένα υποσύστημα σταθμού βάσης (base station subsystem, BSS) αποτελείται από έναν ελεγκτή σταθμού βάσης και έναν ή περισσότερους πομποδέκτες σταθμών βάσης. Κάθε πομποδέκτης σταθμού βάσης (base transceiver station, BTS) ορίζει μία κυψέλη και περιλαμβάνει μία κεραία ραδιοκυμάτων, έναν πομποδέκτη ραδιοκυμάτων και μία ζεύξη με τον ελεγκτή σταθμού βάσης. Μία κυψέλη GSM μπορεί να έχει ακτίνα από 100 m ως 35 km,

ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Ένας ελεγκτής σταθμού βάσης (base station controller, BSC) μπορεί να συνεργάζεται με ένα πομποδέκτη σταθμού βάσης ή μπορεί να ελέγχει πολλές μονάδες BTS και συνεπώς πολλές κυψέλες. Ο ελεγκτής σταθμού βάσης δεσμεύει συχνότητες ραδιοκυμάτων, διαχειρίζεται τη μεταπομπή μίας κινητής μονάδας από τη μία κυψέλη στην άλλη μέσα στο υποσύστημα σταθμού βάσης και ελέγχει την τηλεειδοποίηση.

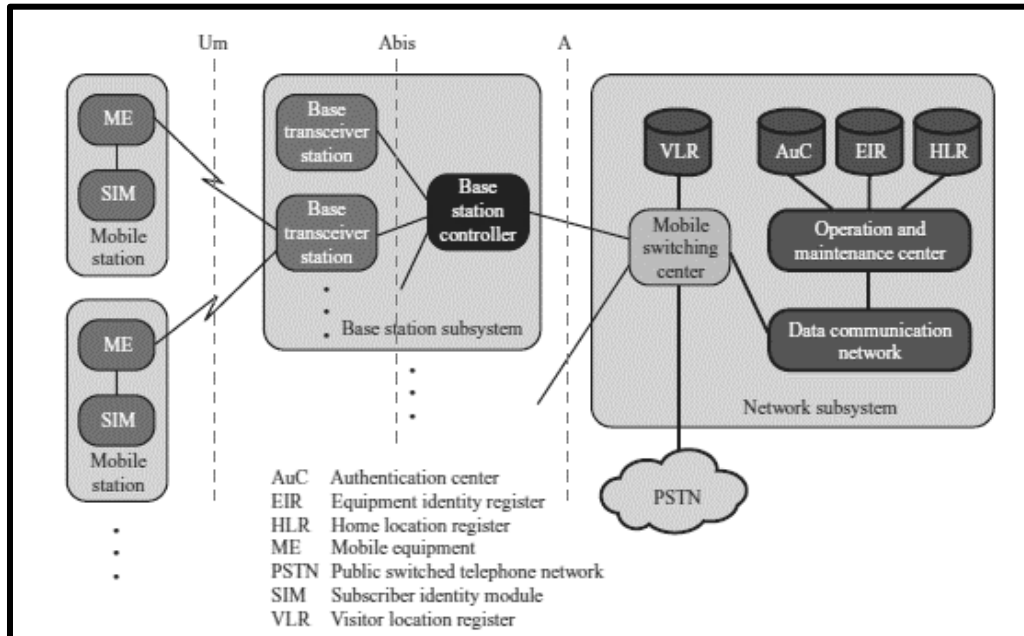
**Υποσύστημα Δικτύου:** Το υποσύστημα δικτύου (network subsystem, NS) παρέχει τη ζεύξη μεταξύ του κυψελοειδούς δικτύου και των δημόσιων μεταγωγικών δικτύων τηλεπικοινωνιών. Το NS ελέγχει τις μεταπομπές μεταξύ κυψελών διαφορετικών BSS, πιστοποιεί χρήστες, επιβεβαιώνει τους λογαριασμούς τους και περιλαμβάνει λειτουργίες για την ενεργοποίηση περιαγωγής σε όλο τον κόσμο για τους κινητούς χρήστες. Το κεντρικό στοιχείο του NS είναι το κινητό κέντρο μεταγωγής (mobile switching center, MSC), που υποστηρίζεται από τέσσερις βάσεις δεδομένων τις οποίες ελέγχει:

- **Βάση δεδομένων καταχωρητή θέσης έδρας (home location register, HLR):** Η HLR αποθηκεύει πληροφορίες, μόνιμες και προσωρινές, για καθέναν από τους συνδρομητές που “ανήκουν” σε αυτή (δηλ. για κάθε συνδρομητή του οποίου ο τηλεφωνικός αριθμός είναι συσχετισμένος με το κέντρο μεταγωγής).

- **Βάση δεδομένων καταχωρητή θέσης επισκεπτών (visitor location register, VLR):** Ένα σημαντικό, προσωρινό τμήμα πληροφορίας, είναι η θέση του συνδρομητή. Η θέση καθορίζεται από την VLR μέσα στην οποία εισέρχεται ο συνδρομητής. Η VLR διατηρεί πληροφορίες για τους συνδρομητές που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή στην περιοχή που καλύπτεται από το κέντρο μεταγωγής. Καταγράφει αν ο συνδρομητής είναι ενεργός ή όχι καθώς και άλλες παραμέτρους που έχουν να κάνουν με το συνδρομητή. Για μία εισερχόμενη κλήση προς το συνδρομητή, το σύστημα χρησιμοποιεί τον τηλεφωνικό αριθμό του συνδρομητή για να προσδιορίσει την ταυτότητα του κέντρου μεταγωγής έδρας του συνδρομητή. Αυτό το κέντρο μεταγωγής μπορεί να βρει μέσα στη δική του HLR το κέντρο μεταγωγής μέσα στο οποίο βρίσκεται εκείνη τη στιγμή ο συνδρομητής. Για μία εξερχόμενη κλήση από το συνδρομητή, χρησιμοποιείται η VLR για να ξεκινήσει την κλήση. Ακόμα και αν ο συνδρομητής βρίσκεται μέσα στην περιοχή που καλύπτεται από το κέντρο μεταγωγής της έδρας του, εμφανίζεται και στη VLR του κέντρου μεταγωγής.

- **Βάση δεδομένων κέντρου πιστοποίησης (authentication center, AuC):** Αυτή η βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για ενέργειες πιστοποίησης του συστήματος. Για παράδειγμα, περιέχει τα κλειδιά πιστοποίησης και κρυπτογράφησης για όλους τους συνδρομητές και στον καταχωρητή θέσης έδρας και στον καταχωρητή θέσης επισκεπτών. Το κέντρο ελέγχει την πρόσβαση στα δεδομένα των χρηστών ενώ χρησιμοποιείται επίσης και για την πιστοποίηση των συνδρομητών, όταν αυτοί συνδέονται στο δίκτυο. Η εκπομπή GSM κρυπτογραφείται, άρα είναι ιδιωτική. Για την κρυπτογράφηση της εκπομπής από το συνδρομητή προς τον πομποδέκτη βάσης χρησιμοποιείται ένα κρυπτογράφημα συνεχούς ροής δεδομένων (stream cipher) A5. Ωστόσο, η συνομιλία στερείται κρυπτογράφησης στο συμβατικό (ενσύρματο) δίκτυο. Για την πιστοποίηση χρησιμοποιείται ένα άλλο κρυπτογράφημα, το A3.

- **Βάση δεδομένων ταυτοτήτων συσκευών (equipment identity register, EIR):** Η EIR καταγράφει τον τύπο της συσκευής που υπάρχει στον κινητό σταθμό. Επίσης διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην ασφάλεια όπως στη φραγή κλήσεων από κλεμμένους κινητούς σταθμούς και στην απαγόρευση χρήσης του δικτύου από σταθμούς που δεν είναι εγκεκριμένοι.



Εικόνα 2.9: Αρχιτεκτονική δικτύου GSM/DCS

## 2.3 Εισαγωγή στα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς (UMTS-3G)

### 2.3.1 Εισαγωγή

Το ζητούμενο των συστημάτων τρίτης γενιάς (3G) είναι η παροχή ασύρματων επικοινωνιών πολύ υψηλής ταχύτητας για την υποστήριξη εκτός από τη φωνή και εφαρμογών πολυμέσων, δεδομένων και βίντεο. Η πρωτοβουλία Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες της ITU για το έτος 2000 (IMT-2000) έχει ορίσει την άποψη της ITU για τις δυνατότητες της τρίτης γενιάς ως εξής:

- Ποιότητα φωνής συγκρίσιμη με αυτή του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής.
- Διαθέσιμο ρυθμό δεδομένων 144 kbps σε χρήστες που βρίσκονται μέσα σε οχήματα υψηλής ταχύτητας σε μεγάλες περιοχές.
- Διαθέσιμο ρυθμό δεδομένων 384 kbps σε πεζούς που στέκονται ή κινούνται πολύ αργά σε μικρές περιοχές.
- Υποστήριξη (θα γίνει σταδιακά) 2048 Mbps για χρήση γραφείου.
- Συμμετρικοί και ασυμμετρικοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.
- Υποστήριξη υπηρεσιών δεδομένων και για μεταγωγή πακέτων και για μεταγωγή κυκλωμάτων.
- Προσαρμοστική διεπαφή με το Internet που θα αντικατοπτρίζει αποτελεσματικά τη συνήθη ασυμμετρία μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης κίνησης.
- Πιο αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης γενικότερα.
- Υποστήριξη μίας μεγάλης ποικιλίας κινητών συσκευών.

- Ευελιξία σε σχέση με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών.

Το σύστημα UMTS (WCDMA) είχε οριστεί και επιλεγεί για να είναι το σύστημα τρίτης γενιάς για πολλούς λόγους. Ένας από τους κύριους λόγους είναι καθώς δίνει την δυνατότητα να αξιοποιηθούν με έναν από-τελεσματικό τρόπο οι ραδιοπόροι αλλά και το διαθέσιμο φάσμα. Το σύστημα αυτό κάνει πολύ καλή απόρριψη των παρεμβολών στα σήματα στενής ζώνης και προσφέρει και καλή πολυδιαδρομική αντίσταση (multipath resistance) χάρις την χρήση του Rake δέκτη. Οι μεταπομπές στο WCDMA είναι ομαλές χάρις την χρήση των soft handovers. Μάλιστα κατά την διάρκεια της μεταπομπής, ο κινητός σταθμός εξυπηρετείτε από περισσότερα κελιά την ίδια χρονική στιγμή.

Όστόσο κατά την σχεδίαση ενός UMTS δικτύου δημιουργούνται πολλές προκλήσεις, ειδικά όταν οι κυψέλες σε ένα δίκτυο χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Ο σχεδιασμός του UMTS έχει να κάνει με τον θόρυβο αλλά και με τον έλεγχο της ισχύος. Ένας πολύ αυστηρός έλεγχος της ισχύος είναι αναγκαίος για να σιγουρευτεί πως όλα τα μεταδιδόμενα σήματα θα διατηρούνται στο επιθυμητό επίπεδο. Έτσι όλες οι κινητές συσκευές είτε βρίσκονται κοντά είτε μακριά από τον σταθμό βάσης θα έχουν την ίδια ισχύ. Πρέπει να εφαρμόζεται μια πολύ καλή πειθαρχία κατά τον σχεδιασμό των κυψελών έτσι ώστε να καλύπτεται μόνο η προβλεπόμενη περιοχή και όχι άλλες περιοχές εκτός σχεδιασμού. Ο λόγος είναι καθώς πρέπει να μειώσουμε της παρεμβολές μεταξύ των κυψελών καθώς όλες τους χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες. Το UMTS συχνά προστίθεται σε είδη υπάρχοντα δίκτυα 2G, οπότε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του UMTS έχει διασφαλιστεί πως οι μεταπομπές (hard handovers) θα μπορούν να γίνονται μεταξύ 2G και 3G αλλά και αντίστροφα.

### 2.3.2 Σημαντικές σχεδιαστικές παράμετροι ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

Το UMTS είναι ένα πολύ περίπλοκο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, ακόμα και αν χρειαστεί να επικεντρωθείς μόνο στον σχεδιασμό του. Μπορεί να είναι μια πρόκληση να κατανοήσουμε όλες τις βαθιές πτυχές που αφορούν το σχεδιασμό του UMTS. Πολλές παράμετροι και ανησυχίες είναι σημαντικές αλλά η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να θυμάται ένας σχεδιαστής κατά τον σχεδιασμό δικτύου UMTS για εσωτερική κάλυψη είναι οι εξής:

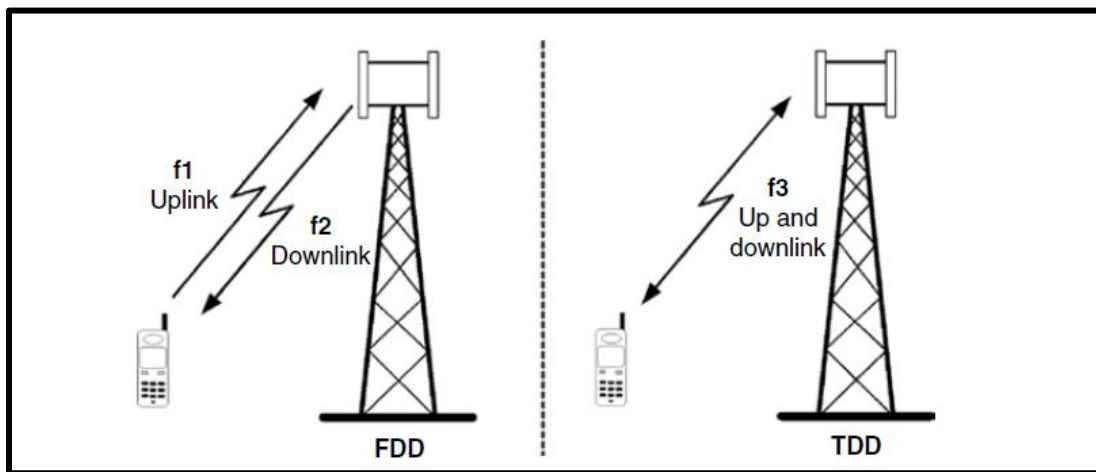
- Το UMTS είναι περιορισμένο στην ισχύ στην κατερχόμενη ζεύξη (DL)
- Το UMTS είναι περιορισμένο από θόρυβο στην ανερχόμενη ζεύξη (UL)

Ο σχεδιαστής θα πρέπει πάντα να προσπαθεί να σχεδιάσει μια λύση που να μπορεί να εξασφαλίσει τους περισσότερους πόρους ενέργειας ανά χρήστη και το ελάχιστο φορτίο θορύβου στο UL της κυψέλης εξυπηρέτησης αλλά και των άλλων κυψελών του δικτύου. Πρέπει να θυμόμαστε πως όλες οι κυψέλες στο δίκτυο UMTS είναι στην ίδια συχνότητα, επομένως η κάλυψη και ο θόρυβος στην κυψέλη μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση στις άλλες κυψέλες του δικτύου. Είναι σημαντικό λοιπόν να μην εφαρμόσουμε τακτικές σχεδίασης GSM (GSM planning), ειδικά σε UMTS δίκτυο εσωτερικής κάλυψης. Στο GSM συχνά χρησιμοποιούμε λίγες κεραιές υψηλής ισχύος (+20 dBm) για την κάλυψη εσωτερικών χώρων. Έτσι το δίκτυο εσωτερικής κάλυψης είναι το κυρίαρχο μέσα στο κτήριο. Στο GSM γίνεται διαχωρισμός των συχνοτήτων κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό στα δίκτυα UMTS. Μπορεί να μπούμε στο πειρασμό να

χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά UMTS κανάλια άλλα αυτό είναι “GSM thinking” και θα είναι μια πολύ ακριβή λύση. Μάλιστα ένα τυπικό δίκτυο UMTS έχει το πολύ δυο ή τρία κανάλια.

### 2.3.3 Ράδιο ιδιαιτερότητες ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

Συγκρίνοντας το GSM δίκτυο με το UMTS, η ασύρματη διεπαφή είναι τελείως διαφορετική και μπορεί να χρειαστεί λίγος χρόνος για έναν GSM σχεδιαστή να την κατανοήσει πλήρως. Στην πραγματικότητα δεν είναι καθόλου πολύπλοκη. Αν απλά εστιάσουμε σε βασικές κύριες παραμέτρους, θα είναι εύκολο να σχεδιάσουμε αλλά και να κατανοήσουμε ένα UMTS δίκτυο. Ουσιαστικά υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι WCDMA (όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.10).



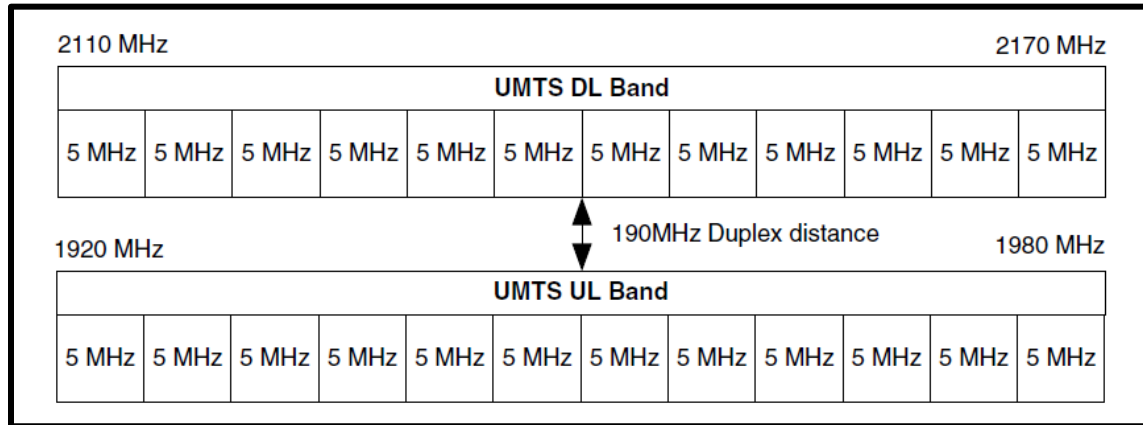
Εικόνα 2.10: Διαφορετικοί τύποι WCDMA

**UMTS (TDD):** Το WCDMA-TDD χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα και στην ανερχόμενη αλλά και στην κατερχόμενη ζεύξη, εναλλάσσοντάς την κατεύθυνση της μετάδοσης. Ο εξοπλισμός (BTS, MS) θα πρέπει να αλλάξει μεταξύ μετάδοσης και λήψης για να αποφευχθεί η παρεμβολή.

**UMTS (FDD):** Το WCDMA-FDD χρησιμοποιεί δυο διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες είναι διαφορετικές και στην ανερχόμενη αλλά και στην κατερχόμενη ζεύξη. Είναι ποιο διαδεδομένη τεχνική που χρησιμοποιείται από τους πάροχους σε όλον το κόσμο.

*Στην συνέχεια παρατίθενται οι βασικές ιδιαιτερότητες του UMTS συστημάτων. Συγκεκριμένα:*

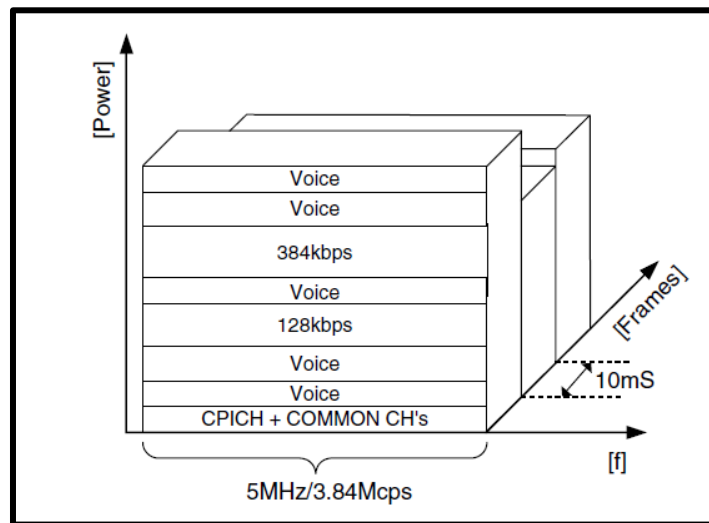
**Frequency allocation (κατανομή συχνοτήτων):** Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου η ανερχόμενη ζεύξη (UL) στο WCDMA-FDD έχει συχνότητες 1920-1980 MHz ενώ για την κατερχόμενη ζεύξη (DL) στο WCDMA-FDD έχει τις συχνότητες 2110-2170 MHz, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.11. Η κατανομή των συχνοτήτων μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.



**Εικόνα 2.11:** UMTS συχνότητες στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη με 12 FDD κανάλια.

**UMTS 900:** Συνήθως οι πάροχοι στα σύστημα UMTS 2100 αναθέτουν στα συστήματα τους δυο με τρία κανάλια. Πλέον οι πάροχοι χρησιμοποιούν το GSM 900 φάσμα και μετατρέπουν το παλιό 35 MHz GSM 900 σε UMTS 900, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα του φάσματος αλλά και την απόδοση του συστήματος. Το νέο 35 MHz UMTS 900 έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει επτά νέα WCDMA κανάλια. Επίσης το νέο UMTS 900 θα μπορεί να διεισδύσει πιο εύκολα στα κτήρια από ότι το UMTS 2100, δίνοντας καλύτερη εσωτερική κάλυψη.

**UMTS ραδιοδιάυλοι:** Ας δούμε τώρα μερικές κύριες λειτουργίες των UMTS ραδιοδιάυλων και αυτοί διαφέρουν από τους αντίστοιχους ραδιοδιάυλους του GSM. Αρχικά πρέπει να επισημάνουμε πως το UMTS χρησιμοποιεί WCDMA. Αυτό είναι ένα σήμα διασποράς φάσματος (spread spectrum σήμα).

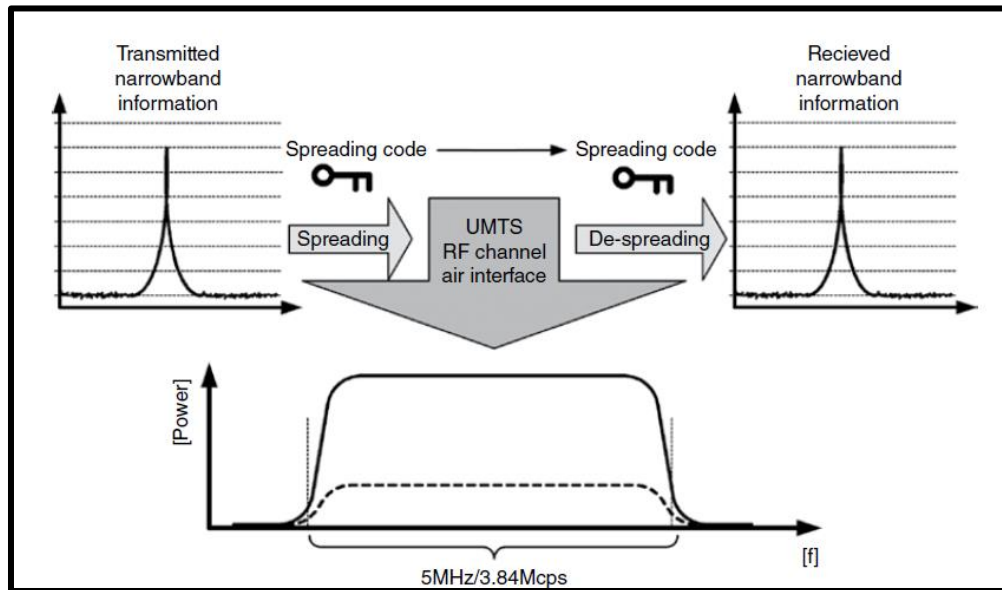


**Εικόνα 2.12:** Το WCDMA σήμα διαδίδεται σε πακέτα των 10 ms

Το εύρος φάσματος των UMTS καναλιών (όπως φαίνεται και από την εικόνα 2.11) είναι περίπου 5 MHz (4.75 MHz) και χωρίζεται σε 3.84 Mcps. Τα chips είναι μια ωμή πληροφορία (raw information) του καναλιού. Ο κάθε χρήστης του έχει εκχωρηθεί μια συγκεκριμένη ισχύς σύμφωνα με την απαίτηση εξυ-

πληρέτησης και την απώλεια διαδρομής. Όσο περισσότερη πληροφορία καταναλώνει ο χρήστης, τόσο περισσότερη ενέργεια θα εκπέμπεται (εικόνα 2.12).

**Κωδικοποίηση (coding) και chips:** Σε κάθε κινητή συσκευή εκχωρείτε ένας συγκεκριμένο (ατομικός) κώδικας διασποράς (spreading code) όπως φαίνεται στην εικόνα 2.13 αλλά και 2.14. Όλοι οι χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα WCDMA. Ο δέκτης είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει κάθε χρήστη ξεχωριστά εφαρμόζοντας τον ίδιο κώδικα διάδοσης που αντιστοιχεί σε κάθε χρήστη.



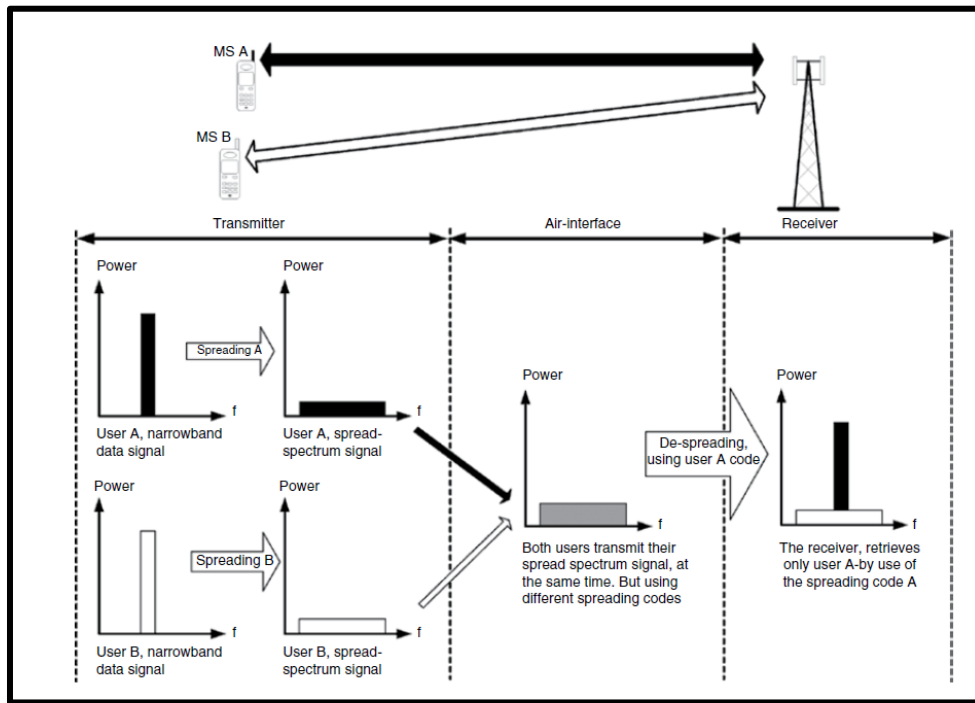
**Εικόνα 2.13:** Το σήμα στενής ζώνης (narrowband) χρησιμοποιεί κώδικα διασποράς και διαμορφώνεται και μεταδίδεται από το φέρων σήμα WCDMA

Η βασική διαφορά μεταξύ των συστημάτων GSM και UMTS είναι πως το UMTS χρησιμοποιεί ολόκληρο το φάσμα των 5 MHz, διαχωρίζοντας του χρήστες μόνο με κώδικα, δίνοντας στον κάθε χρήστη τον δικό του κώδικα. Με την χρήση αυτού του κωδικού μπορεί να γίνει η κωδικοποίηση του μεταδιδόμενου σήματος. Έτσι ο δέκτης θα μπορεί να το αποκωδικοποιήσει και λάβει την πληροφορία.

**$E_b/N_o$ :** Η ποιότητα του σήματος UMTS ορίζεται ως  $E_b/N_o$ . Το  $E_b/N_o$  είναι η ενέργεια ανά bit ( $E_b$ ) δια την πυκνότητα του θορύβου. Η μέτρηση γίνεται στην είσοδο του δέκτη και στην ουσία μας δείχνει πόσο δυνατό είναι το σήμα πάνω από τον θόρυβο. Η σχέση που μας δίνει το  $E_b/N_o$  είναι:

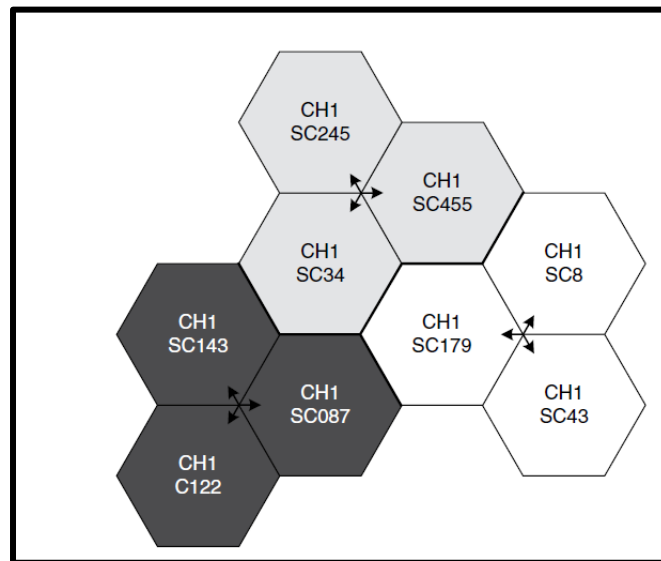
$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{\text{Bit energy}}{\text{Noise density}} = \frac{\text{Signal bandwidth}}{\text{Bit rate}} * \frac{\text{Signal power}}{\text{Noise power}}$$

Το  $E_b/N_o$  παίζει σημαντικό ρόλο κατά των σχεδιασμό του UMTS. Μάλιστα διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης έχουν και διαφορετικές  $E_b/N_o$  απαιτήσεις. Όσο πιο μεγάλοι οι ρυθμοί μετάδοσης τόσο πιο αυστηρές είναι οι απαιτήσεις του  $E_b/N_o$ . Μια τυπική τιμή για την φωνή πρέπει να είναι 7 dB, ενώ για μια υπηρεσία data (π.χ 384 kbps) θα πρέπει να είναι 4 dB.



**Εικόνα 2.14:** Δύο διαφορετικές συσκευές εξυπηρετούνται από την ίδια κυψέλη και διαχωρίζονται μεταξύ τους με την χρήση διαφορετικού spreading code.

**Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse):** Όλες οι κυψέλες στο UMTS λειτουργούν στην ίδια συχνότητα (όπως φαίνεται στην εικόνα 2.15), χρησιμοποιώντας την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας του ενός. Οι UMTS κυψέλες διαχωρίζονται με την χρήση διαφορετικών scrambling codes.



**Εικόνα 2.15:** Παράδειγμα τριών UMTS σταθμών βάσης, με την κάθε μια να έχει 3 κυψέλες. Χρησιμοποιούν το ίδιο RF κανάλι με χρήση διαφορετικών scrambling codes.



**Κέρδος επεξεργασίας (Processing Gain):** Όταν χρησιμοποιούμε την τεχνική του spreading και disspreading του σήματος σε ένα φέρον σήμα, ένα κέρδος αποκτάται. Αυτό ονομάζεται processing gain. Εξαρτάται από το chip rate του φέροντος αλλά και από το bit (chip) rate του χρήστη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.16.

User rate	Processing gain
12.2 kbps	25 dB
64 kbps	18 dB
128 kbps	15 dB
384 kbps	10 dB

**Εικόνα 2.16:** UMTS ρυθμός μετάδοσης vs processing gain

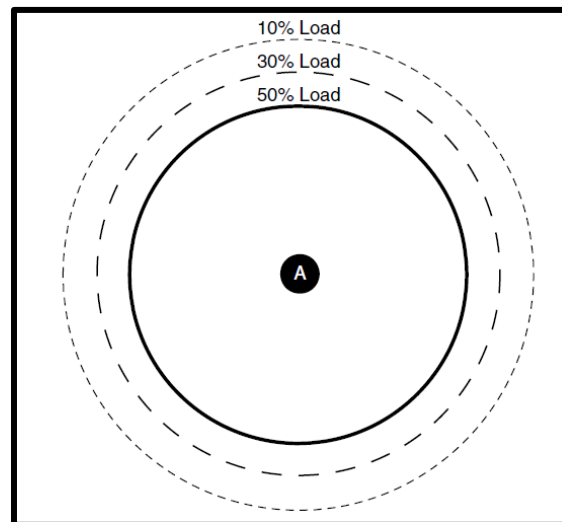
Με την χρήση των παρακάτω τύπων μπορούμε να υπολογίσουμε το processing gain για την κάθε υπηρεσία δεδομένων στο UMTS σύστημα. Συγκεκριμένα:

$$\text{Processing gain} = \text{chip rate} / \text{user data rate}$$

$$\text{Processing gain} = 3.84\text{M} / \text{user rate} \text{ [linear]}$$

$$\text{Processing gain} = 10 \log(3.84\text{M} / \text{user rate}) \text{ [dB]}$$

**Cell Breathing:** Οποιαδήποτε κίνηση στο UMTS είναι ίση με την αύξηση του θορύβου στο ραδιοδιάλυο. Ξέρουμε πολύ καλά πως το σύστημα UMTS είναι πολύ ευαίσθητο στον θόρυβο, επομένως είναι πολύ σημαντικό να ελέγξουμε την αύξηση του θορύβου στο δίκτυο. Όταν σχεδιάζουμε ένα σύστημα UMTS θα πρέπει να αποφασίσουμε τι επίπεδα θορύβου θα αφήσουμε στην κυψέλη εξυπηρέτησης αλλά και στις γειτονικές κυψέλες αντίστοιχα. Ο θόρυβος από την τηλεπικοινωνιακή κίνηση στις κυψέλες μπορεί να αυξήσει και τον θόρυβο στις γειτονικές κυψέλες και να έχει μεγάλη επίδραση στην χωρικότητα αυτών των κυψελών.



**Εικόνα 2.17:** Περισσότερη τηλεπικοινωνιακή κίνηση θα αυξήσει τον θόρυβο και θα μικρύνει την εμβέλεια της κυψέλης

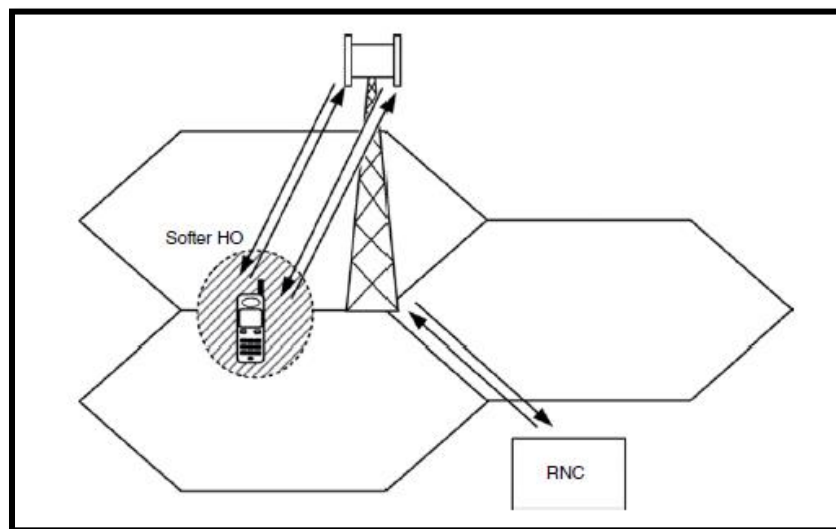
Στην εικόνα 2.17 έχουμε ένα παράδειγμα του πως η αύξηση του θορύβου αλλά και η αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης επηρεάζουν άμεσα την περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται και cell breathing.

### 2.3.4 Μεταπομπή (Handover) ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

Οι κυριότεροι λόγοι για την μεταγωγή των συνδέσεων (handovers) είναι η φυσική συνέχεια μιας κλήσης και οι επιλογές λειτουργίας των χρηστών. Η μεταγωγή που καθορίζεται στα πρότυπα UMTS, σχετίζεται πάντα με τη διαδικασία επαναεπιλογής νέας κυψέλης, η οποία εμφανίζεται όταν ένας κινητός σταθμός απομακρύνεται από μία κυψέλη και περιέρχεται υπό τον έλεγχο ενός άλλου κόμβου. Υπάρχουν τρεις τύποι handovers στο UMTS:

- Softer Handover
- Soft Handover
- Harder Handover

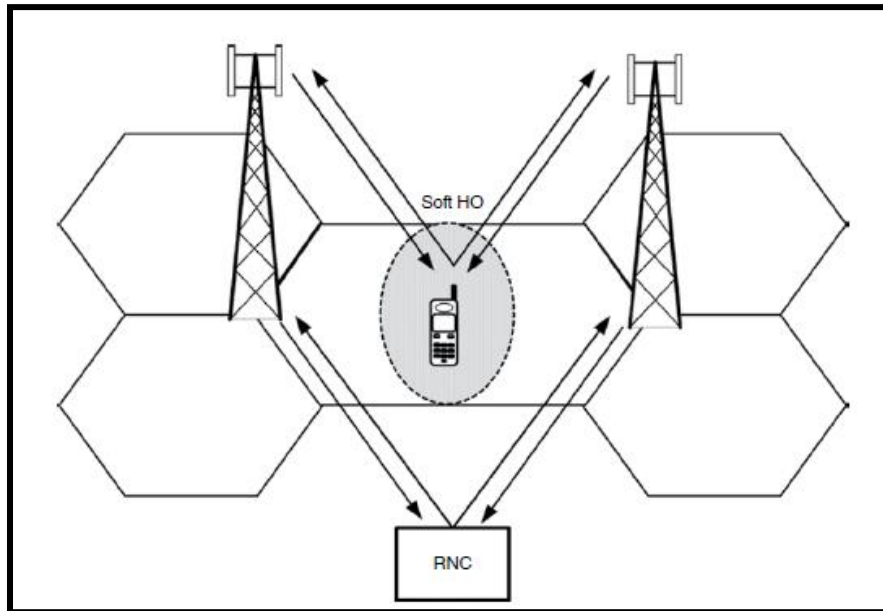
**Softer Handover:** Ο κινητός σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή δύο κυψελών του ίδιου σταθμού βάσης. Ο κινητός σταθμός μετράει ταυτόχρονα την ισχύ των σημάτων σε κάθε τομέα μέσω δύο downlink καναλιών χωρίς να διακόψει την σύνδεση με την τρέχουσα κυψέλη. Εφόσον είναι απαραίτητο ο δέκτης του κινητού σταθμού λαμβάνει και υπολογίζει τους scrambling codes της κάθε κυψέλης. Στην uplink, ο σταθμός βάσης λαμβάνει τις ισχύς των δύο σημάτων και από τους δύο τομείς και τις δρομολογεί στον ίδιο δέκτη για τον υπολογισμό του μέγιστου λόγου κάτω από έναν ενεργό βρόχο ελέγχου ισχύος ανά σύνδεση (εικόνα 2.18)



Εικόνα 2.18: Softer handover

**Soft Handover:** Ο κινητός σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή δύο κυψελών που εξυπηρετούνται από διαφορετικό σταθμό βάσης ο καθένας. Οι επικοινωνίες μεταξύ του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης συμβαίνουν ταυτόχρονα διαμέσου των δύο καναλιών, ένα για κάθε σταθμό βάσης. Στο DL, ο κινητός σταθμός λαμβάνει και τα δύο σήματα που προέρχονται από τους δύο σταθμούς βάσης

για τον υπολογισμό του μέγιστου λόγου. Στο UL, το code channel του κινητού σταθμού φθάνει και στους δύο σταθμούς βάσης και δρομολογείται στον RNC για τον υπολογισμό, όταν επιτρέπεται του ίδιο δείκτη αξιοπιστίας του frame (εικόνα 2.19).



Εικόνα 2.19: Soft handover

**Hard Handover:** Ο κύριος λόγος για το hard handover είναι η κίνηση του κινητού σταθμού από τη μία κυψέλη στην άλλη εφόσον αυτές ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα της ιεραρχικής δομής των κυψελών (π.χ. pico, micro, macro cell). Για να μετρήσει την ισχύ των σημάτων μίας γειτονικής κυψέλης, ο κινητός σταθμός πρέπει να αποσυντονιστεί από τη συχνότητα της τρέχουσας κυψέλης και να συντονιστεί στη συχνότητα της γειτονικής κυψέλης χωρίς φυσικά απώλεια των δεδομένων.

### 2.3.5 Σηματοδοσία ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

**Λογικά κανάλια (Logical channels):** Τα λογικά κανάλια δεν αποτελούν νοητές οντότητες του φυσικού υποστρώματος (layer 1), αλλά αποτελούν λειτουργικό δομικό στοιχείο της διεπαφής που διασυνδέει τα υποστρώματα MAC και RLC. Δηλαδή, τα λογικά κανάλια ξεκάθαρα ανήκουν στο επίπεδο 2 (layer 2). Τα λογικά κανάλια διακρίνονται σε κανάλια ελέγχου (control channels) και σε κανάλια κίνησης (traffic channels). Ένα κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι είτε κοινό (common) είτε αφοσιωμένο (dedicated). Ένα κοινό κανάλι είναι point-to-multipoint δηλαδή κοινό για όλους τους χρήστες σε μία κυψέλη, και ένα αφοσιωμένο κανάλι είναι ένα από σημείο σε σημείο κανάλι δηλαδή χρησιμοποιείται από ένα μόνο χρήστη. Τα κανάλια ελέγχου μεταφέρουν πληροφορίες επιπέδου ελέγχου και τα αφοσιωμένα κανάλια πληροφορίες επιπέδου χρηστών. Συγκεκριμένα τα λογικά κανάλια ελέγχου είναι:

- **Broadcast Control Channel (BCCH):** Μεταδίδει πληροφορίες του συστήματος καθώς και πληροφορίες που σχετίζονται με την συγκεκριμένη κυψέλη.
- **Paging Control Channel (PCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες σελιδοποίησης.

- **Dedicated Control Channel (DCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες που συνδέονται με τον έλεγχο των αφιερωμένων καναλιών για την λειτουργία του συστήματος σε αφοσιωμένο τρόπο.
- **Common Control Channel (CCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου.
- **Shared Channel Control Channel (SHCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου και για τις δύο κατευθύνσεις των shared καναλιών.
- **Dedicated Traffic Channel (DTCH):** Μεταφέρει πληροφορίες χρηστών.
- **Common Traffic Channel (CTCH):** Μεταφέρει πληροφορίες αφοσιωμένου τρόπου λειτουργίας για ένα σύνολο χρηστών.

**Κανάλια συνοδού (Transport channels):** Τα κανάλια συνοδού καθορίζουν πώς και με ποια χαρακτηριστικά μεταφέρονται τα δεδομένα από το φυσικό υπόστρωμα. Τα κανάλια συνοδού διακρίνονται σε κοινά κανάλια και αφοσιωμένα κανάλια. Συγκεκριμένα τα κανάλια συνοδού είναι τα εξής:

- **Broadcast Channel (BCH):** Μεταδίδει πληροφορίες του συστήματος καθώς πληροφορίες που σχετίζονται με την συγκεκριμένη κυψέλη.
- **Paging Channel (PCH):** Χρησιμοποιείται για την μετάδοση μηνυμάτων σελιδοποίησης καθώς και άλλων ειδοποιήσεων.
- **Random Access Channel (RACH):** Χρησιμοποιείται για την αρχική πρόσβαση ή τα όχι σε πραγματικό χρόνο δεδομένα αφιερωμένου ελέγχου ή κίνησης.
- **Common Packet Channel (CPCH):** Κανάλι που βασίζεται στο συναγωνισμό και χρησιμοποιείται για την μετάδοση των δεδομένων κίνησης.
- **Forward Access Channel (FACH):** Μεταφέρει μικρά ποσά δεδομένων χρηστών
- **Downlink Shared Channel (DSCH):** Χρησιμοποιείται για δεδομένα αφιερωμένου ελέγχου και για δεδομένα κίνησης.
- **High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH):** Βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Χρησιμοποιεί σχέδιο προσαρμογής αποδοτικής ζεύξης.
- **Uplink Shared Channel (USCH):** Μεταφέρει δεδομένα αφιερωμένου ελέγχου και δεδομένα κίνησης.
- **Dedicated Channel (DCH):** Χρησιμοποιείται είτε στην άνω ζεύξη είτε στην κάτω ζεύξη.

**Φυσικά Κανάλια (Physical channels):** Υπάρχουν δύο τρόποι να χρησιμοποιηθεί το εκχωρούμενο φάσμα στο UMTS σύστημα. Στο UMTS-FDD, και το uplink αλλά και το downlink έχουν τα δικά τους κανάλια συχνοτήτων. Στο UMTS-TDD, υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων, το οποίο εκχωρείται κατά ένα δυναμικό τρόπο και για το uplink αλλά και για το downlink. Στην πράξη, στο UMTS-FDD εκχωρείται το συμμετρικό μέρος της κατανομής του φάσματος στο UMTS, ενώ ο TDD περιορίζεται στο ασυμμετρικό τμήμα του φάσματος. Συγκεκριμένα τα φυσικά κανάλια είναι τα εξής:

- **Synchronization Channel (SCH):** Χρησιμοποιείται για αναζήτηση κυψέλης.

- **Common Pilot Channel (CPICH):** Έχει σταθερό ρυθμό στα 30 Kbps και μεταφέρει ένα προκαθορισμένο bit ακολουθίας.
- **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH):** Μεταφέρει το DSCH κανάλι.
- **Paging Indicator Channel (PICH):** Μεταφέρει πληροφορίες σελίδας PCH.
- **Acquisition Indicator Channel (AICH):** Μεταφέρει δείκτες κτήσης.
- **Access Preamble Acquisition Indicator Channel (AP-AICH):** Μεταφέρει εισαγωγικούς δείκτες κτήσης του σχετικού CPCH.
- **Status Indicator Channel (CSICH):** Μεταφέρει πληροφορίες κατάστασης για το CPCH.
- **Collision-Detection/Channel-Assignment Indicator Channel (CD/CA-ICH):** Μεταφέρει δείκτες CD (collision detection) μόνο εάν το CA (channel assignment) είναι ανενεργοί.
- **High-Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH):** Μεταφέρει το HS-DSCH.
- **Shared Control Channel for HS-DSCH (HS-SCCH):** Μεταφέρει downlink σηματοδοσία που σχετίζεται με την HS-DSCH μετάδοση.
- **Dedicated physical data channel (DPDCH):** Μεταφέρει το αφοσιωμένο κανάλι DCH.
- **Dedicated physical control channel (DPCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου που παράγονται στο επίπεδο 1 (layer 1).
- **Physical Random Access Channel (PRACH):** Μεταφέρει το RACH.
- **Physical Common Packet Channel (PCPCH):** Μεταφέρει το CPCH.
- **Uplink Dedicated Control Channel for HS-DSCH (HS-DPCCH):** Μεταφέρει HSDPA πληροφορίες.

### 2.3.6 Αρχιτεκτονική ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

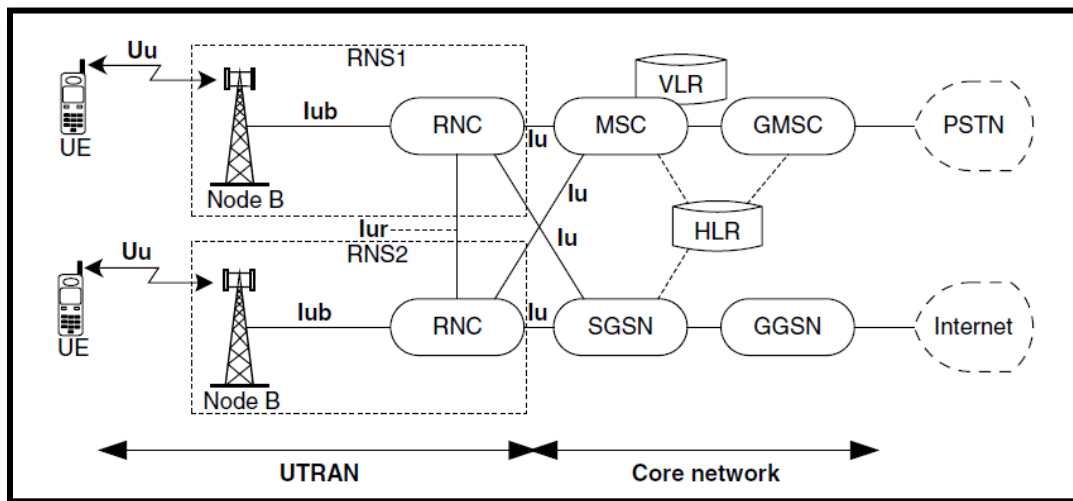
Σε αυτή την υποενότητα δίνεται μια πολύ βασική εισαγωγή των στοιχείων που απαρτίζουν ένα UTRAN (UMTS terrestrial radio access network) δίκτυο καθώς και τα βασικά στοιχεία του core δικτύου του. Δεν θα δοθούν εκτενείς λεπτομέρειες αλλά είναι σημαντικό για τον σχεδιαστή ενός UTRAN δικτύου να γνωρίζει τις βασικές αρχές του ολικού δικτύου.

**Κινητός σταθμός (User equipment, UE):** Είναι η κινητή συσκευή που διαθέτει ο κάθε χρήστης (πελάτης του κάθε παρόχου). Ένας κινητός σταθμός είναι κάτι παραπάνω από μια απλή τηλεφωνική συσκευή. Στην ουσία είναι μια κινητή συσκευή δεδομένων (mobile data device).

**Σταθμός βάσης (Node B):** Στα UTRAN δίκτυα ο σταθμός βάσης ονομάζεται Node B σε αντίθεση με τα GSM δίκτυα που ονομαζόταν BTS. Ένας Node B αποτελείται από πομποδέκτες και μονάδες επεξεργασίας του ραδιοσυχνοτήτων (RF) που εξυπηρετούν τους χρήστες. Η διασύνδεση του Node B με το RNC γίνεται με την βοήθεια της διεπαφής  $I_{ub}$ . Ένας Node B έχει την δυνατότητα να μπορεί να εκτελεί μερικές σημαντικές μετρήσεις μέσω της διεπαφής  $U_u$  και να τις ανακοινώνει στο RNC (συνήθως πληροφορίες με την ποιότητα των καναλιών). Αυτές οι πληροφορίες είναι το BLER (Block error rate) και το BER (Bit error rate). Είναι πολύ σημαντικές πληροφορίες και βοηθάνε το RNC να αξιολογήσει την ποιότητα της

υπηρεσίας (QOS, quality of service) και να ρυθμίσει την ισχύ ανάλογα. Τέλος ο Node B αναφέρει στο RNC τα επίπεδα στάθμης του σήματος των κινητών συσκευών αλλά και στο SNR (signal to noise ratio) κ.α.

**Ελεγκτής δικτύου ραδιοπρόσβασης (RNC, radio network controller):** Ο ελεγκτής δικτύου ραδιοπρόσβασης (RNC) ελέγχει όλα τα οριζόμενα σε αυτόν Node Bs. Για τις υπηρεσίες φωνής το RNC επικοινωνεί με το MSC, ενώ για τις υπηρεσίες δεδομένων ο RNC επικοινωνεί με το SGSN. Το RNC είναι υπεύθυνο για την φόρτωση των κυψελών, τον έλεγχο της κίνησης αλλά και για το code allocation. Οι RNC συνδέονται μεταξύ τους διαμέσου της λογικής διεπαφής I<sub>ur</sub> και ο τελικός από αυτούς αποτελεί το ένα άκρο μιας φυσικής πρόσβασης ή ενός δικτύου μεταφοράς που καταλήγει στο δίκτυο κορμού. Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο RNC ελέγχει τους ραδιοπόρους του συστήματος και αποτελεί το σημείο εξυπηρέτησης όλου του WCDMA UTRAN που προωθεί τις υπηρεσίες προς το δίκτυο κορμού (core network).



**Εικόνα 2.20:** Αρχιτεκτονική ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς

**Δίκτυο κορμού (Core network):** Το δίκτυο κορμού περιλαμβάνει τις οντότητες εκείνες που υποστηρίζουν και διασυνδέουν τα δομικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν μέχρι αυτό το σημείο. Αυτά είναι:

- **Mobile switching center (MSC):** Ελέγχει όλα τα κυκλώματα και τα δεδομένα φωνής και πακέτων για όλο το ενεργό υποδίκτυο χρηστών.
- **Gateway mobile switching center (GMSC):** Συνδέει τα τοπικά MSC με άλλα εξωτερικά MSC.
- **Servicing GPRS support node (SGSN):** Μεταφέρει τα εσωτερικά δεδομένα του δικτύου.
- **Gateway GPRS support node (GGSN):** Μεταφέρει τα εξωτερικά δεδομένα του δικτύου.
- **Visitor Location Register (VLR):** Είναι μια βάση δεδομένων για τα υποδίκτυα χρηστών.
- **Home Location Register (HLR):** Είναι μια βάση δεδομένων και περιέχει τα δεδομένα της SIM του κάθε χρήστη στο υποδίκτυο χρηστών.

### 2.3.7 Εισαγωγή στα δίκτυα HSPA (High Speed Packet Access)

Η απρόσκοπτη κινητικότητα των υπηρεσιών δεδομένων και φωνής είναι υψίστης σημασίας για τις σύγχρονες υπηρεσίες. Ειδικότερα η υπηρεσία για κινητή τηλεφωνία αλλά και τερματικά δεδομένων είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς όλο και περισσότεροι επαγγελματίες προσανατολίζονται προς το ένα άτομο ανά αριθμό (one person, one number), το οποίο επίσης αναφέρεται και ως κινητό γραφείο. Η προσφορά υπηρεσιών θα πρέπει να είναι η ίδια, ανεξάρτητα από το αν βρίσκεσαι στο σπίτι, στο δρόμο ή στο γραφείο.

Τα γραφεία με πολύ απαιτητικούς χρήστες φωνής και δεδομένων θέτουν συγκεκριμένες προκλήσεις για την υψηλή απόδοση των δικτύων HSPA (3G+). Τα δίκτυα αυτά αποτελούν μια εναλλακτική λύση των υπηρεσιών Wi-Fi. Έτσι λοιπόν η αναβάθμιση των δικτύων UMTS-WCDMA σε HSPA είναι αναγκαία και μπορούν και προσφέρουν πλήρη κινητικότητα αλλά και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

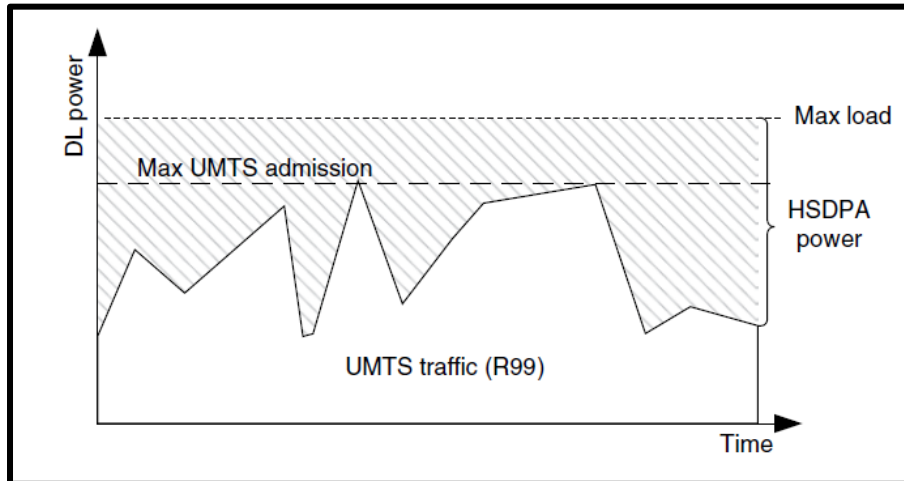
Η παροχή επαρκούς κάλυψης εσωτερικών χώρων με το HSPA αποτελεί μια πρόκληση για τους πάροχους καθώς η κάλυψη των macro σταθμών βάσης δεν επαρκεί για όλους τους εσωτερικούς χώρους. Μάλιστα οι χρήστες με μεγάλες απαιτήσεις βρίσκονται συνήθως σε τέτοιους χώρους, έτσι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο επίλυσης αυτής της πρόκλησης.

Η εξέλιξη των UMTS δικτύων έγινε με τα πρωτόκολλα HSPA, τα οποία αποτελούνται από τα HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) και HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), τα οποία επεκτείνουν και βελτιώνουν τα ήδη υπάρχοντα UMTS δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών. Ως βελτίωση των ήδη υπάρχοντων δικτύων τρίτης γενιάς, δεν αποτελούν ξεχωριστή τεχνολογία και για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ως τεχνολογίες 3G+. Τα πρωτόκολλα από τα οποία αποτελείται το HSPA είναι:

- High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)
- High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

**High Speed Downlink Packet Access (HSDPA):** Το HSDPA είναι μια υψηλής ταχύτητας υπηρεσία δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και μπορεί να υλοποιηθεί στο ήδη υπάρχον δίκτυο UMTS. Οι πάροχοι, σαν πρώτη φάση, μπορούν να υλοποιήσουν το δίκτυο HSPA στο υπάρχον UMTS R99 δίκτυο (πρώτη γενιά 3G) χρησιμοποιώντας τα ίδια κανάλια του UMTS. Ακόμα το HSPA χρησιμοποιεί το περιθώριο ισχύος (power headroom) που δεν χρησιμοποιεί το UMTS, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.21.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν, ο πάροχος μπορεί να υποστηρίξει την ανάγκη για υψηλές ταχύτητες δεδομένων (στο DL) με σχετικά μικρό κόστος καθώς θα βασίζεται στο ήδη υπάρχον δίκτυο UMTS. Πολλοί πάροχοι προτιμούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια για το HSDPA καθώς η φόρτωση των υφισταμένων δικτύων UMTS θα προκαλέσει προβλήματα όπως φόρτωση του δικτύου, αύξηση του θορύβου, υποβάθμιση της χωρητικότητας κ.α.



**Εικόνα 2.21:** Υλοποίηση HSDPA δικτύου στο ήδη υπάρχων UMTS R99 στα ίδια RF κανάλια.

Ωστόσο ένα πολύ σημαντικό ερώτημα θα πρέπει να μας απασχολήσει. Γιατί οι πάροχοι σε όλον τον κόσμο προτιμάνε την χρήση του HSDPA; Ας δούμε τους βασικούς λόγους της επιλογής. Συγκεκριμένα:

- Τυπικά η υψηλότερη τηλεπικοινωνιακή κίνηση συναντάται στο downlink.
- Πολύ μεγάλη χωρητικότητα (σε σύγκριση με το UMTS R99).
- Δεν υπάρχει ανάγκη για access point όπως γίνεται με το Wi-Fi.
- Οι πάροχοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν το υπάρχον UMTS δίκτυο για να ενεργοποιήσουν το HSDPA.
- Το HSDPA είναι περισσότερο φασματικά αποδοτικό σε σχέση με το GSM και το UMTS.
- Το κόστος ανά Mb είναι πολύ μικρότερο.
- Υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης, μέχρι 14 Mbps στα δίκτυα εσωτερικής κάλυψης.
- Οι πάροχοι μπορούν να ανταγωνιστούν το Wi-Fi με το HSDPA.

### 2.3.8 Χρήση HSPA δικτύων εσωτερικής κάλυψης

Ας δούμε τώρα γιατί τα δίκτυα εσωτερικής κάλυψης πρέπει να έχουν υψηλής ποιότητας δίκτυα HSDPA. Η ταχύτητα του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων είναι συσχετισμένη με το SNR. Χρειάζεται ένα πολύ καλό κανάλι επικοινωνίας για να παρέχουμε υψηλές ταχύτητες. Οι σταθμοί βάσης από το macro επίπεδο θα πρέπει να κάνουν χρήση υψηλής ισχύος για να καλύψει τους χρήστες μέσα στα κτήρια με αποτέλεσμα την υποβάθμιση αλλά και τις παρεμβολές σε αυτούς τους σταθμούς βάσης. Μόνο σε κτήρια δεκάδων μέτρων θα μπορούν οι macro σταθμοί βάσης να εξυπηρετήσουν τους συνδρομητές μέσα σε αυτά τα κτήρια. Μάλιστα στα αστικά περιβάλλοντα η ταχύτητα δεδομένων δεν θα μπορεί να ξεπεράσει τα 360 kbps στο μεγαλύτερο εύρος κάλυψης. Τέλος το κόστος παραγωγής ανά Mb θα είναι μικρότερο με την χρήση δικτύων εσωτερικής κάλυψης όπου και εκεί γίνεται κυρίως η χρήση τους.



Η απόδοση των δικτύων HSPA είναι πολύ ευαίσθητη και ευάλωτη στην ποιότητα του RF καναλιού, στην κυριαρχία (dominance) αλλά και στην απομόνωση του σήματος στους εσωτερικούς χώρους. Το καλύτερο σύστημα εσωτερικής κάλυψης είναι εκείνο το οποίο έχει την υψηλότερη εκπεμπόμενη ενέργεια στο downlink με το μικρότερο δυνατό noise figure. Με την χρήση λοιπόν αυτών των δικτύων ως συστήματα κάλυψης εσωτερικών χώρων δημιουργούνται κάποια πλεονεκτήματα για τον πάροχο αλλά και τους χρήστες. Συγκεκριμένα:

- **Καλύτερη υπηρεσία HSPA:** Οι HSPA χρήστες θα έχουν μια συνεκτική κάλυψη. Θα μπορούν να περιφέρονται από το εξωτερικό στο εσωτερικό δίκτυο χωρίς να επηρεάζονται οι υπηρεσίες τους.
- **Οι φορητοί υπολογιστές υποστηρίζουν HSPA:** Οι νέοι φορητοί υπολογιστές έχουν HSPA κάρτες δικτύου. Έτσι μπορούν να απολαμβάνουν τις υπηρεσίες του HSPA όχι μόνο από τις κινητές συσκευές αλλά και από τους φορητούς υπολογιστές.
- **Μικρό κόστος παραγωγής Mb:** Το κόστος παραγωγής δεδομένων είναι πολύ πιο μικρό σε σχέση με των δικτύων EDGE και UMTS.
- **Απρόσκοπτες χρεώσεις:** Ο χρήστης δεν χρειάζεται να αγοράζει συνδρομητικές υπηρεσίες Wi-Fi στα κτήρια που βρίσκεται από διάφορους πάροχους με υψηλό κόστος. Οι χρήστες HSPA μπορούν να χρεωθούν για τις υπηρεσίες τους μέσω της κανονικής συνδρομής τους που έχουν για την κινητή τους συσκευή.
- **Εύκολη σύνδεση στο HSPA:** Οι χρήστες δεν χρειάζεται να ψάχνουν για δίκτυα Wi-Fi και να προσπαθούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο μέσα από αυτά. Με τα HSPA οι χρήστες θα μπορούν να συνδέονται απευθείας στο διαδίκτυο.

HSDPA speed	Coverage radius
480 kbps	47 m
720 kbps	37 m
1.8 Mbps	33 m
3.6 Mbps	29 m
7.2 Mbps	20 m
10.7 M	15 m

**Εικόνα 2.22:** Τυπικός ρυθμός μετάδοσης HSDPA από omni κεραία σε εμπορικό κέντρο

Οι υψηλότερες απαιτήσεις για δεδομένα κινητής τηλεφωνίας συνήθως γίνονται από χρήστες που βρίσκονται στα hotspot ενός κτηρίου. Επομένως πρέπει να εφαρμόσουμε μια στρατηγική για την σχεδίαση του συστήματος εσωτερικής κάλυψης με έμφαση στα hotspots. Έτσι αρχικά θα πρέπει να τοποθετήσουμε τις πρώτες κεραίες γύρω από αυτούς τους χώρους υψηλής σημασίας και στην συνέχεια να σχεδιάσουμε το υπόλοιπο σύστημα. Οι περιοχές hotspot είναι συνήθως περιοχές όπου οι χρήστες δεδομένων κινητής είναι σε θέση να κάθονται και να χρησιμοποιούν υπολογιστή ή τον κινητό τους σταθμό. Οι ζώνες hotspot στα κτήρια είναι οι εξής:

### Εταιρικά κτήρια με γραφεία

- Αίθουσες συνεδριάσεων.
- Αίθουσες συσκέψεων.
- Όροφοι με στελέχη υψηλής σημασίας.
- Ζώνες Wi-Fi.

### Αεροδρόμια

- Σαλόνια για πελάτες πρώτης θέσης.
- Χώροι αναμονής πτήσεων.
- Εστιατόρια και καφετέριες.
- Αίθουσες συναντήσεων.
- Αίθουσες συνεδριάσεων προσωπικού.
- Περιοχές διαχείρισης.
- Ζώνες Wi-Fi.

### Ξενοδοχεία

- Χώροι συνεδριάσεων.
- Αίθουσες συσκέψεων.
- Χώροι για ξεχωριστούς πελάτες.
- Αίθουσες συνεδριάσεων προσωπικού.
- Ζώνες Wi-Fi.

### Εμπορικά κέντρα

- Χώροι καθιστικού.
- Εστιατόρια και καφετέριες.
- Περιοχές διαχείρισης.
- Αίθουσες συνεδριάσεων προσωπικού.
- Χώροι εστίασης.





## 3. Προχωρημένα Ασύρματα Κυψελωτά Δίκτυα 4<sup>ης</sup> Γενιάς

### 3.1 Διαμόρφωση (Modulation)

#### 3.1.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο έχει ως σκοπό βασικές πληροφορίες σχετικά με τις διαμορφώσεις και πως αυτές θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα προηγμένα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για όλο και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης μέσω του αέρα είναι μια αρκετά μεγάλη πρόκληση για τους πάροχους. Όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια του συγκεκριμένου κεφαλαίου, έχουν εφαρμοστεί νέες προηγμένες τεχνικές στις κεραίες για την υποστήριξη του 3G+/HSPA+ αλλά και του 4G/LTE με σκοπό την μέγιστή απόδοση των συστημάτων.

#### 3.1.2 Shannon's Formula

Ο Shannon καθιέρωσε το θεωρητικό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης μέσα σε ένα ραδιοδίαυλο που είναι γνωστό και ως η χωρητικότητα του καναλιού. Με τον υπολογισμό της φόρμουλας του Shannon μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την χωρητικότητα του καναλιού. Συγκεκριμένα:

$$C = BW \times \log_2(1 + (S/N))$$

**C:** Χωρητικότητα καναλιού.

**BW:** Διαθέσιμο εύρος ζώνης.

**S:** Ισχύς σήματος.

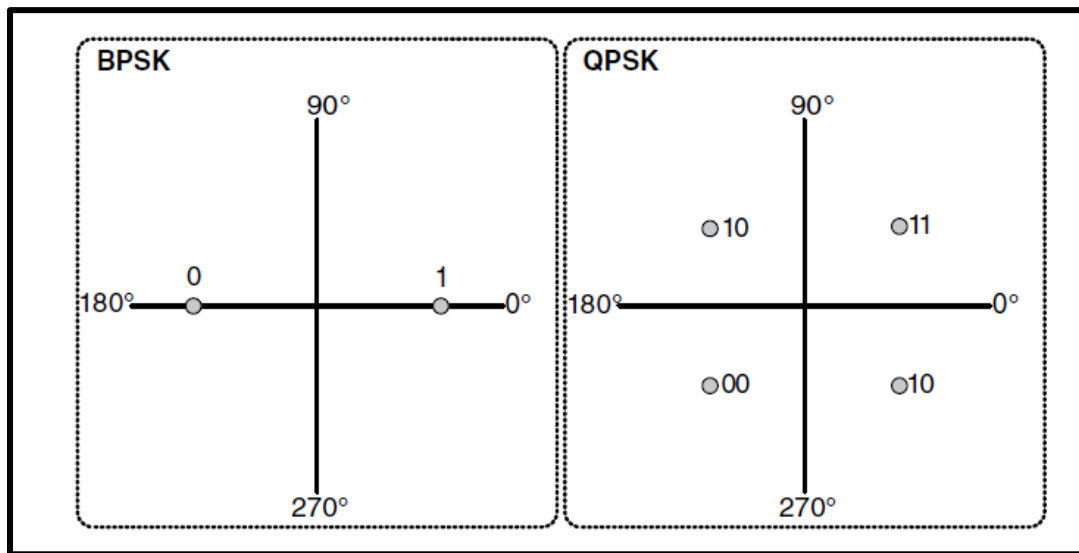
**N:** Ισχύς θορύβου.

Από την φόρμουλα του Shannon μπορούμε να δούμε πως δυο πολύ βασικές παράμετροι μειώνουν την χωρητικότητα του ραδιοδιαύλου. Αυτοί οι δυο βασικοί παράγοντες είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης αλλά και η ποιότητα του καναλιού, δηλαδή το SNR (signal to noise ratio).

Χωρίς να μπούμε σε μαθηματικές λεπτομέρειες, μπορούμε να δούμε πως για να αυξήσουμε τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων άρα και την χωρητικότητα, θα πρέπει να αυξήσουμε και το SNR. Αυτό μπορεί να γίνει και με την χρήση MIMO τεχνικών, δηλαδή παράλληλων καναλιών, αλλά θα το αναλύσουμε στην συνέχεια του κεφαλαίου. Ωστόσο η υψηλή ανάγκη για καλό SNR θα είναι μια πρόκληση καθώς μπορεί να αντιμετωπίσουμε παρεμβολές σε μεγάλο βαθμό μέσα στο δίκτυο μας.

### 3.1.3 Αρχές διαμόρφωσης

Προκειμένου να αυξηθούν οι ρυθμοί μετάδοσης μέσα στον ραδιοδιάλο πρέπει να εφαρμοστούν higher order modulation schemes. Ως **διαμόρφωση** (modulation) χαρακτηρίζεται η μεταβολή μιας παραμέτρου (π.χ. πλάτους, συχνότητας, φάσης κλπ.) ενός σήματος που λέγεται φέρον εξαιτίας της επενέργειας σε αυτό (στο φέρον), του σήματος πληροφορίας  $m(t)$ , που ονομάζεται και διαμορφώνον σήμα ή σήμα βασικής ζώνης. Συνήθως, το φέρον είναι ένα ημιτονοειδές σήμα  $c(t)$ , το δε σήμα πληροφορίας  $m(t)$  επενεργεί στο πλάτος, τη συχνότητα ή τη φάση του  $c(t)$ . Πάμε να δούμε λοιπόν ποια είναι τα είδη αυτών των διαμορφώσεων.

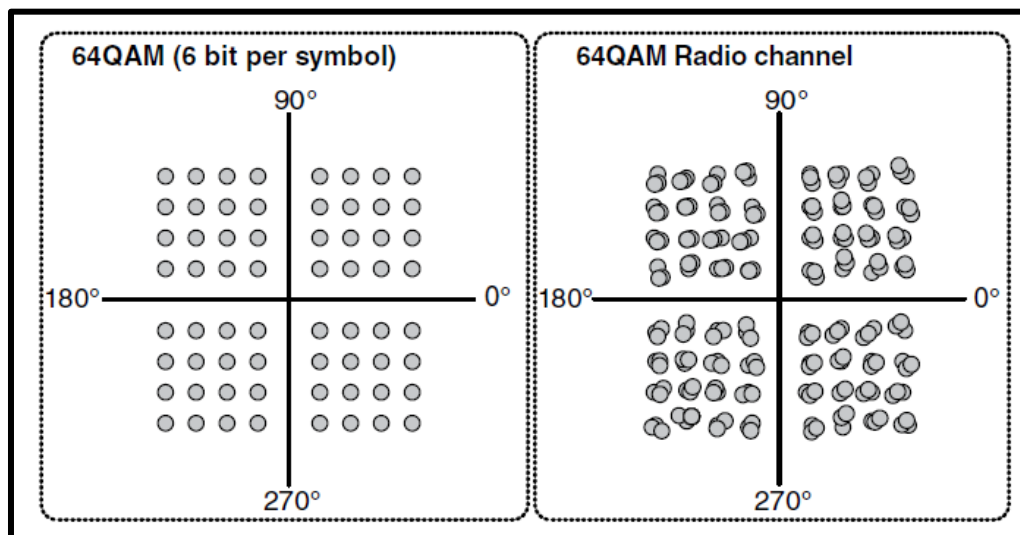


Εικόνα 3.1: Σχηματικό διάγραμμα των φάσεων των BPSK και QPSK διαμορφώσεων.

**BPSK (binary phase shift keying):** Είναι η πιο απλή μορφή της ψηφιακής διαμόρφωσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1 η διαμόρφωση BPSK χρησιμοποιεί δυο φάσεις, διαχωριζόμενες κατά 180°. Οι πληροφορίες μπορούν να λάβουν δυο μοναδικές καταστάσεις και αυτές είναι το «0» και το «1». Το δυαδικό 0 αναπαρίσταται στέλνοντας ένα κατά συστάδες σήμα (burst signal) της ίδιας φάσης με τη φάση του κατά συστάδες σήματος που είχε σταλθεί προηγουμένος. Ένα δυαδικό 1 αναπαρίσταται στέλνοντας ένα κατά συστάδες σήμα αντίθετης φάσης με την φάση του προηγουμένου.

**QPSK (quadrature phase shift keying):** Είναι μια πιο προηγμένη τεχνική διαμόρφωσης από ότι η BPSK και χρησιμοποιείται στα συστήματα WCDMA (UMTS/3G). Κάνει μια πιο αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης αφού κάθε στοιχείο αναπαριστά περισσότερα από ένα bit. Αντί για μετατόπιση φάσης κατά  $180^\circ$ , όπως γίνεται στην BPSK, χρησιμοποιείται μια άλλη τεχνική, όπου χρησιμοποιεί μετατοπίσεις φάσης που χωρίζονται από πολλαπλάσια του  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 3.1 η QPSK μπορεί να κωδικοποιήσει δυο bit ανά σύμβολο, διπλασιάζοντας έτσι την χωρητικότητα στο κανάλια.

**Διαμορφώσεις υψηλότερης τάξης (higher order modulation):** Όπως περιγράφηκε και νωρίτερα η διαμόρφωση QPSK μπορεί να κωδικοποιήσει δυο bit ανά σύμβολο, διπλασιάζοντας έτσι την χωρητικότητα στο κανάλια. Με την διαμόρφωση QAM (τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους), η οποία είναι μια λογική επέκταση της QPSK, εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι είναι δυνατόν να στείλουμε δυο διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα πάνω στην ίδια φέρουσα συχνότητα χρησιμοποιώντας δυο αντίγραφα της φέρουσας συχνότητας, με το ένα να είναι μετατοπισμένο κατά  $90^\circ$  σε σχέση με το άλλο. Έτσι λοιπόν στην διαμόρφωση 16-QAM μπορούμε να έχουμε 16 πιθανούς συνδυασμούς καταστάσεων (όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2).



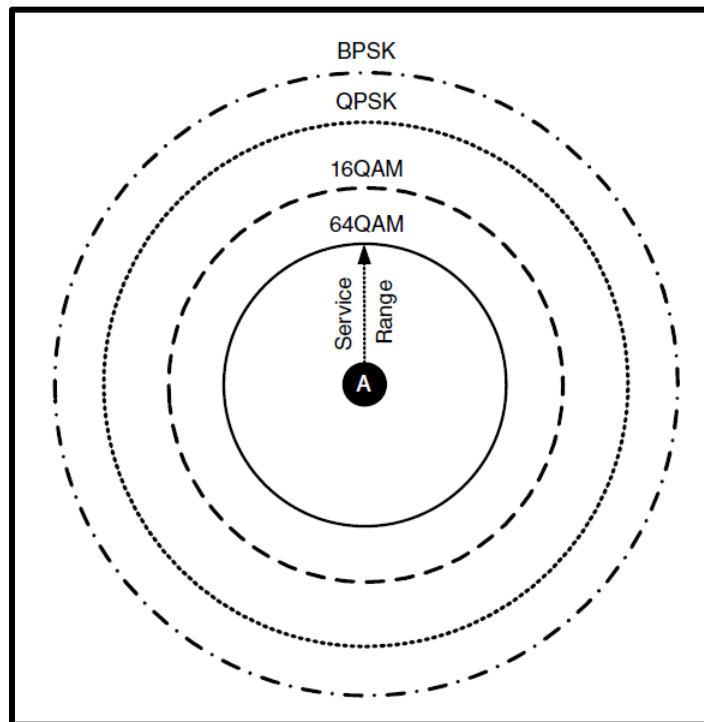
**Εικόνα 3.2:** Διαμορφώσεις υψηλότερης τάξης χρησιμοποιούνται σε συστήματα 3G/HSPA και 4G/LTE.

Οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των συμβόλων απαιτούν ένα πολύ καλό κανάλι για να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.

Με την χρήση της διαμόρφωσης 16-QAM, το σύστημα θα επιτρέψει 4 bit ανά σύμβολο. Αυτό μάλιστα μπορεί να επεκταθεί στην διαμόρφωση 64-QAM όπου θα έχουμε 64 πιθανούς συνδυασμούς καταστάσεων (όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2). Η συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι η υψηλότερης τάξης που χρησιμοποιούμε στα συστήματα HSPA+ αλλά και LTE (θα αναφερθούμε για τα συστήματα αυτά στην επόμενη παράγραφο).

### 3.1.4 Προσαρμοστικές διαμορφώσεις (adaptive modulation, AM)

Ανάλογα με την ποιότητα του καναλιού το σύστημα 3G/4G προσαρμόζει αυτόματα το είδος της διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιείται, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων. Η ποιότητα του καναλιού αξιολογείται συνεχώς. Με την χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης στο σύστημα μας μπορούμε και αυξάνουμε την χωρητικότητα στο διαθέσιμο φάσμα και πάντα χρησιμοποιούμε το κανάλι στο μέγιστο δυνατό. Αυτό ωφελεί τον πάροχο καθώς το κόστος παραγωγής δεδομένων (Mb) μικραίνει ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται τα έσοδα.

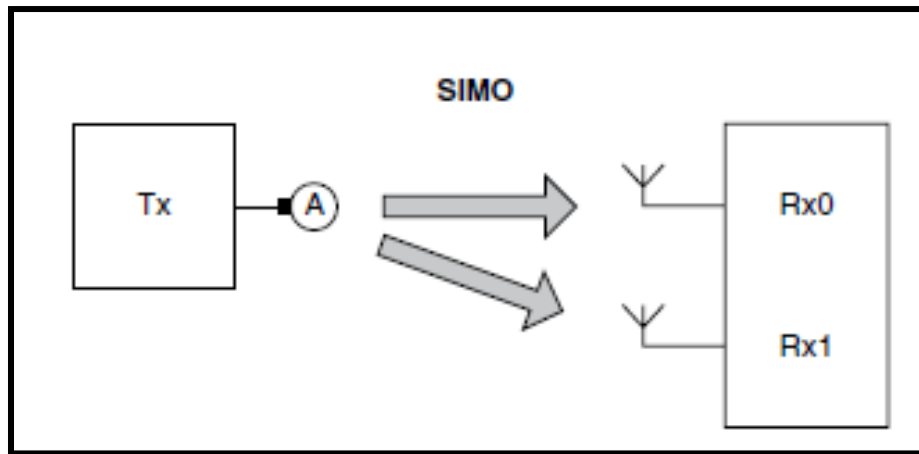


**Εικόνα 3.3:** Το σύστημα προσαρμόζει αυτόματα το είδος της διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιείται, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων. Αυτό καθιστά απαραίτητη την τοποθέτηση των κεραιών σε σημεία με την μεγαλύτερη ανάγκη για κίνηση όπου θα βρίσκονται οι απαιτητικοί χρήστες του κτηρίου.

### 3.2 Συστήματα MIMO (Multiple Input - Multiple Output)

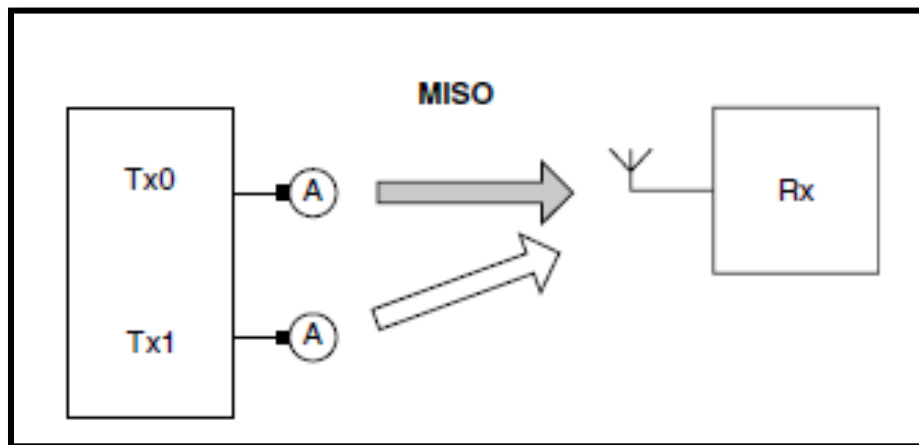
Οι όροι **είσοδος (input)** και **έξοδος (output)** χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το μέσο μεταξύ των πομπών και των δεκτών, το οποίο είναι και ως γνωστό ως **κανάλι (channel)**. Επομένως ένας σταθμός βάσης με δυο πομπούς μπορεί και παρέχει δυο εισόδους στο κανάλι (MI, multiple input) και μια κινητή συσκευή με δυο εισόδους στον δέκτη μπορεί να αποκωδικοποιήσει δυο εξόδους από το κανάλι (MO, multiple output). Τα συστήματα MIMO παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο για την σχεδίαση συστημάτων εσωτερικής κάλυψης και λόγω αυτής της τεχνικής έχουμε την δυνατότητα για μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων. Ανάλογα την διαθεσιμότητα των κεραιών στον πομπό και στον δέκτη διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

**Single-Input Multiple-Output (SIMO):** Είναι μια απλή μετάδοση ανοδικής ζεύξης κατά την οποία πολλαπλές κεραιές στο σταθμό βάσης επικοινωνούν με μια μόνο κεραία στον κινητό σταθμό.



Εικόνα 3.4: Τεχνική SIMO

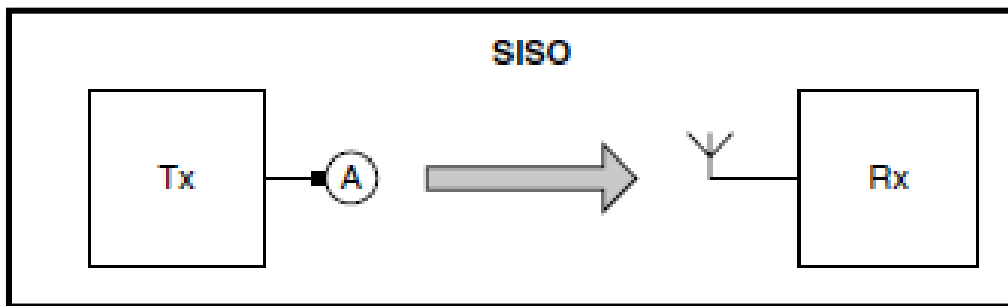
**Multiple-Input Single-Output (MISO):** Είναι μια μετάδοση καθοδικής ζεύξης κατά την οποία πολλαπλές κεραιές στον σταθμό βάσης επικοινωνούν με μια μόνο κεραία στον κινητό σταθμό.



Εικόνα 3.5: Τεχνική MISO

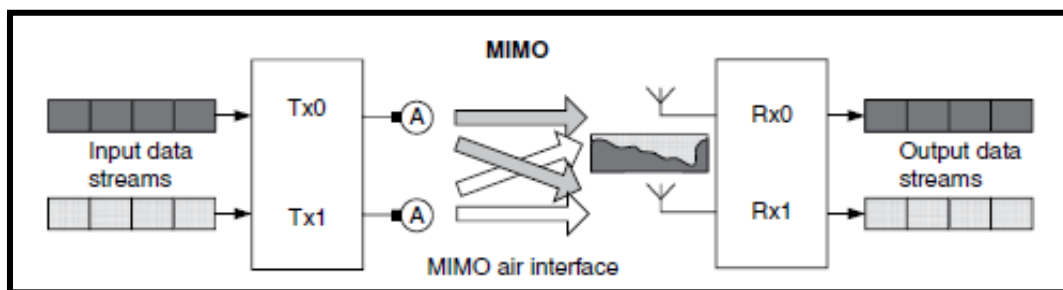
**Single-Input Single-Output (SISO):** Ο πιο βασικός τρόπος πρόσβασης ραδιοκαναλιού είναι η μονή είσοδος - μονή έξοδος στην οποία μόνο μία κεραία εκπομπής και μια κεραία λήψης χρησιμοποιούνται και στον σταθμό βάσης αλλά και στον κινητό σταθμό.





Εικόνα 3.6: Τεχνική SISO

**Multiple-Input Multiple-Output (MIMO):** Χαρακτηρίζει την επικοινωνία αρκετών εξοπλισμών χρήση ταυτόχρονα με ένα κοινό σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας τους ίδιους συχνοτικούς και χρονικούς πόρους. Στην εικόνα 3.7 αλλά και 3.8 χρησιμοποιούμε την τεχνική 2x2 MIMO. Δυο διαφορετικά σήματα αποστέλλονται από δυο διαφορετικούς πομπούς σε δυο διαφορετικούς δέκτες οι οποίοι και θα αποκωδικοποιήσουν τα απεσταλμένα σήματα. Ουσιαστικά η τεχνική MIMO αντιπροσωπεύει πολλαπλές παράλληλες ροές δεδομένων που μεταφέρονται μέσω του αέρα.

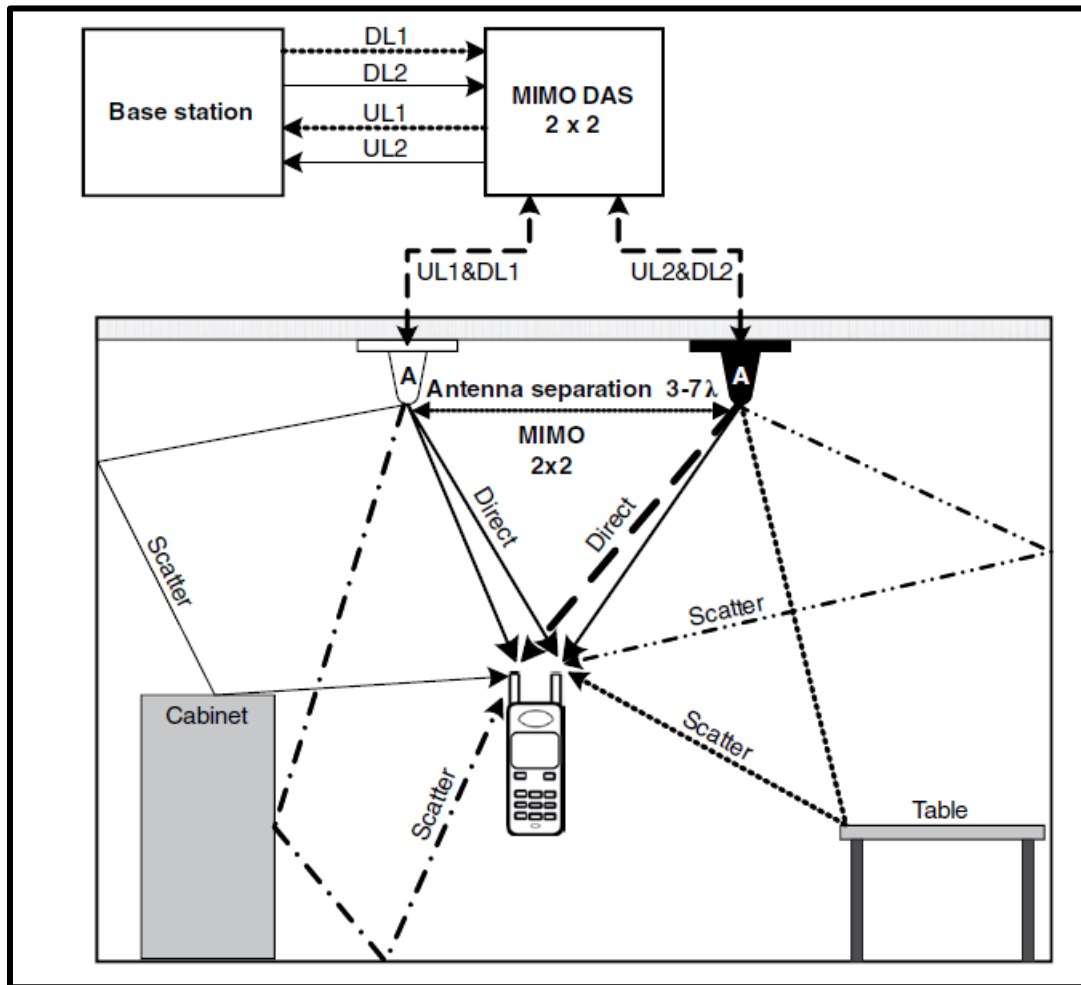


Εικόνα 3.7: Τεχνική 2x2 MIMO

Μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές MIMO μεγαλύτερου βαθμού (πχ 4x4 MIMO). Άρα στο ίδιο κανάλι μπορούμε να έχουμε τέσσερις πομπούς αλλά και τέσσερις δέκτες. Ωστόσο αυτό δημιουργεί μερικές σημαντικές προκλήσεις κατά τον σχεδιασμό συστημάτων εσωτερικής κάλυψης. Έτσι το MIMO θα απαιτήσει ένα περιβάλλον με μικρές ανακλάσεις (short reflections). Τέλος για να αξιοποιηθεί στο έπακρο η MIMO θα πρέπει να έχουμε ένα κανάλι με πολύ καλό SNR, άρα και πολύ υψηλή αποδοτικότητα. Για να μπορέσουμε να βελτιστοποιήσουμε την τεχνική MIMO, θα πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στα εξής χαρακτηριστικά:

- **Ποιότητα σήματος:** Αν έχουμε καταφέρει και έχουμε ένα καλό SNR τότε θα έχουμε και μεγαλύτερης τάξης διαμόρφωση (64-QAM) σχεδόν σε όλο το σύστημα μας.
- **Θέσεις κεραιών:** Ένα από τα βασικά κλειδιά για την απόδοση της τεχνικής MIMO είναι η σωστή τοποθέτηση των κεραιών κατά μήκος της περιοχής κάλυψης.

- **Ομοιόμορφη κάλυψη:** Ο σχεδιαστής θα πρέπει να σχεδιάσει το σύστημα έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή κάλυψη σε όλους τους χώρους της περιοχής σχεδίασης. Ακόμα και στα τυφλά σημεία.
- **Ευκολία εγκατάστασης:** Μπορεί να φαίνεται ως κάτι ασήμαντο αλλά είναι πολύ σημαντικό να σχεδιάσουμε ένα σύστημα το οποίο μπορεί να υλοποιηθεί και στην πράξη. Δεν έχει λογική να φτιάξουμε ένα σύστημα που θα δίνει 95% μέγιστη κάλυψη στο κτήριο αλλά στην πράξη μόνο ένα 10% μπορεί να υλοποιηθεί, ενώ ένα σύστημα που μπορεί να δίνει κάλυψη στο 82% του κτηρίου αλλά να υλοποιηθεί κατά 98%.



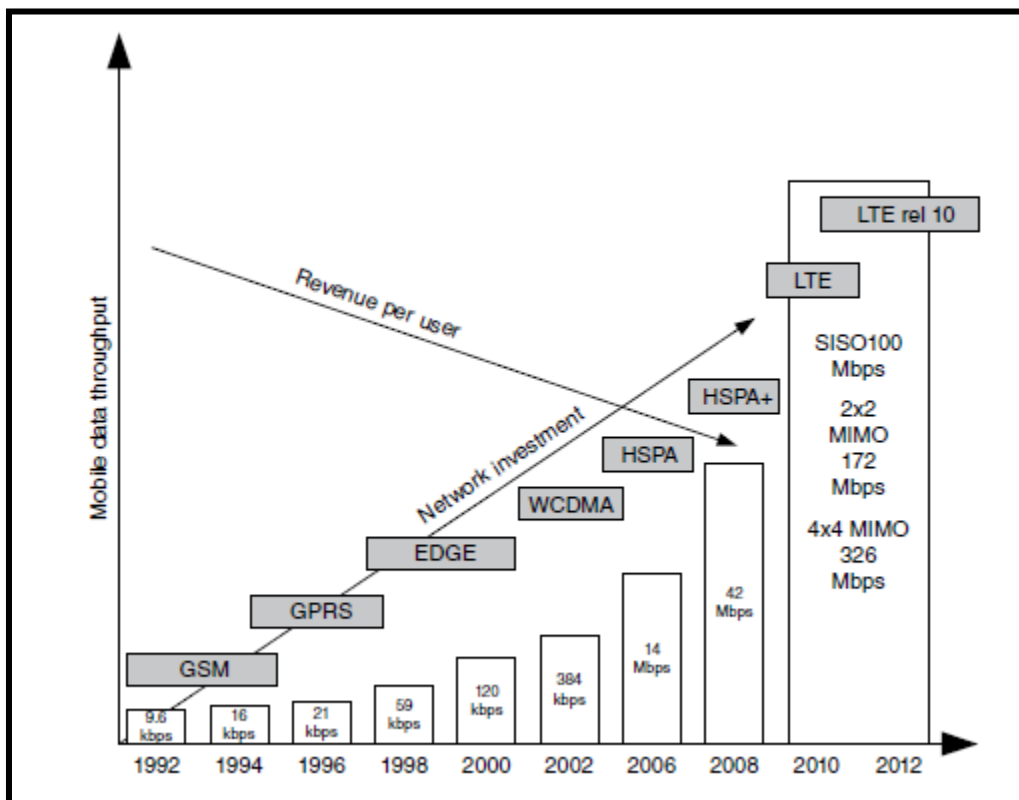
**Εικόνα 3.8:** Τυπικό περιβάλλον MIMO με ανακλώμενα σήματα από διάφορα υλικά όπως καμπίνες, τραπέζια και άλλα αντικείμενα.

### 3.3 Εισαγωγή στα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (LTE-4G)

#### 3.3.1 Εισαγωγή

Το LTE (Long Term Evolution) αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και την 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 δεύτερης και τρίτης γενιάς. Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το 2008 και τα πρώτα δίκτυα στο κόσμο που εγκαταστάθηκαν για δημόσια χρήση τον Δεκέμβρη του 2009.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανοδική (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.



Εικόνα 3.9: Αύξηση ταχύτητας δεδομένων από το GSM μέχρι το LTE

### 3.3.2 Ράδιο ιδιαιτερότητες ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

**Αυξημένοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων:** Το LTE είναι ικανό να παρέχει πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων, προσαρμοζόμενες στις συνθήκες της ραδιοζεύξης και του περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα στα συστήματα εσωτερικής κάλυψης, συνήθως, χρησιμοποιούμε την τεχνική 2x2 MIMO. Στην εικόνα 3.10 αποτυπώνονται οι θεωρητικοί ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων στα δίκτυα LTE.

Downlink peak data rate (64 QAM)			
Antenna configuration	SISO	2 × 2 MIMO	4 × 4 MIMO
Peak data rate Mbps	100	172.8	326.4
Uplink peak data rate (SISO)			
Modulation	QPSK	16 QAM	64 QAM
Peak data rate Mbps	50	57.6	86.4

Εικόνα 3.10: Θεωρητικοί ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων στα δίκτυα LTE

**Κινητικότητα:** Το LTE έχει βελτιστοποιηθεί ώστε να υποστηρίζει ένα μέγιστο ρυθμό δεδομένων για την ταχύτητα των πεζών με μια ταχύτητα των 0-15 km/h. Βέβαια το LTE θα εξακολουθήσει να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητα της κινητής συσκευής στα 15-350 km/h, ακόμα και στα 350-500 km/h (όταν ο κινητός σταθμός θα βρίσκεται μέσα σε ένα τρένο υψηλής ταχύτητας).

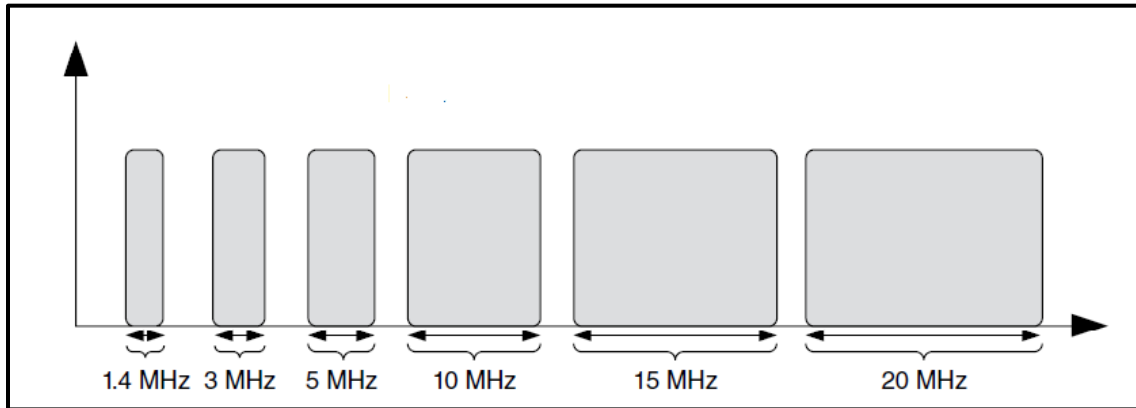
**Καθυστερήσεις:** Για την αποτελεσματική χρήση των πόρων και την καλή ποιότητα των υπηρεσιών είναι πολύ σημαντικό να υφίστανται χαμηλές καθυστερήσεις κατά την μεταφορά των δεδομένων, μικρότερες των 5 ms.

**Συνύπαρξη με παλαιότερες γενιές δικτύων:** Οι χρήστες θα μπορούν να πραγματοποιούν μια τηλεφωνική συνομιλία ή σύνδεση δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE και θα μπορούν να συνεχίσουν τη σύνδεσή τους χωρίς πρόβλημα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο GSM ή UMTS.

**Μέγεθος κυψέλης:** Η ακτίνα κάλυψης της κυψέλης μπορεί να είναι μέχρι και 100 km. Τυπικά όμως θα είναι μέχρι και 30 km.

**Φασματική απόδοση:** Η φασματική χρησιμοποίηση του LTE στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) είναι τρεις με τέσσερις φορές πιο αποτελεσματική σε σχέση με το UMTS/HSPA, ενώ η φασματική χρησιμοποίηση του LTE στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink) είναι δυο με τρεις φορές πιο αποτελεσματική σε σχέση με το UMTS/HSPA.

**Φασματική εύρος:** Υπάρχει μια βελτιωμένη φασματική ευελιξία με την προτυποποίηση καναλιών στα 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz. Το εύρος ζώνης στα 1.4 MHz και 3 MHz υφίσταται μόνο με FDD (εικόνα 3.11)



**Εικόνα 3.11:** Φασματικό εύρος στα δίκτυα LTE. Τα LTE RF κανάλια μπορούν να αναπτυχθούν σε διάφορα φασματικά εύρη έτσι ώστε ο πάροχος να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει και να τα βάλει στο υπάρχον διαθέσιμο φάσμα.

### 3.3.3 Αρχιτεκτονική ασύρματων κυβελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Ένας από τους βασικούς οδηγούς (drivers) πίσω από την αρχιτεκτονική δομή του LTE ήταν η συνολική απλούστευση του των δομών που το απαρτίζουν. Αυτό μείωσε τον αριθμό των στοιχείων δικτύου του, (network elements), του δικτύου ασύρματης πρόσβασης (radio access network) αλλά και του δικτύου κορμού (core network). Το δίκτυο LTE είναι βασισμένο εξ ολοκλήρου στη μεταγωγή πακέτων. Σχεδιάστηκε έτσι ώστε να παρέχει κινητές υπηρεσίες με υψηλές προδιαγραφές ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) και ελάχιστη καθυστέρηση (latency) ώστε να μπορεί να παρέχει και αμφίδρομες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (π.χ. Voice over LTE, VoLTE) μέσω μεταγωγής πακέτων.

Καθώς το LTE έχει έναν μειωμένο αριθμό στοιχείων δικτύου, αυτό συμβάλλει και στην συνολική μείωση της επένδυσης στο δίκτυο, κρατώντας μικρό το κόστος για τους πάροχους. Προφανώς θα πρέπει να διατηρηθεί η διαλειτουργικότητα και η συμβατότητα με τα υπάρχοντα δίκτυα 2G, 3G, H+. Η δομή του LTE δικτύου είναι απλή και περιλαμβάνει τρεις βασικές δομικές μονάδες:

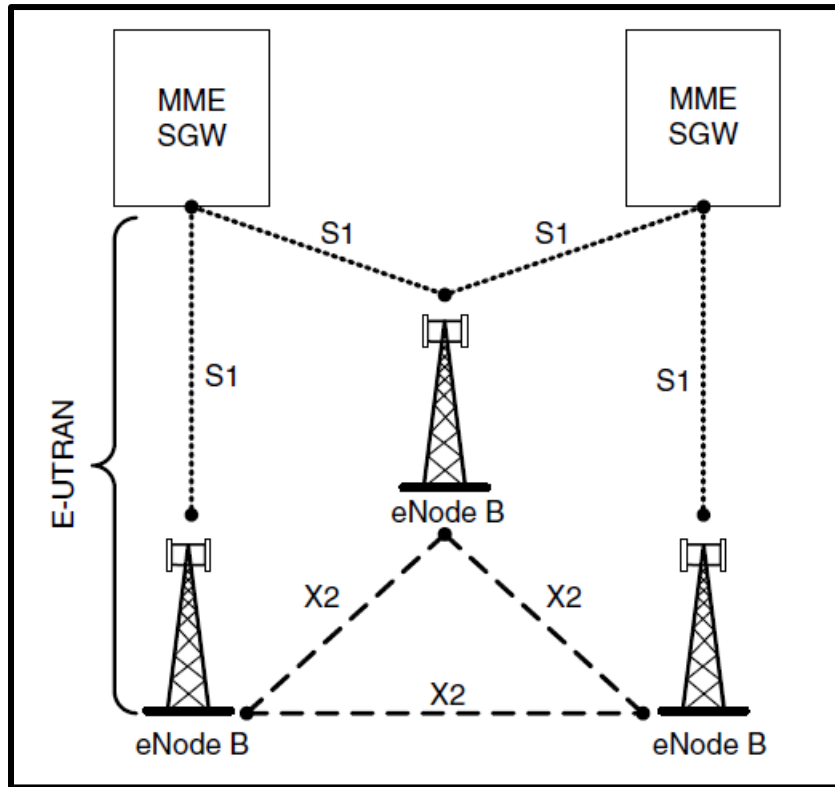
- **Εξοπλισμός χρήστη (User Equipment, UE)**
- **Δίκτυο ραδιοπρόσβασης (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN)**
- **Δίκτυο κορμού (Evolved Core Network)**

#### 3.3.3.1 Δίκτυο ραδιοπρόσβασης (E-UTRAN)

Το δίκτυο ραδιοπρόσβασης του LTE απαρτίζεται από ένα δικτυακό στοιχείο (network element), τον σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης στο LTE ονομάζεται Evolved Node-B ή αλλιώς eNode-B. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, ο eNode-B είναι πιο προηγμένος από τον Node-B του δικτύου τρίτης γενιάς.

Ο κάθε κινητός σταθμός LTE κάθε χρονική στιγμή ανήκει σε μια κυψέλη του δικτύου και επικοινωνεί με έναν eNode-B. Ο κάθε eNode-B επικοινωνεί με όλους τους κινητούς σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι

σε αυτόν και μεταφέρει δεδομένα από και προς αυτούς. Επιπλέον ελέγχει βασικές λειτουργίες τους όπως εντολές για handovers. Έκτος από τους κινητούς σταθμούς, ο eNode-B συνδέεται με το δίκτυο κορμού μέσω της διεπαφής S1 (εικόνα 3.12) αλλά και με γειτονικούς eNode-B μέσω της διεπαφής X2, η οποία μεταφέρει κυρίως μνήματα σηματοδότησης αλλά προωθεί και πακέτα δεδομένων σε περίπτωση μεταπομπής.

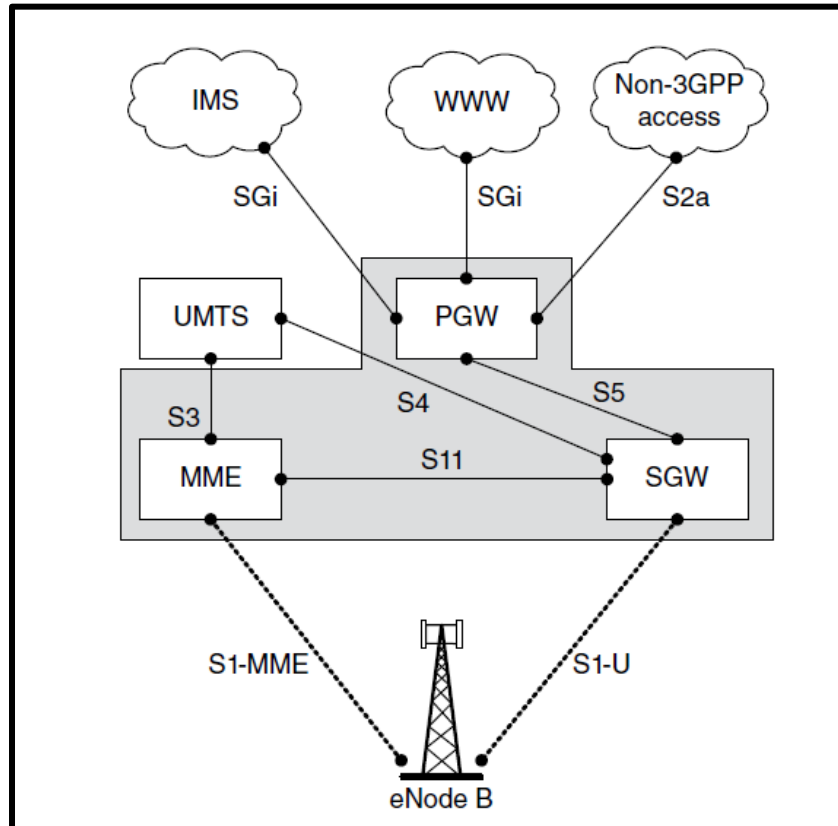


**Εικόνα 3.12:** Απλοποιημένο διάγραμμα που αναπαριστά το δίκτυο E-UTRAN. Συγκεκριμένα τις λογικές συνδέσεις (logical links) και όχι τις φυσικές συνδέσεις (physical links)

### 3.3.3.2 Δίκτυο κορμού (EPC)

Το δίκτυο κορμού έχει δύο βασικές λειτουργίες. Διαχειρίζεται τα πακέτα δεδομένων υψηλής ταχύτητας αλλά και την κινητικότητα μέσα στο δίκτυο. Αυτές οι λειτουργίες ελέγχονται και χειρίζονται από την κεντρική πύλη εξυπηρέτησης (SGW, Serving Gateway) και την μονάδα διαχείρισης κινητικότητας (MME, Mobility Management Entity). Τέλος υπάρχει και η κεντρική πύλη του δικτύου πακέτων δεδομένων (PGW, PDN Gateway) που διασφαλίζει την συνδεσιμότητα του κινητού σταθμού UE με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων.

Αυτή η αρχιτεκτονική έχει βελτιστοποιηθεί για να χειρίζεται τον γρήγορο έλεγχο του δικτύου αλλά και της ανταλλαγής των πακέτων για μεγιστοποίηση της απόδοσης και διατήρησης χαμηλής καθυστέρησης (low latency) στο δίκτυο (εικόνα 3.13).



**Εικόνα 3.13:** Απλοποιημένο διάγραμμα που αναπαριστά το δίκτυο κορμού του LTE

Ας δούμε πιο συγκεκριμένα την κάθε λειτουργία του κάθε μέρους του δικτύου του EPC. Συγκεκριμένα:

**Κεντρική πύλη του δικτύου πακέτων δεδομένων (PDN Gateway, P-GW):** Επικοινωνεί με τα υπόλοιπα PDNs, όπως π.χ. το internet, μέσω του SGi interface. Η πύλη P-GW διασφαλίζει τη συνδεσιμότητα του UE με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων, λειτουργώντας ως πύλη εισόδου και εξόδου του δικτύου για όλη την τηλεπικοινωνιακή κίνηση προς και από το UE κι εκχωρώντας διευθύνσεις IP στα τερματικά. Ένα τερματικό μπορεί να διατηρεί ταυτόχρονα συνδέσεις με περισσότερα του ενός P-GW για πρόσβαση σε αντίστοιχα δίκτυα PDN. Η πύλη P-GW επιπλέον επιβάλλει την εκάστοτε εφαρμοζόμενη πολιτική για κάθε χρήστη, φιλτράρει τα πακέτα δεδομένων που διακινούνται προς και από αυτόν, υποστηρίζει τις διαδικασίες χρεώσεων, νόμιμης υποκλοπής και απόρριψης πακέτων. Τέλος, μια σημαντική λειτουργία του P-GW είναι ότι ενεργεί σαν άγκυρα (anchor) για την κινητικότητα μεταξύ δικτύων 3GPP και non-3GPP (π.χ. WiMAX).

**Κεντρική πύλη εξυπηρέτησης (Serving Gateway, S-GW):** Ενεργεί σαν δρομολογητής, προωθώντας πακέτα δεδομένων του χρήστη από το σταθμό βάσης προς την αντίστοιχη κεντρική πύλη του αντίστοιχου PDN (P-GW), ενώ παράλληλα έχει το ρόλο της άγκυρας κινητικότητας (mobility anchor) για το επίπεδο χρήστη κατά τη μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών σταθμών eNode-B ή μεταξύ δικτύου LTE και άλλων δικτύων. Η διεπαφή μεταξύ των S-GW και P-GW καλείται S5 ή S8, ανάλογα με το αν οι δυο τερματικοί κινητοί σταθμοί ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικό δίκτυο. Για τερματικά που βρίσκονται σε άεργη

κατάσταση, η πύλη S-GW αποτελεί το τερματικό άκρο της διαδρομής δεδομένων στην κάτω ζεύξη και ενεργοποιεί την τηλεειδοποίηση (paging) όταν δέχεται δεδομένα (στην κάτω ζεύξη) που προορίζονται για ένα άεργο τερματικό. Ακόμα, διαχειρίζεται και αποθηκεύει πλαίσια εξοπλισμού χρήστη, όπως π.χ. παράμετροι υπηρεσίας κομιστή IP (IP bearer service) και εσωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης του δικτύου.

**Μονάδα διαχείρισης κινητικότητας (Mobility Management Entity, MME):** Ελέγχει τις λειτουργίες υψηλού επιπέδου (high level) του κινητού σταθμού, όπως η σηματοδότηση και η επικοινωνία με το HSS. Η μονάδα MME είναι ο κύριος κόμβος ελέγχου του δικτύου πρόσβασης του LTE. Είναι υπεύθυνη για την ιχνηλάτηση (tracking) τερματικών που βρίσκονται σε άεργη κατάσταση, αλλά και για τις υπηρεσίες τηλεειδοποίησης και επανεκπομπής. Τέλος η MME είναι υπεύθυνη για την κινητικότητα μεταξύ των LTE και δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς, ενώ υποστηρίζει και διαδικασίες σηματοδότησης για την περίπτωση καταγραφής της συνομιλίας.

### 3.3.4 Διεπαφές ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Παρακάτω δίνονται οι διεπαφές των δικτύων LTE, όπως αποτυπώνονται και στην εικόνα 3.13.

- **S1-MME:** Η διεπαφή S1 επιπέδου ελέγχου (S1-MME) ορίζεται μεταξύ του eNodeB και της MME. Η στοίβα πρωτοκόλλων για αυτή την περίπτωση είναι χτισμένη με βάση την IP μετάδοση. Είναι το σημείο αναφοράς για το πρωτόκολλο επιπέδου ελέγχου (control plane protocol) μεταξύ E-UTRAN και MME.
- **S1-U:** Είναι το σημείο αναφοράς μεταξύ E-UTRAN και SGW.
- **S11:** Είναι το σημείο αναφοράς μεταξύ MME και SGW.
- **S3:** Είναι το σημείο αναφοράς μεταξύ MME και SGSN.
- **S4:** Παρέχει στο επίπεδο χρήστη (user plane) κινητικότητα και έλεγχο μεταξύ 3GPP δικτύων και SGW.
- **S5:** Παρέχει επικοινωνία στο επίπεδο χρήστη μεταξύ PGW δικτύων και SGW.
- **S2a:** Παρέχει υποστήριξη για επικοινωνία μεταξύ των δικτύων LTE αλλά και αξιόπιστων δικτύων που δεν είναι 3GPP IP δίκτυα, όπως τα δίκτυα WiMAX.
- **SGi:** Αυτή η διεπαφή είναι το σημείο αναφοράς μεταξύ των LTE δικτύων και άλλων ιδιωτικών ή δημοσίων δικτύων δεδομένων.



### 3.3.5 Σηματοδοσία ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Για να είναι ευέλικτο και να επιτρέπει διαφορετικά συστήματα για τη μετάδοση των δεδομένων, οι προδιαγραφές του E-UTRAN εισάγουν διάφορα είδη καναλιών:

- Τα κανάλια μεταφοράς
- Τα λογικά κανάλια

#### 3.3.5.1 Λογικά κανάλια LTE

Τα λογικά κανάλια ανταποκρίνονται στις υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων που παρέχονται από τα πρωτόκολλα ραδιοδιεπαφών, στα ανώτερα στρώματα. Υπάρχουν δύο είδη λογικών καναλιών, τα κανάλια ελέγχου (**control channels**) για τη μεταφορά των πληροφοριών CP και τα κανάλια δοσοληψίας (**traffic channels**) για τη μεταφορά UP πληροφοριών. Κάθε ένα από τα κανάλια των δύο αυτών κατηγοριών αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο τύπο ροής πληροφοριών. Συγκεκριμένα:

- **PCCH (Paging Control Channel):** Ένα downlink κανάλι που μεταφέρει πληροφορίες σελιδοποίησης και ειδοποιήσεις αλλαγής του συστήματος πληροφορίας. Αυτό το κανάλι χρησιμοποιεί την σελιδοποίηση, όταν το δίκτυο δεν γνωρίζει την θέση του UE στο κελί.
- **BCCH (Broadcast Control Channel):** Ένα downlink κανάλι που χρησιμοποιείται για την μετάδοση του συστήματος ελέγχου πληροφορίας.
- **CCCH (Common Control Channel):** Downlink κανάλι που χρησιμοποιείται για την μετάδοση πληροφοριών ελέγχου.
- **DCCH (Dedicated Control Channel):** Ένα αμφίδρομο κανάλι, που μεταδίδει αφιερωμένες πληροφορίες ελέγχου μεταξύ του UE και του δικτύου. Χρησιμοποιείται για UE που έχουν RRC σύνδεση.
- **DTCH (Dedicated Traffic Channel):** Ένα κανάλι, αφιερωμένο σε ένα UE, για την μετάδοση πληροφοριών χρήστη. Το DTCH μπορεί να υπάρξει τόσο στο Uplink όσο και στο Downlink.
- **MCCH (Multicast Control Channel):** Ένα downlink κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση MBMS πληροφοριών ελέγχου από το δίκτυο στο UE, για ένα ή περισσότερα MTCHs.
- **MTCH (Multicast Traffic Channel):** Ένα downlink κανάλι για μετάδοση δεδομένων κίνησης από το δίκτυο στο UE. Αυτό το κανάλι χρησιμοποιείται μόνο από τα UE που λαμβάνουν MBMS.

#### 3.3.5.2 Κανάλια μεταφοράς LTE

Τα κανάλια μεταφοράς περιγράφουν το πώς και με ποια τα χαρακτηριστικά μεταφέρονται τα δεδομένα μέσω των ραδιοδιεπαφών, ενώ χωρίζονται και αυτά σε δύο υποκατηγορίες: στα κανάλια μεταφοράς κατερχόμενης ζεύξης (**downlink transport channels**) και στα κανάλια μεταφοράς ανερχόμενης ζεύξης (**uplink transport channels**).

- **PCH (Paging Channel):** Υποστηρίζει την ασυνεχή ανατροφοδότηση για την ενεργοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας στα UE. Εκπέμπει σε ολόκληρη την περιοχή που καλύπτει το κελί. Αντιστοιχίζεται σε φυσικούς πόρους οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά για κανάλια ελέγχου κυκλοφορίας και άλλα.

- **BCH (Broadcast Channel):** Τυποποιημένη και προκαθορισμένη μορφή μεταφοράς. Μετάδοση σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης του κελιού.
- **MCH (Multicast Channel):** Μετάδοση σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης του κελιού. Υποστηρίζει την MBMS μετάδοση σε πολλαπλά κελιά.
- **DL-SCH (Downlink Shared Channel):** Υποστηρίζει την δυναμική προσαρμογή της σύνδεσης με την μεταβάλλοντας την διαμόρφωση, την κωδικοποίηση και την μετάδοση. Προαιρετικά υποστηρίζει την μετάδοση σε ολόκληρο το κελί.
- **RACH (Random Access Channel):** Μεταφέρει ελάχιστες πληροφορίες. Οι μεταδόσεις στο κανάλι μπορούν να χαθούν λόγω συγκρούσεων (collisions).
- **UL-SCH (Uplink Shared Channel):** Προαιρετική υποστήριξη για την διαμόρφωση της ακτίνας/δέσμης. Υποστηρίζει την δυναμική προσαρμογή της σύνδεσης μεταβάλλοντας την ισχύ της μετάδοσης, την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση.

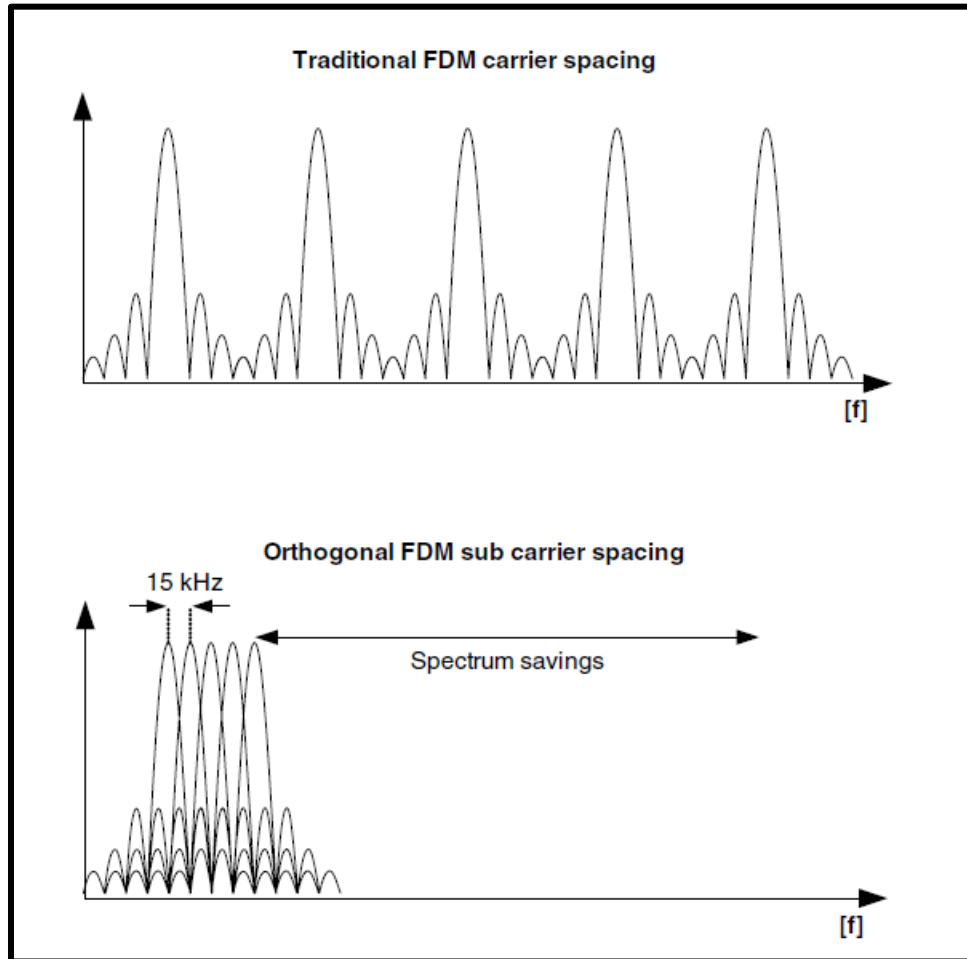
### 3.3.6 Τεχνικές μετάδοσης πληροφορίας ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Για την επίτευξη των απαιτήσεων που αναφέραμε παραπάνω είναι προφανές ότι το LTE βασίζεται σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Αυτή η τεχνική ονομάζεται **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**.

Το LTE χρησιμοποιεί την τεχνική **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)** για την κατερχόμενη ζεύξη η οποία εκτείνεται, από τον σταθμό βάσης μέχρι τον τερματικό σταθμό. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDMA ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών.

Αποτελεί μία ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transformation (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρους ζώνης (bandwidth, BW) επικαλυπτόμενα κανάλια (υπό-φορείς).

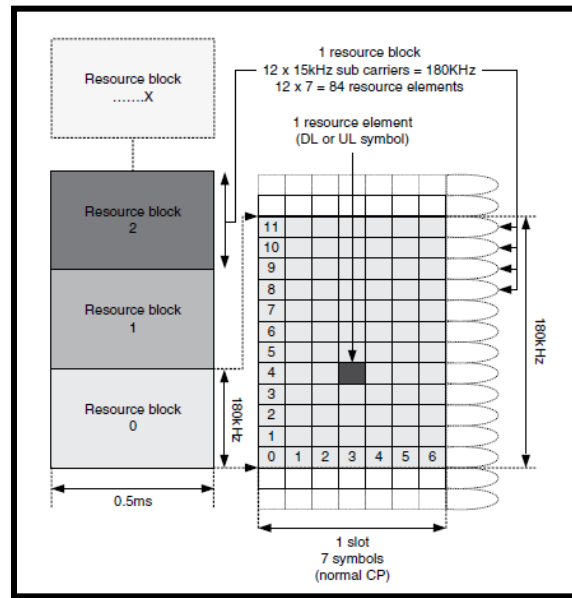
Οι βασικοί φυσικοί πόροι της κατερχόμενης ζεύξης μπορούν να θεωρηθούν ως ένα πλέγμα χρόνου-συχνότητων, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14. Στο πεδίο της συχνότητας, η απόσταση μεταξύ των υπό-φορέων,  $\Delta f$ , είναι 15kHz. Επιπλέον, ο χρόνος διάρκειας ενός OFDMA συμβόλου είναι  $1/\Delta f$  + κυκλικό πρόθεμα (**cyclic prefix, CP**). Το κυκλικό πρόθεμα χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της ορθογωνιότητας μεταξύ των υπό-φορέων ακόμη και για ένα ράδιο-κανάλι χρονικής διασποράς. Ένα στοιχείο των πόρων φέρει διαμόρφωση QPSK, 16QAM ή 64QAM. Τα σύμβολα OFDMA ομαδοποιούνται σε μπλοκ πόρων (**resource block, RB**). Τα μπλοκ πόρων έχουν συνολικό μέγεθος 180kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5ms στο πεδίο του χρόνου.



**Εικόνα 3.14:** Σύγκριση FDM πολυπλεξίας με OFDM. Όπως μπορούμε να δούμε η τεχνική OFDM είναι πιο αποδοτική όσον αφορά την αξιοποίηση του φάσματος.

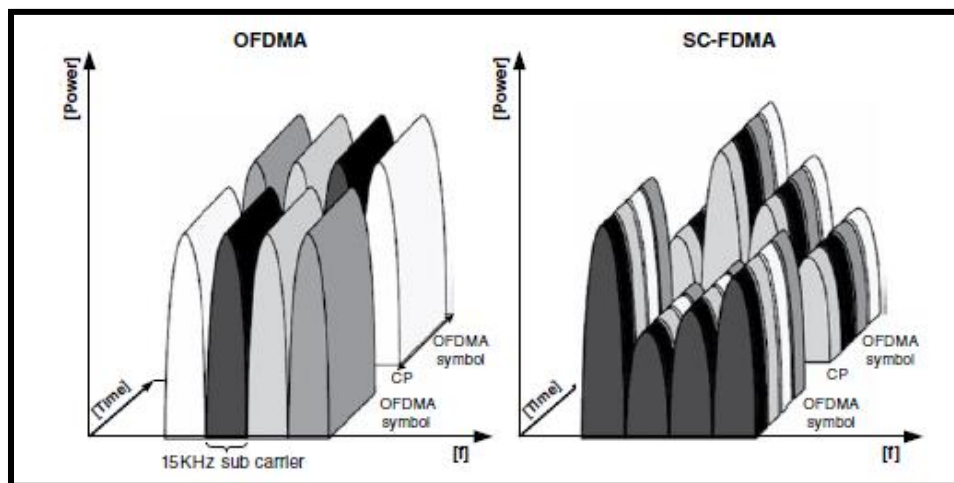
Η μεγαλύτερη μονάδα χρόνου είναι το ραδιοπλαίσιο (radio frame) των 10ms. Αυτό υποδιαιρείται σε 10 υπόπλαϊσια (subframes) με διάρκεια 1ms και κάθε υπόπλαϊσιο διαιρείται σε 2 υποδοχές (slots) των 0.5ms η κάθε μία όπως δείχνει η εικόνα 3.15. Κάθε υποδοχή περιέχει 7 **σύμβολα OFDM** στην περίπτωση κανονικού κυκλικού προθέματος ή 6 σύμβολα OFDM στην περίπτωση εκτεταμένου κυκλικού προθέματος.

Στο πεδίο συχνότητας, κάθε φυσικό μπλοκ πόρων (physical resource block, PRB) είναι μια ενότητα 12 υπό-φορέων που διαρκεί όσο μια υποδοχή (0.5ms). Ένα στοιχείο πόρου (resource element, RE) είναι η μικρότερη μονάδα πόρου η οποία αποτελείται από ένα υπόφορα (subcarrier) για διάρκεια ίση με αυτήν ενός συμβόλου OFDMA. Γι' αυτό ένα μπλοκ πόρων αποτελείται από 84 στοιχεία πόρου στην περίπτωση κανονικού κυκλικού προθέματος και από 72 στην περίπτωση εκτεταμένου κυκλικού προθέματος.



**Εικόνα 3.15:** Απεικόνιση συμβόλου (slot) LTE, στοιχείο πόρου (resource block) και δομή του μπλοκ πόρου (resource block structure)

Στην ανερχόμενη ζεύξη, το LTE χρησιμοποιεί μία προκωδικοποιημένη έκδοση της OFDMA που ονομάζεται **SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)**. Για να αντισταθμίσει ένα μειονέκτημα της κανονικής OFDM, η οποία έχει πολύ υψηλό Peak to Average Power Ratio (PAPR). Το υψηλό PAPR απαιτεί δαπανηρούς και αναποτελεσματικούς ενισχυτές ισχύος με υψηλές απαιτήσεις γραμμικότητας, που αυξάνουν το κόστος του τερματικού σταθμού και εξαντλούν την μπαταρία γρηγορότερα. Η SC-FDMA λύνει αυτό το πρόβλημα συνενώνοντας τα μπλοκ πόρων με τέτοιο τρόπο που μειώνεται η ανάγκη για γραμμικότητα, και έτσι και η κατανάλωση ενέργειας στον ενισχυτή. Το χαμηλό PAPR βελτιώνει επίσης την κάλυψη και την απόδοση στην άκρη του κελιού.

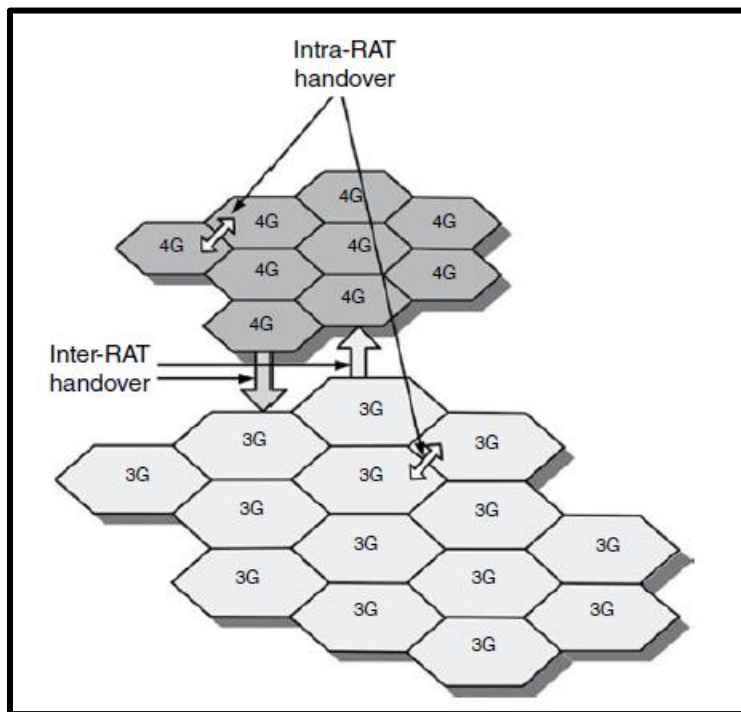


**Εικόνα 3.16:** Απεικόνιση OFDMA και SC-FDMA

### 3.3.7 Μεταπομπή (Handover) ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Τα δίκτυα LTE χρησιμοποιούν hard μεταπομπές (hard handover) και στην ανερχόμενη (uplink) αλλά και στην κατερχόμενη (downlink) ζεύξη. Η αξιολόγηση για το handover βασίζεται πάνω σε μετρήσεις των σημάτων αναφοράς, όπως η ισχύς του σήματος (RSRP, Reference Signal Received Power) αλλά και η ποιότητα του σήματος (RSRQ, Reference Signal Received Quality) της κυψέλης. Το δίκτυο κορμού (core network) επιβλέπει όλες τις μεταπομπές. Συγκεκριμένα οι μεταπομπές στο LTE αξιολογούνται και ελέγχονται από το e-NodeB αλλά και το MME. Η αξιολόγηση για την μεταπομπή βασίζεται στις μετρήσεις του κινητού σταθμού, από όπου και ανακοινώνεται. Η μεταπομπή στο LTE έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μην υπάρχει απώλεια δεδομένων (packet loss). Τέλος το LTE μπορεί και υποστηρίζει αναφορές μετρήσεων από και προς παλαιότερων κυψελωτών δικτύων όπως το 2G και το 3G.

Για την υποστήριξη των ετερογενών δικτύων (heterogenous networks), το LTE πρέπει να υποστηρίζει και μεταπομπές με τα δίκτυα 2G και 3G, δηλαδή με διαφορετικά δίκτυα ραδιοπρόσβασης (RAT, Radio Access Technologies). Στην εικόνα 3.17 μπορούμε να δούμε τις βασικές αρχές των inter-RAT αλλά και intra-RAT μεταπομπών. Οι inter-RAT μεταπομπές γίνονται μεταξύ διαφορετικών δικτύων ραδιοπρόσβασης (4G -> 3G). Οι intra-RAT μεταπομπές γίνονται μεταξύ ιδίων δικτύων ραδιοπρόσβασης (4G -> 4G).



**Εικόνα 3.17:** Απεικόνιση intra-RAT και inter-RAT διαπομπών στο LTE.

### 3.3.8 Σχεδιαστικά επίπεδα ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Στο 2G δίκτυο σχεδιάσαμε το RX-Level, ενώ στο 3G σχεδιάσαμε το κανάλι CPICH. Στο LTE, το RSRP είναι η αναφορά και σαν σχεδιαστικό στόχο θα πρέπει οι σχεδιαστές να έχουν επίπεδα από -95dBm με -85dBm σε περιοχές ή κτήρια με απλές απαιτήσεις. Σε χώρους όμως με πιο μεγάλες απαιτήσεις ή VIP τοποθεσίες, τότε τα επίπεδα του RSRP θα πρέπει να είναι -75dBm με -70dBm. Τέλος θα πρέπει να δώσουμε πολύ μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να αποφύγουμε τον κορεσμό (saturation) στους 4G δέκτες. Επομένως προτείνεται το RSRP **να μην ξεπερνάει τα -25dBm**.

Όπως συμβαίνει σε κάθε άλλο δίκτυο ραδιοπρόσβασης, έτσι και στο LTE θα πρέπει να διατηρήσουμε τα εκπεμπόμενα σήματα “καθαρά”, με καλή απομόνωση από τις άλλες κυψέλες με την ίδια συχνότητα. Στα LTE δίκτυα κάνουμε επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας του ενός. Όλες οι κυψέλες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα σε όλο το δίκτυο. Για τα επαρκώς απομονωμένα εσωτερικά δίκτυα εσωτερικής κάλυψης, συνιστάται να είναι 10 με 15db πιο κυρίαρχα από τις άλλες κυψέλες τις περιοχής.

Το σήμα **RSRP** χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε την ισχύ της RF στάθμης της κυψέλης για την διαχείριση της κινητικότητας. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το link budget, θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την ισχύ των RBs (resource blocks). Η εκπεμπόμενη ισχύς των RBs συσχετίζεται με τον εύρος ζώνης του LTE καναλιού, δηλαδή των αριθμό των υποφερουσών (number of subcarriers).

Για παράδειγμα ας υπολογίσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ για κάθε subcarrier σε ένα κανάλι των 15MHz, με ισχύ στον εκπομπό στα 43dBm. Στην εικόνα 3.18 μπορούμε να δούμε πως ένα κανάλι των 15MHz έχει 75 RBs. Επίσης γνωρίζουμε πως κάθε RB έχει 12 subcarriers. Επομένως θα έχουμε συνολικά:

$$75 \times 12 = 900 \text{ sub-carriers}$$

4G channel bandwidth (MHz)	No. of resource blocks	No. of sub-carriers	Total power / RS power (dB)
1.4	6	72	18.6
3	15	180	22.6
5	25	300	24.8
10	50	600	27.8
15	75	900	29.5
20	100	1200	30.8

**Εικόνα 3.18:** Απεικόνιση RF εύρους ζώνης, resource block συναρτήσεως της ισχύος.

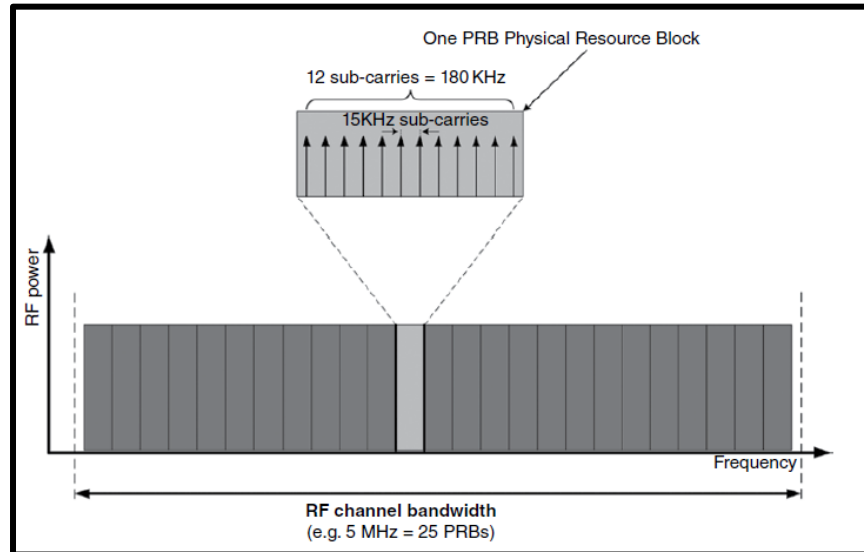
Ακόμα κάθε subcarrier θα έχει ισχύ ίση με:  $1/900$  της συνολικής ισχύος. Επομένως τώρα είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την ισχύ για κάθε subcarrier, συναρτήσεως της συνολικής ισχύος:

$$\text{Power drop per sub-carrier of 900 sub-carriers} = 10 \times \log(900) = 29.5 \text{ dB}$$

$$\text{TxPWR RSRP} = \text{total power} - (\text{power drop per sub-carrier})$$

$$\text{TxPWR RSRP} = 43 \text{ dBm} - 29.5 \text{ dBm}$$

$$\text{TxPWR RSRP} = 13.5 \text{ dBm}$$



**Εικόνα 3.19:** Απεικόνιση των resource blocks σε LTE κανάλι με εύρος ζώνης 5MHz.

Το σήμα RSSI είναι η συνολική σύνθετη ισχύς που λαμβάνεται από ένα radio κανάλι. Είναι μια ακατέργαστη (raw) RF μέτρηση. Στην περίπτωση του LTE, το RSSI είναι το άθροισμα της ισχύος όλων των υποφέροντων (subcarriers). Συνεπώς το RSSI εξαρτάται από το εύρος ζώνης του πομπού. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης, τόσο περισσότερα subcarriers μπορούν να μεταδοθούν.

Κατά τον σχεδιασμό του LTE λαμβάνουμε σαν αναφορά το RSRP. Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε την αναμενόμενη RSSI τιμή του καναλιού αν γνωρίζουμε την RSRP. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο όταν μετράται η ισχύς σήματος και τα επίπεδα ισχύος στα συστήματα LTE, ακόμα και αν δεν διαθέτουμε τον εξοπλισμό που μπορεί να αποκωδικοποιήσει και να μετρήσει απευθείας το RSRP.

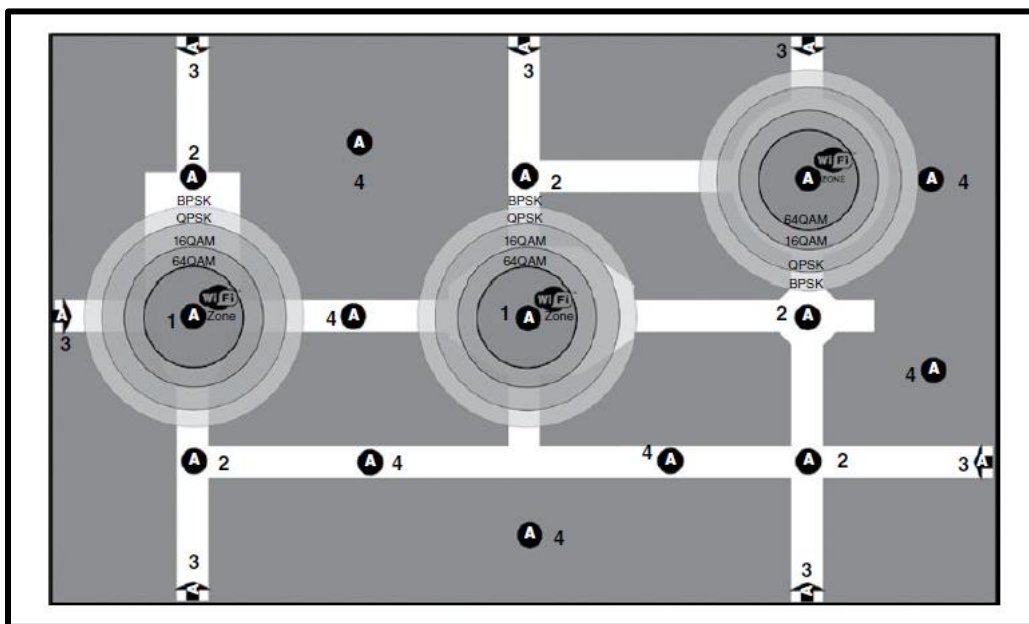
Για παράδειγμα ας υπολογίσουμε το RSSI για ένα κανάλι των 5MHz της εικόνας 3.19 με RSRP 24,77dB. Ακόμα ας υποθέσουμε ότι σχεδιάζουμε ένα σύστημα με απλές και μικρές απαιτήσεις. Επομένως ο στόχος μας είναι τα -85dBm. Άρα:

$$\text{RSSI} = \text{RSRP} + \text{offset}$$

$$\text{RSSI} = -85 \text{ dBm} + 24.77 \text{ dB} = -60.23 \text{ dBm}$$

### 3.3.9 Σημεία υψηλού ενδιαφέροντος 4G (4G Hotspots)

Όπως και για κάθε DAS, ο σχεδιασμός των κεραιών κοντά στα hotspots κάθε χώρου εξασφαλίζει την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του δικτύου, αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα της κυψέλης. Εξασφαλίζει επίσης ότι τα περισσότερα κινητά τηλέφωνα θα εκπέμπουν λιγότερη ενέργεια για να “φθάσουν” το DAS. Αυτό βοηθάει στην εξάλειψη των παρεμβολών των γειτονικών κυψελών, τόσο εντός των εσωτερικών χώρων που σχεδιάζουμε αλλά και τους εξωτερικούς macro σταθμούς της περιοχής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα αλλά και απόδοση του δικτύου. Επομένως συνίσταται στους σχεδιαστές των πάροχων να εφαρμόζουν τεχνικές MIMO, τουλάχιστον στις θέσεις που βρίσκονται τα hotspots, αν όχι σε ολόκληρο το DAS. Λιγότερη ισχύς εκπομπής από τα κινητά σημαίνει και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, άρα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.



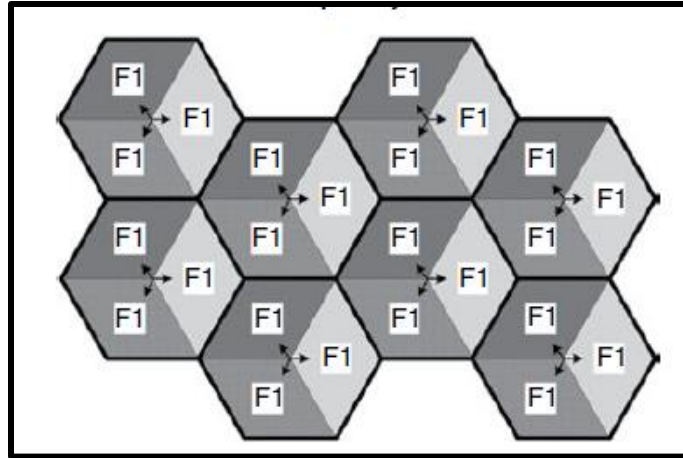
Εικόνα 3.20: Απεικόνιση των 4G hotspots αλλά και των MIMO διαμορφώσεων

Σε πολλές εφαρμογές, το 4G υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, ενώ η φωνή αλλά και οι αργές υπηρεσίες μπορούν και υποστηρίζονται από το 3G και όχι από το 4G. Συχνά ο πάροχος θα ανταγωνιστεί τις υπηρεσίες Wi-Fi του κτηρίου. Επομένως πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ακριβή τοποθεσία όλων των hotspots του κτηρίου. Εκεί θα εντοπιστούν και τα σημεία ασύρματης πρόσβασης (wireless access points) της Wi-Fi υποδομής του κτηρίου (αν βέβαια ο σχεδιαστής Wi-Fi έχει κάνει καλή δουλειά). Στην εικόνα 3.20 μπορούμε να δούμε την αρχή του σχεδιασμού των 4G hotspots. Τοποθετούμε τις 4G DAS κεραιές στα ίδια σημεία με τα σημεία πρόσβασης του Wi-Fi. Είναι σκόπιμο να αξιοποιήσουμε στο έπακρο τις θέσεις των 4G hotspots.



### 3.3.10 Επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας των ασύρματων κυψελωτών δικτύων τέταρτης γενιάς

Στην εικόνα 3.21 μπορούμε να δούμε ότι όλες οι κυψέλες σε ένα δίκτυο 4G λειτουργούν με την ίδια συχνότητα. Σε κάθε κυψέλη θα ανατεθεί ένα τμήμα του φάσματος για την συγκεκριμένη χωρητικότητα που απαιτείται για την περιοχή κάλυψης. Η αντιστοίχιση του εύρους ζώνης για κάθε κυψέλη μπορεί να είναι στατιστική, χρησιμοποιώντας κλασματική κατανομή (*fractional allocation*) ή προσαρμόσιμη χρησιμοποιώντας την “μαλακή” επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας (*soft frequency reuse*).



**Εικόνα 3.21:** Επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας των 4G δικτύων. Παράδειγμα με δίκτυο τριών κυψελών σε κάθε σταθμό βάσης.



## 4. Σύστημα Κατανεμημένων Κεραίων (DAS)

### 4.1 Εισαγωγή

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, ένας βασικός στόχος του κάθε σχεδιαστή δικτύων εσωτερικής κάλυψης είναι να σχεδιάσει ένα σύστημα που να διανέμει ομοιόμορφα ένα κυρίαρχο σήμα μέσα στον χώρο, χρησιμοποιώντας εσωτερικές κεραίες με σκοπό την σωστή κάλυψη. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να διαχωρίσουμε (split) το σήμα από τον εσωτερικό σταθμό βάσης σε πολλές κεραίες που θα βρίσκονται διάσπαρτες στον χώρο σχεδιασμού.

Ιδανικά, αυτές οι κεραίες θα πρέπει να λειτουργούν με το ίδιο περίπου επίπεδο ισχύος και να έχουν σχεδόν τις ίδιες απώλειες και θόρυβο. Όλες αυτές οι κεραίες θα ελέγχονται και θα λειτουργούν στην ίδια κυψέλη με ίδιες παραμέτρους. Πρακτικά, τα παθητικά DAS (θα αναφερθούμε αργότερα σε αυτά) δεν παρέχουν ομοιόμορφο σχεδιασμό σε όλες τις κεραίες του συστήματος. Μπορεί να έχουμε κεραίες με απώλειες 10dB και κεραίες με απώλειες 45dB στην ίδια κυψέλη. Συνεπώς η ομοιόμορφη απόδοση σε όλο το σύστημα είναι μια βασική παράμετρος για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος εσωτερικής κάλυψης.

Μια ακόμα πρόκληση με την οποία θα βρεθεί αντιμέτωπος ο κάθε σχεδιαστής είναι η επιλογή του είδους DAS που θα υλοποιήσει στο σύστημα του. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις για το πως να σχεδιαστεί ένα σύστημα εσωτερικής κάλυψης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λύση των παθητικών DAS (passive DAS), η λύση των ενεργών DAS (active DAS), αλλά και η λύση των υβριδικών DAS (hybrid DAS). Κάθε μια από αυτές τις προσεγγίσεις έχει τα μειονεκτήματα αλλά και τα πλεονεκτήματά της, ανάλογα βέβαια με το κάθε έργο. Ένας σχεδιασμός π.χ με passive DAS μπορεί να είναι τέλει για

ένα έργο αλλά πολύ κακή επιλογή για άλλο έργο. Όλα εξαρτώνται από το κτήριο αλλά και τις σχεδιαστικές απαιτήσεις για το τρέχον έργο αλλά και για τις μελλοντικές ανάγκες του κτηρίου.

Παραδοσιακά τα παθητικά DAS έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στα συστήματα 2G τα τελευταία χρόνια. Επομένως πολλοί σχεδιαστές θα χρησιμοποιήσουν αυτό σαν πρώτη επιλογή κατά τον σχεδιασμό κάλυψης συστημάτων 3G και 4G. Ωστόσο είναι γεγονός πως για τα 3G και ειδικά για τα 4G ενεργά DAS θα αποδίδουν πολύ καλύτερα με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Ένα βασικό μειονέκτημα που έχουν τα παθητικά DAS είναι οι υψηλές απώλειες, υποβαθμίζοντας την ποιότητα και αυξάνοντας τον θόρυβο από τον σταθμό βάσης στις τεχνολογίες του 3G και 4G. Ακόμα μια μεγάλη ανησυχία για τα παθητικά DAS είναι η έλλειψη της επίβλεψης. Αν κοπεί ή αποσυνδεθεί ένα καλώδιο στο σύστημα τότε ο σταθμός βάσης δεν θα μπορεί να δώσει κάποιο συναγερμό (alarm) για στάσιμα (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR). Σίγουρα ο πάροχος θα προτιμούσε να ελέγχει και να επιβλέπει το δίκτυό του. Από την άλλη πλευρά τα passive DAS μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν με κόστος πολύ μικρότερο από αυτό των ενεργών DAS. Μάλιστα αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να αποδίδουν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, ακόμα και για 3G/4G λύσεις, αλλά μόνο για μικρά κτήρια, δηλαδή έργα με μικρές αποστάσεις ομοαξονικών καλωδίων.

## 4.2 Παθητικά εξαρτήματα DAS

Μέσα στο κτήριο θα πρέπει να πληρούνται οι εσωτερικές οδηγίες και κώδικες που ισχύουν για το συγκεκριμένο κτήριο. Γενικά θα πρέπει να χρησιμοποιούμε πυράντοχα καλώδια και εξαρτήματα. Πριν όμως ξεκινήσουμε την εκτενέστατη μελέτη των DAS συστημάτων, θα πρέπει να δούμε τους πιο συχνοί τύπους παθητικών εξαρτημάτων.

### 4.2.1 Ομοαξονικό καλώδιο (Coax cable)

Είναι προφανές πως το ομοαξονικό καλώδιο χρησιμοποιείται ευρέως σε όλους τους τύπους των DAS συστημάτων. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζονται οι τυπικές απώλειες συναρτήσει της διατομής του καλωδίου αλλά και της συχνότητας. Βέβαια οι πληροφορίες της εικόνας είναι ενδεικτικές. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να συμβουλευτείται κάθε φορά το φύλλο δεδομένων (data sheet) του κάθε καλωδίου, του κάθε κατασκευαστή και να είναι ενήμερος για την συμπεριφορά του καλωδίου. Συχνά πάνω στο καλώδιο, κάθε ένα μέτρο ο κατασκευαστής γράφει και το μέτρο του καλωδίου, έτσι ώστε ο εγκαταστάτης να γνωρίζει το μήκος του καλωδίου αλλά και τον τύπο.

Βέβαια μπορούμε θεωρητικά να υπολογίσουμε τις απώλειες του καλωδίου. Ας υπολογίσουμε τις απώλειες για 67 μέτρα καλωδίου, με διατομή  $\frac{1}{2}$  της ίντσας στην συχνότητα των 1800 MHz. Σύμφωνα με την εικόνα 4.1 έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{total loss} &= \text{distance (m)} \times \text{attenuation per meter} \\ \text{total loss} &= 67\text{m} \times 0.1\text{dB / m} = 6.7\text{dB} \end{aligned}$$

Cable type	Frequency/typical loss per 100 m (dB)		
	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

**Εικόνα 4.1:** Τυπική εξασθένηση ομοαξονικών καλωδίων

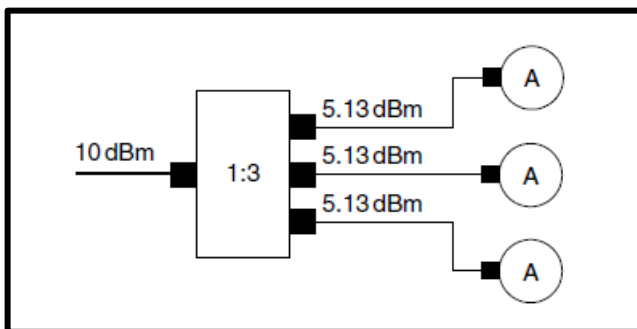


**Εικόνα 4.2:** Ομοαξονικά καλώδια

Η κύρια δαπάνη του κάθε παρόχου για την εγκατάσταση ενός συστήματος εσωτερικής κάλυψης δεν είναι το κόστος των ομοαξονικών καλωδίων αλλά το κόστος για την εγκατάσταση του. Η εγκατάσταση για ένα βαρύ και άκαμπτο καλώδιο (π.χ. 7/8") μπορεί να αποτελέσει μια μείζονα πρόκληση σε ένα κτήριο. Για την εγκατάσταση τέτοιων καλωδίων μπορεί να χρειαστούν κυριολεκτικά ολόκληρες ομάδες εγκαταστατών.

#### 4.2.2 Διαχωριστές (Splitters)

Τα splitters ή διαμοιραστές ισχύος χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στα DAS συστήματα, διαχωρίζοντας το σήμα προς πολλές κατευθύνσεις προς τις κεραίες. Τα splitters, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.3 χρησιμοποιούνται για τον διαμοιρασμό μιας ομοαξονικής γραμμής σε 2 ή περισσότερες γραμμές. Όταν διαχωρίζεις το σήμα τότε η ισχύς του διαμοιράζεται ίσα προς όλες τις πόρτες. Είναι πολύ σημαντικό να τερματιστούν όλες οι πόρτες (ports) του splitter με ομοαξονικό καλώδιο και να μην αφήσουμε καμία στον "αέρα". Αν χρειαστεί να το κάνουμε αυτό το θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα φορτίο (dummy load).



**Εικόνα 4.3:** Διάγραμμα splitter 1:3



**Εικόνα 4.4:** Splitter 1:3

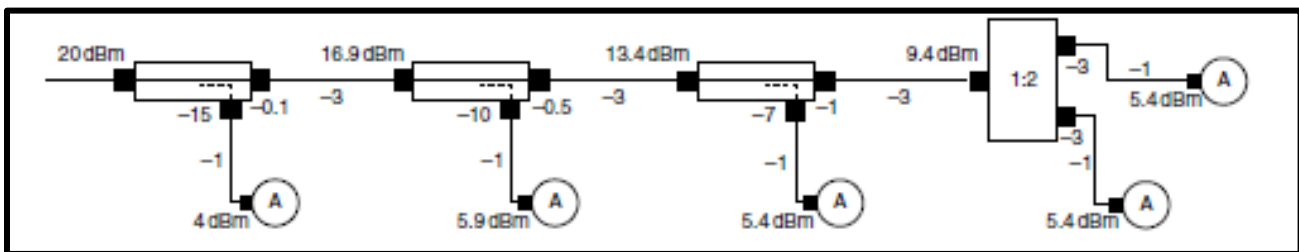
Βέβαια μπορούμε θεωρητικά να υπολογίσουμε τις απώλειες που εισάγονται από τον splitter. Ας υπολογίσουμε τις απώλειες για το splitter της εικόνας 4.3 με τρεις εξόδους. Συγκεκριμένα:

$$\text{splitter loss} = 10 \log(\text{no. of ports}) + \text{insertion loss}$$

$$10 \log(3) + 0.1 \text{ dB} = 4.87 \text{ dB}$$

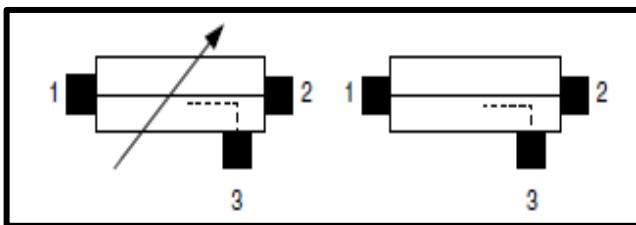
### 4.2.3 Ανόμοιοι διαχωριστές (Tappers)

Τα tappers ή ανόμοιοι διαμοιραστές (όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.6) χρησιμοποιούνται σαν splitter για να διαχωρίσουν το σήμα - ισχύ σε 2 ή περισσότερες κατευθύνσεις. Η διαφορά όμως με τα splitters είναι πως η ισχύς δεν κατανέμεται εξίσου σε κάθε πόρτα. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο κατά τον σχεδιασμό. Κατά μήκος μιας κύριας γραμμής ομοαξονικού καλωδίου, ο σχεδιαστής μπορεί να τοποθετήσει κεραίες και να τροφοδοτηθούν από αυτή την γραμμή (εικόνα 4.5). Θα ήταν μεγάλο σχεδιαστικό λάθος να τοποθετήσουμε splitter και να διαιρείται ίσα η ισχύς.



Εικόνα 4.5: Τυπική διαμόρφωση (configuration) με tappers και κεραίες DAS

Τα tappers συνήθως έχουν εφαρμογή σε πολυώροφα κτήρια, όπου κάθετα (π.χ. σε ένα shaft) εγκαθίστανται βαριά καλώδια (π.χ. 7/8" ή 1 1/4"). Έτσι επιτυγχάνεται η τροφοδοσία σε κάθε όροφο αλλά και σε κάθε κεραία με την επιθυμητή ισχύ. Ρυθμίζοντας τις απώλειες του coupling σε κάθε tapper μπορούμε να εξισορροπήσουμε την απώλεια σε όλους τους ορόφους του κτηρίου, παρέχοντας την απαιτούμενη ομοιόμορφη κάλυψη.



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα 2 way tapper



Εικόνα 4.7: Tapper 2-way

Υπάρχουν διάφοροι τύποι tapper. Υπάρχει μια αρχή πως οι πόρτες 1 και 2 έχουν χαμηλές απώλειες ενώ η πόρτα 3 έχει ακόμα χαμηλότερη απώλεια. Παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές τιμές των απωλειών της κάθε πόρτας στην εικόνα 4.8. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να ενημερώνεται από τα data sheet του κατασκευαστή για τις απώλειες των tapper που χρησιμοποιεί.

Type	Loss port 1-2	Loss port 1-3
1/7 Tap	1 dB	7 dB
0.5/10	0.5 dB	10.5 dB
0.1/15	0.1 dB	15.1 dB
Variable	0.1–1.2 dB	6–15 dB

**Εικόνα 4.8:** Είδη tapper και απώλειες από το coupling

#### 4.2.4 Εξασθενητής (Attenuators)

Οι εξασθενητές, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9, έχουν την ιδιότητα να μπορούν να εξασθενούν το σήμα όταν διέρχεται μέσα από αυτό. Για παράδειγμα ένας εξασθενητής των 10dB θα εξασθενίσει το σήμα κατά 10dB (εξασθένιση από την πόρτα 2 στην πόρτα 1). Οι εξασθενητές χρησιμοποιούνται για να εξασθενίσουν την ισχύ του σήματος σε ένα επιθυμητό όριο. Έτσι εξαλείφουμε διάφορους κινδύνους όπως η υπέρβαση ενός ενισχυτή ή εισαγωγή θορύβου, ακόμα και κορεσμό.



**Εικόνα 4.9:** Διάγραμμα εξασθενητή RF

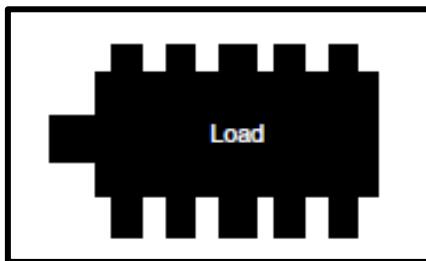


**Εικόνα 4.10:** Εξασθενητής RF

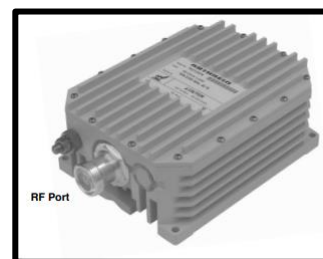
Οι τυπικές τιμές ενός εξασθενητή είναι τα 1, 2, 3, 6, 10, 12, 18, 20, 30 και 40dB. Όταν αυτά συνδυασθούν μεταξύ τους τότε μπορούμε να πάρουμε την επιθυμητή τιμή. Υπάρχουν και τα tappers με μεταβλητή τιμή, αλλά χρησιμοποιούνται για σήματα χαμηλής ισχύος.

#### 4.2.5 Φορτία / Τερματισμοί (Dummy Loads)

Τα φορτία, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.11, χρησιμοποιούνται σε αχρησιμοποίητες πόρτες των παθητικών εξαρτημάτων. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα δεν έχει απώλειες.



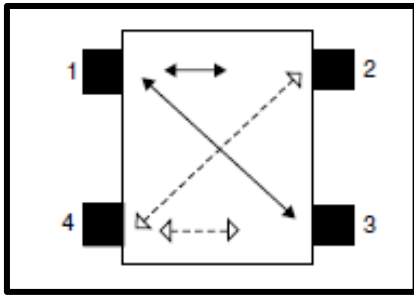
**Εικόνα 4.11:** Διάγραμμα φορτίου 50Ω



**Εικόνα 4.12:** Φορτίο 50Ω

#### 4.2.6 A 3dB Coupler (Hybrid 90°)

Ένα 3dB coupler χρησιμοποιείται για να ενώσει σήματα από δυο διαφορετικές γεννήτριες σημάτων (π.χ. Radio Remote Unit, RRU). Την ίδια χρονική στιγμή ο coupler θα διαχωρίσει τα δυο ενωμένα σήματα και θα τα “στείλει” στις δυο πόρτες εξόδου του. Αυτή η διαδικασία φαίνεται και στην εικόνα 4.13.

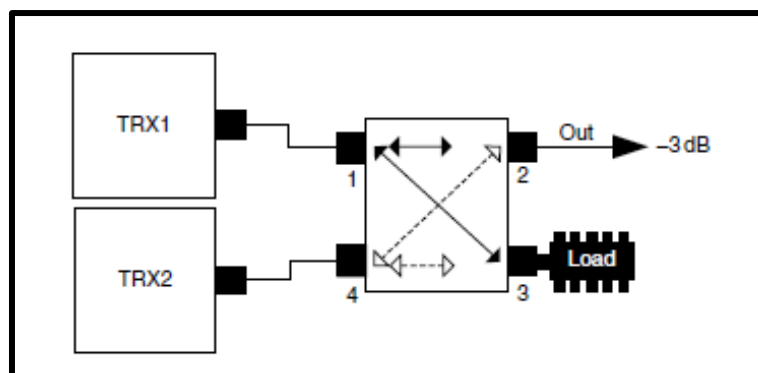


Εικόνα 4.13: Διάγραμμα 3dB coupler



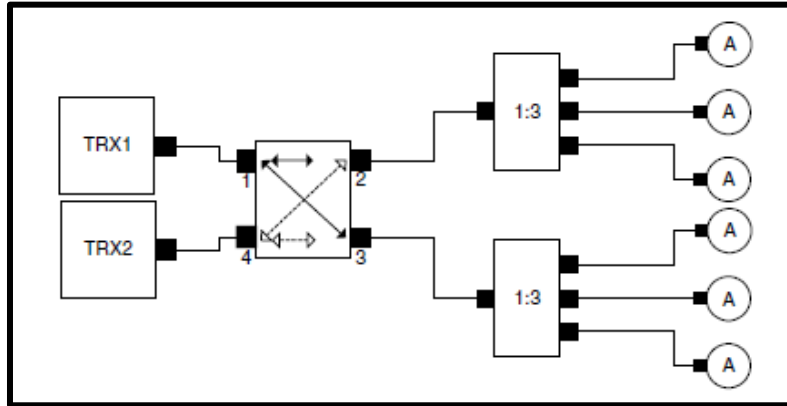
Εικόνα 4.14: A 3dB coupler

Ένα 3dB coupler έχει και τέσσερις πόρτες. Οι δύο πόρτες (2 και 3) είναι απομονωμένες από τις πόρτες (1 και 4). Αν η πόρτα 1 τροφοδοτηθεί με ισχύ τότε αυτή η ισχύς θα κατευθυνθεί στις πόρτες 2 και 3 με μια διαφορά των -3dB η μια από την άλλη. Στην πόρτα 4 θα τοποθετηθεί ένα φορτίο (εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.15: Τυπική συνδεσμολογία ενός 3dB coupler με φορτίο στην πόρτα 3

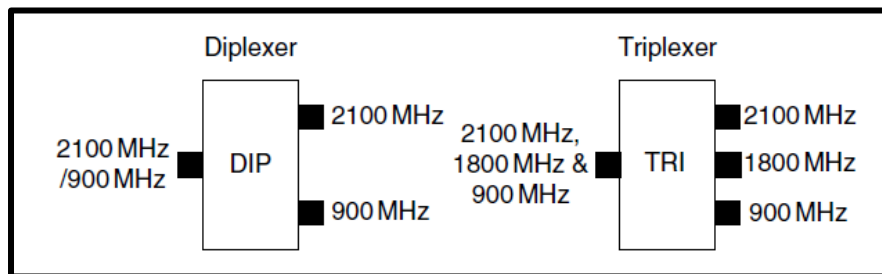
Αν χρειαστεί να ενώσουμε δυο πομποδέκτες (RRU ports, TRXs), τότε μπορούμε πάλι να χρησιμοποιήσουμε έναν 3dB coupler (εικόνα 4.15). Ωστόσο αν χρειαστεί να ενώσουμε δύο TRXs (RRU) και την ίδια χρονική στιγμή να διαμοιράσουμε την ισχύ σε όλες τις κεραίες του DAS, τότε θα ενώσουμε το ένα μέρος του DAS στην πόρτα 2 και το άλλο μέρος τους DAS στην πόρτα 3 (εικόνα 4.16). Επιπροσθέτως αυτή η μέθοδος θα δώσει +3dB στο DAS. Αυτή η μέθοδος συνιστάται και έτσι όλο το κτήριο θα έχει επιπλέον ισχύ, αντί αυτή η ισχύς να καταναλώνεται από ένα φορτίο (εικόνα 4.14, πόρτα 3).



**Εικόνα 4.16:** Τυπική συνδεσμολογία ενός 3dB coupler

#### 4.2.7 Συνδιαστής (Combiners)

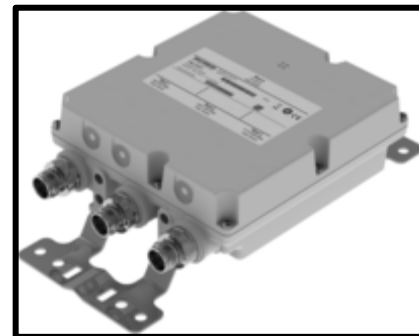
Ένας combiner θα διαχωρίσει και θα ενώσει, και αντίστροφα, ολόκληρες μπάντες συχνοτήτων που του τροφοδοτούνται. Οι combiners που διαχωρίζουν 2 μπάντες στην έξοδο τους ονομάζονται diplexer ή combiner 1:2. Οι combiners που διαχωρίζουν 3 μπάντες στην έξοδο τους ονομάζονται triplexer ή combiner 1:3 και ούτω καθεξής.



**Εικόνα 4.17:** Διαγράμματα combiner 1:2 και 1:3



**Εικόνα 4.18:** Combiner 1:2



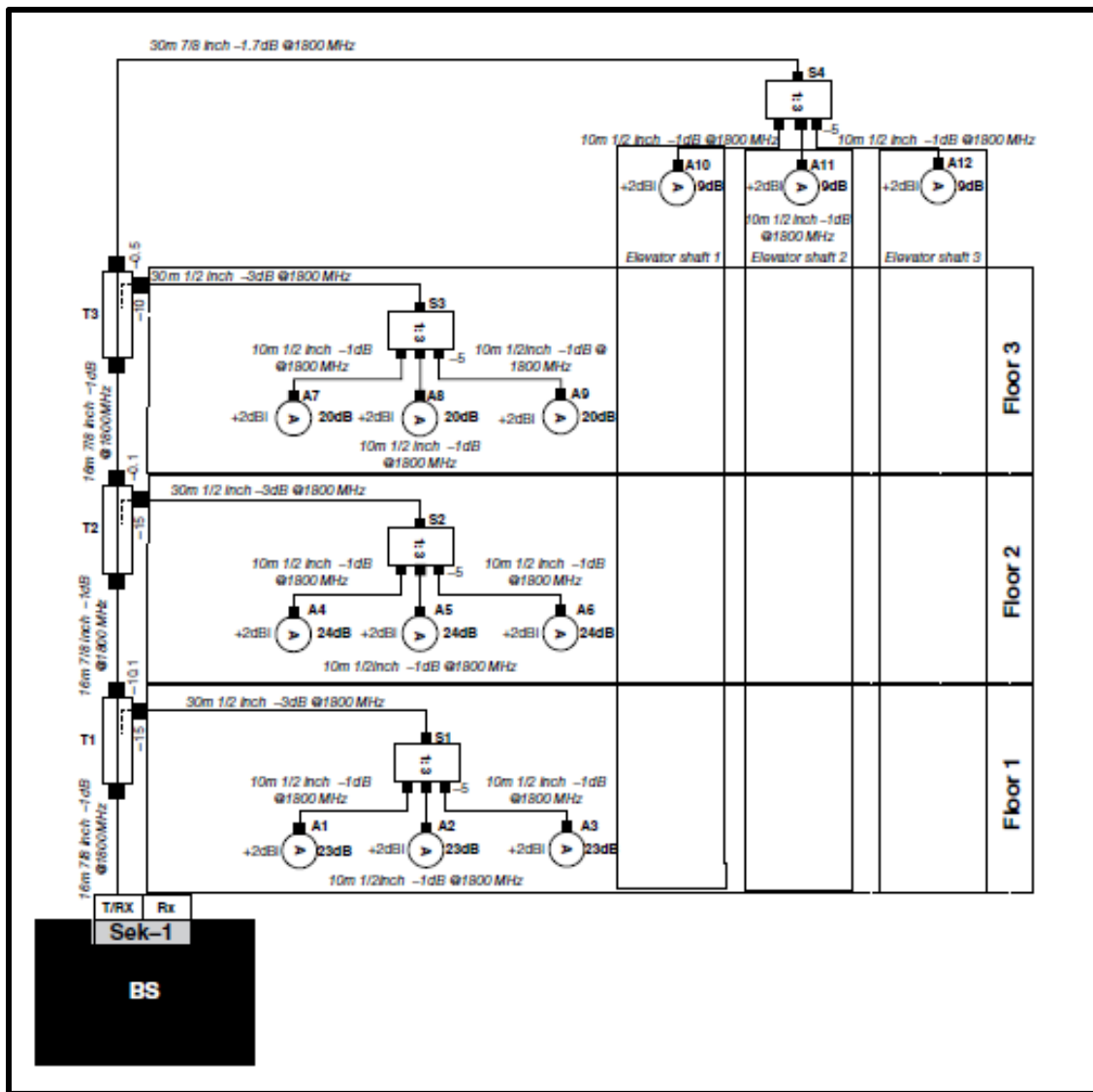
**Εικόνα 4.19:** Combiner 1:3



### 4.3 Παθητικά DAS (Passive DAS)

#### 4.3.1 Σχεδιάζοντας παθητικά DAS

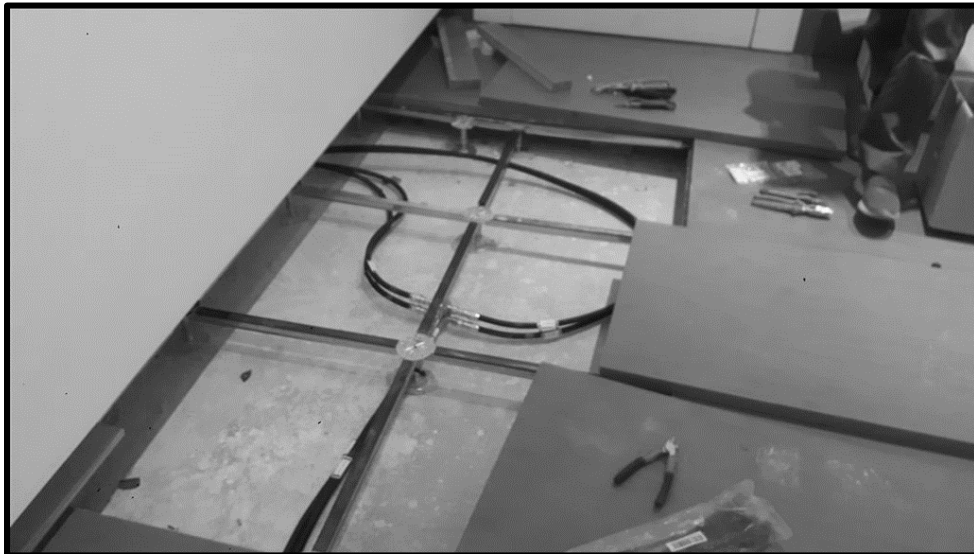
Τα παθητικά DAS είναι η πιο συνήθης προσέγγιση όταν παρέχονται λύσεις εσωτερικής κάλυψης, ειδικά στα μικρά κτήρια. Είναι αρκετά εύκολα στον σχεδιασμό τους. Η κύρια μέριμνα του σχεδιαστή είναι να υπολογίσει την μέγιστη απώλεια ισχύος σε κάθε κεραία και να κάνει τους κατάλληλους υπολογισμούς για το link budget της λύσης. Ακόμα, το σχέδιο, θα χρειαστεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες αλλά και περιορισμούς του κτηρίου για να μπορεί να εγκατασταθεί το βαρύ αλλά και χοντρό ομοαξονικό καλώδιο. Συχνά ο σχεδιαστής δημιουργεί ένα προσωρινό σχέδιο, πριν την αυτοψία, και έπειτα το προσαρμόζει σε αυτή, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του κτηρίου.



Εικόνα 4.20: Τυπικό διάγραμμα παθητικού DAS (σχεδίαση με Microsoft Visio)

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τις αποστάσεις και τους τύπους των καλωδίων στο σύστημα, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε τις απώλειες από τον σταθμό βάσης προς την κάθε κεραία του DAS. Επομένως θα πρέπει να γίνει μια λεπτομερής αυτοψία του κτηρίου ή χώρου, διασφαλίζοντας τις καλώδιοδιαδρομές προς όλες τις κεραιές. Συχνά περιορισμοί του κτηρίου δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση των καλωδίων ή κεραιών στους επιθυμητούς χώρους. Ένα βασικό τυπικό διάγραμμα ενός παθητικού DAS φαίνεται στην εικόνα 4.20. Το συγκεκριμένο σχέδιο βασίζεται κυρίως στο κατακόρυφο ομοαξονικό καλώδιο των 7/8", χρησιμοποιώντας tapper σε κάθε όροφο ή κόμβο. Στην συνέχεια διαμοιράζει σε κάθε όροφο με χρήση ομοαξονικών καλωδίων 1/2" αλλά και splitter 1:3.

Συνηθίζεται η εγκατάσταση των 7/8" ομοαξονικών καλωδίων να γίνεται κάθετα, σε εύκολα προσβάσιμους χώρους όπως π.χ. τα shaft του κτηρίου. Σε τέτοιους χώρους είναι πολύ εύκολη η εγκατάσταση αλλά και η πρόσβαση. Ωστόσο δεν υπάρχει η ευκολία της εγκατάστασης τους στους ορόφους (οριζόντια καλωδίωση) λόγω βάρους αλλά και μη ελαστικότητας. Επομένως χρησιμοποιούμε τον πιο λεπτό καλώδιο 1/2". Το συγκεκριμένο καλώδιο μπορεί να εγκατασταθεί πιο εύκολα στα ψευδοπατώματα αλλά και στις ψευδοροφές του κτηρίου σε πιθανά κανάλια - σχάρες.



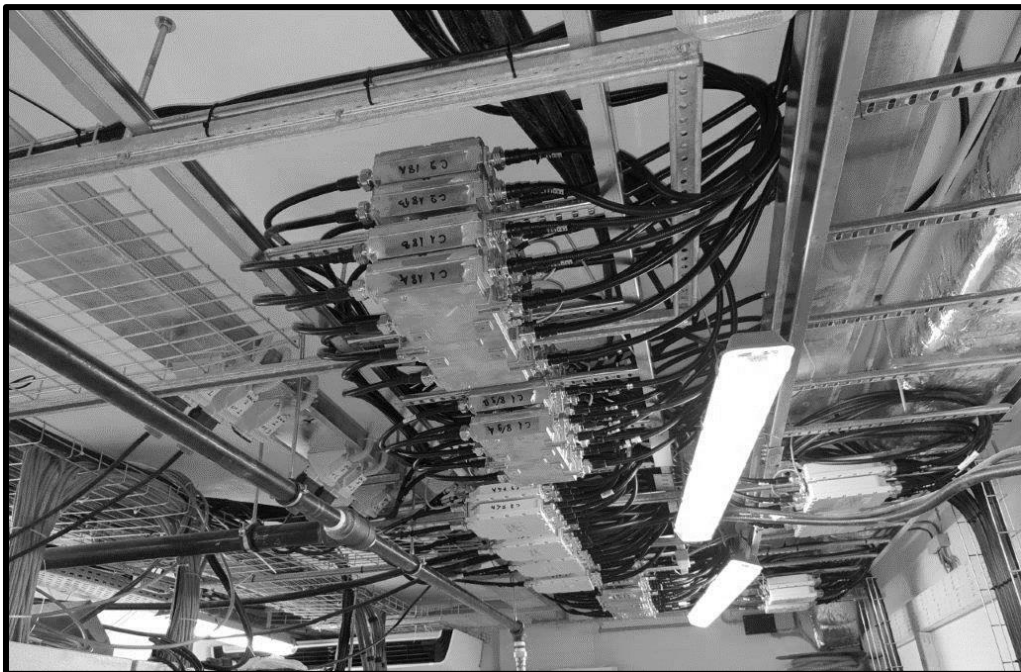
**Εικόνα 4.21:** Εγκατάσταση 1/2" ομοαξονικού καλωδίου αλλά και splitter σε ψευδοπάτωμα κτηρίου

Η κάλυψη στην εικόνα 4.20 είναι σχετικά ομοιόμορφη. Υπάρχει ισορροπία μεταξύ των κεραιών που εξυπηρετούν και τους τρεις ορόφους. Κατά την διενέργεια του διαγράμματος, θα πρέπει να περιλαμβάνονται όλες οι πληροφορίες, όπως οι απώλειες των εξαρτημάτων, απώλειες καλωδίων, αρίθμηση των εξαρτημάτων - κεραιών και οι απώλειες για κάθε κεραία. Πρέπει στο σχέδιο να έχουν αποτυπωθεί όλες αυτές οι πληροφορίες έτσι ώστε να είναι διαθέσιμες σε περίπτωση βλάβης.



**Εικόνα 4.22:** Εγκατάσταση 1/2" ομοαξονικού καλωδίου σε οροφοκανάλια κτηρίου υπό κατασκευή

Η επίλυση βλαβών είναι ένα πολύ σοβαρό ζήτημα στα παθητικά DAS. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μετρητή ισχύος (power meter), συνδεδεμένο σε μερικά επιλεγμένα σημεία του DAS και να αποκαλυφθούν, εάν υπάρχουν, βλάβες. Αυτό είναι και ένα από τα κύρια μειονεκτήματα του παθητικού DAS.



**Εικόνα 4.23:** Εγκατάσταση εξαρτημάτων παθητικού DAS

### 4.3.2 Κύρια σημεία στα παθητικά DAS

Υπάρχουν πολλά επιχειρήματα υπέρ αλλά και κατά της χρήσης των παθητικών DAS. Σαν λύση για δίκτυα εσωτερικής κάλυψης, δεν υπάρχουν μόνο τα παθητικά DAS. Ωστόσο κάποιες φορές είναι η καλύτερη λύση και κάποιες δεν είναι. Ένας έμπειρος σχεδιαστής θα γνωρίζει πότε πρέπει να γίνει η χρήση των παθητικών DAS και πότε όχι.

Τα πλεονεκτήματα των παθητικών DAS είναι τα εξής:

- Είναι απλό στον σχεδιασμό του.
- Μπορεί να γίνει χρήση από διαφορετικούς κατασκευαστές, καθώς αυτά είναι συμβατά μεταξύ τους.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε περιβάλλον με σκληρές συνθήκες (ζέστη, υγρασία κλπ.)

Τα μειονεκτήματα των παθητικών DAS είναι τα εξής:

- Δεν υπάρχει επίβλεψη σφαλμάτων στο σύστημα. Ο σταθμός βάσης δεν θα δώσει σφάλμα για VSWR.
- Δεν είναι ευέλικτο σε αναβαθμίσεις (διάσπαση σε περισσότερες κυψέλες ή υψηλότερες συχνότητες).
- Οι υψηλές απώλειες θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της απόδοσης του συστήματος.
- Είναι δύσκολη η ομοιόμορφη κάλυψη του χώρου από τις κεραιές.

Είναι πλέον γνωστό πως τα παθητικά DAS είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα DAS σε παγκόσμια κλίμακα. Ωστόσο η ανάγκη για 3G και 4G υπηρεσίες αλλά και για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης στο μέλλον, θα επηρεάσουν την επιλογή των παθητικών DAS. Η μεγαλύτερη ανησυχία των παθητικών DAS είναι κυρίως η εξασθένηση. Οι μελλοντικές συχνότητες στα συστήματα νέων γενιών (5G) θα είναι πολύ υψηλότερες, όπως και οι διαμορφώσεις (>64QAM) για υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας.

### 4.3.3 Εφαρμογές στα παθητικά DAS

Τα παθητικά DAS είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα για εσωτερική κάλυψη τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μικρά κτήρια με χαμηλή ισχύ από το BTS, μαζί με λίγες κεραιές μέχρι και σε μεγάλα αεροδρόμια, πανεπιστήμια κλπ.

Η κύρια πρόκληση της χρήσης των παθητικών DAS είναι η εγκατάσταση των άκαμπτων ομοαξονικών καλωδίων, τα οποία επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το κόστος της εγκατάστασης. Ακόμα μπορεί να περιορίσουν και τις θέσεις κεραιών κατά μήκος του χώρου.

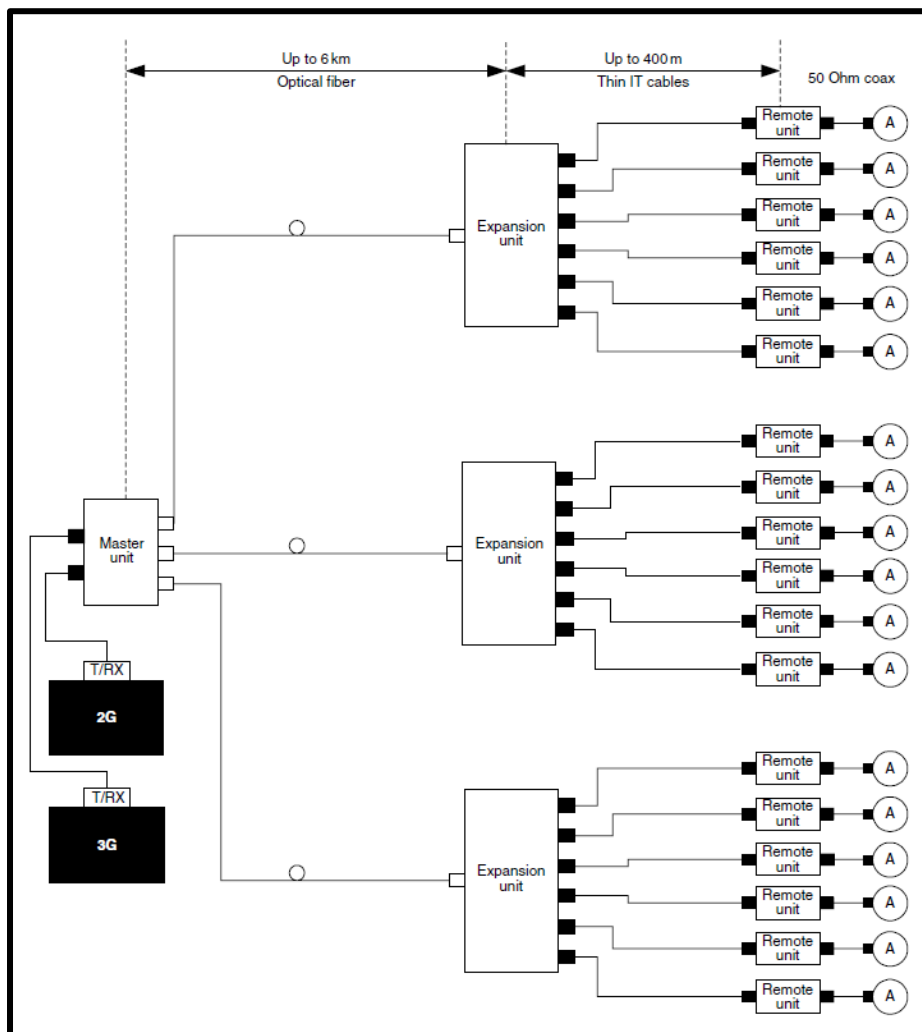
Η υποβαθμισμένη (degraded) υπηρεσία δεδομένων μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα εάν η εξασθένηση του συστήματος είναι υψηλή, ειδικά για τις τεχνολογίες του 3G και του 4G. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την διάσπαση του συστήματος σε περισσότερες από μια κυψέλες. Ωστόσο αυτή η λύση είναι μια δαπανηρή και συχνά γίνεται αναποτελεσματική χρήση των πόρων. Επιπλέον το πρόσθετο κόστος για το backhaul (διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο του παρόχου) αλλά και οι άδειες λογισμικού για τα μηχανήματα του δικτύου είναι ένα επιπλέον κόστος.

Οι κινητές συσκευές μέσα στο κτήριο θα ακτινοβολούν με σχετικά υψηλή ισχύ, λόγω του οποίου η συσκευή θα πρέπει να ξεπεράσει τις απώλειες του παθητικού DAS. Επομένως για να επιτευχθεί αυτό, η κινητή συσκευή θα πρέπει να εκπέμπει με υψηλότερη ισχύ. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, οι χρήστες να εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

## 4.4 Ενεργά DAS (Active DAS)

### 4.4.1 Σχεδιάζοντας ενεργά DAS

Η φιλοσοφία των ενεργών DAS είναι όμοια με αυτή των παθητικών DAS. Ωστόσο υπάρχουν μερικές διαφορές. Τα ενεργά DAS βασίζονται στα λεπτά καλώδια των οπτικών ινών, κάνοντας την εγκατάσταση πιο εύκολη σε σύγκριση με τα άκαμπτα ομοαξονικά καλώδια των παθητικών DAS. Απαρτίζονται από διάφορα εξαρτήματα, των οποίων η διαμόρφωση εξαρτάται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.



Εικόνα 4.24: Τυπικό διάγραμμα ενεργού DAS (σχεδίαση με Microsoft Visio)

---

Η δυνατότητα αντιστάθμισης των απωλειών των καλωδίων που διασυνδέουν τις μονάδες στο ενεργό DAS καθιστά το σύστημα πολύ πιο εύκολο και γρήγορο στον σχεδιασμό του αλλά και στην υλοποίησή του.

Κατά τον σχεδιασμό των παθητικών DAS είχε πολύ μεγάλη σημασία να γνωρίζαμε την καλοδιαδρομή αλλά και τις ακριβείς απόστασεις των καλωδίων, έτσι ώστε να υπολογίσουμε τις απώλειες αλλά και το link budget. Για τον σχεδιασμό των ενεργών DAS όμως αυτό δεν έχει σημασία. Δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα εάν η κεραία είναι στα 15 μέτρα ή στα 8 χιλιόμετρα. Η απόδοση θα είναι ίδια για όλες τις κεραίες στο σύστημα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση σημάτων εσωτερικής βαθμονόμησης (calibrating) αλλά και ενισχυτών. Επομένως ο σχεδιαστής δεν θα χρειαστεί να κάνει μια λεπτομερή αυτοψία του χώρου. Δεν έχει καμία σημασία για το που θα εγκατασταθούν τα καλώδια. Ακόμα ο σχεδιαστής δεν θα χρειαστεί να κάνει το link budget για όλες τις κεραίες του κτηρίου. Άρα τα ενεργά DAS είναι πολύ γρήγορα και εύκολα στην σχεδίαση, στην εγκατάσταση αλλά και στην βελτιστοποίηση.

Είναι γεγονός πως τα σύγχρονα κτήρια είναι πολύ δυναμικά από την άποψη της χρήσης τους. Έχοντας ένα ενεργό DAS που μπορεί πολύ εύκολα να αναβαθμιστεί και προσαρμοστεί στις ανάγκες του κτηρίου είναι πολύ σημαντικό. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον πάροχο, για τους χρήστες αλλά ακόμα και για τον ιδιοκτήτη του κτηρίου. Δεν υπάρχει ανάγκη να επανεξεταστεί όλο το σχέδιο και την εγκατάσταση εάν υπάρξουν αλλαγές και προσθήκες στο σύστημα. Πάντα θα υπάρχει η ίδια ισχύς στις κεραίες, ανεξάρτητα από τον αριθμό ή την απόσταση των κεραιών.

Ιδανικά σε ένα ενεργό DAS δεν θα υπάρχουν παθητικά εξαρτήματα. Ως εκ τούτου ένα τέτοιο σύστημα είναι σε θέση να παρακολουθεί από άκρο σε άκρο, όλο το DAS και να σηματοδοτεί σφάλματα ή βλάβες ή ακόμα και αποσυνδέσεις καλωδίων. Ακόμα έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει έναν ή περισσότερους πάροχους στο ίδιο DAS.

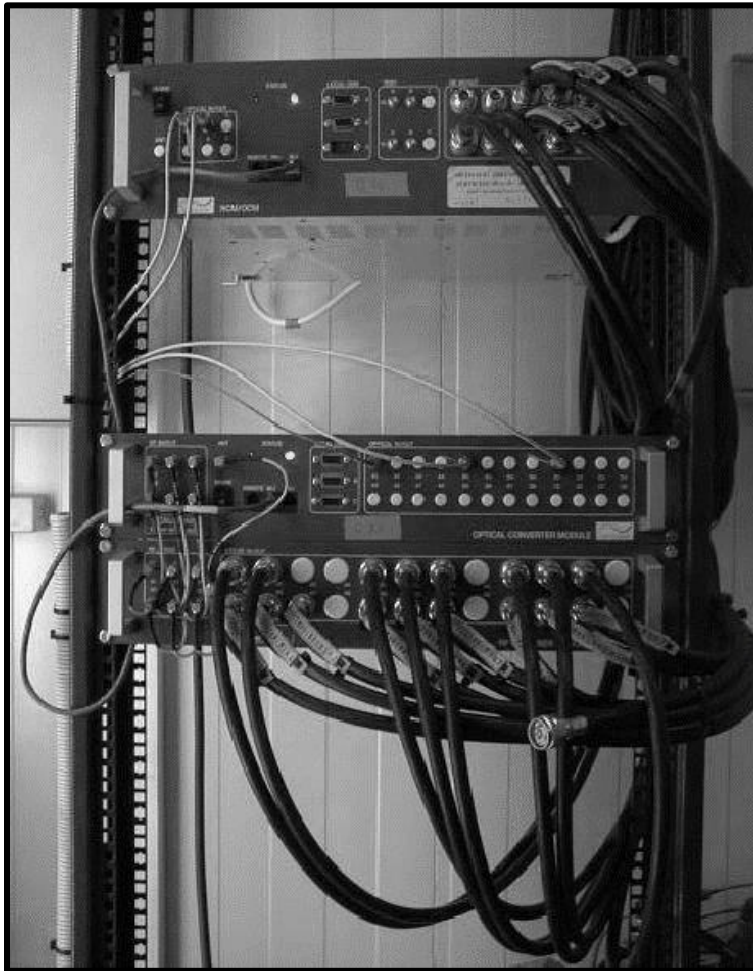
Δεν υπάρχει ανάγκη για υψηλή ισχύ μέσα στο σύστημα. Η φιλοσοφία του ενεργού DAS είναι να έχει τον τελευταίο ενισχυτή της κατερχόμενης ζεύξης (DL) αλλά και τον πρώτο ενισχυτή της ανερχόμενης (UL) όσο το δυνατόν κοντά στην κεραία. Κοντά στην κεραία βρίσκεται και η **remote radio unit (RRU)**, έτσι ώστε να αποφευχθεί η ανάγκη για περισσότερα μέτρα ομοαξονικού καλωδίου άρα και απώλειες. Επομένως χρησιμοποιώντας αυτή την φιλοσοφία, δηλαδή να έχεις τις RRU κοντά στις κεραίες, δεν θα χρειάζεται το BTS να χρησιμοποιεί υψηλή ισχύ. Έτσι το σύστημα μπορεί να εκπέμπει μικρή ισχύ από τις RRU με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απώλειες στις κεραίες.

Τα ενεργά DAS έχουν πολλά πλεονεκτήματα και στην ανερχόμενη ζεύξη όσον αφορά την μεταφορά δεδομένων. Έχοντας την RRU κοντά στην κεραία, χωρίς απώλειες στο BTS τότε η απόδοση θα αυξηθεί. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την απόδοση για υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων όπως στο EDGE (2G), στο 3G αλλά και στην καλύτερη απόδοση του 4G.

#### 4.4.2 Εξαρτήματα των ενεργών DAS

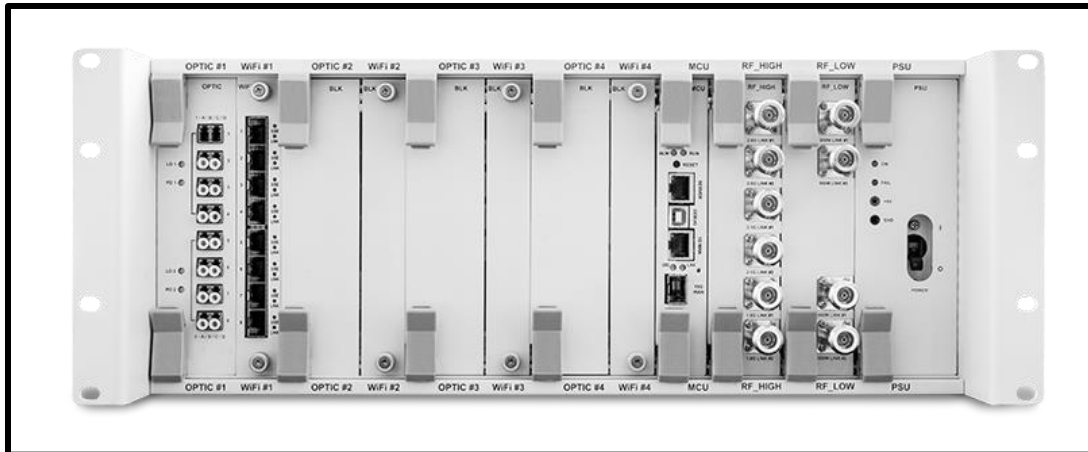
Για να μπορέσει ένας σχεδιαστής να κατανοήσει πως να χρησιμοποιεί ένα ενεργό DAS για εσωτερική κάλυψη, τότε θα πρέπει να κατανοήσει τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν. Κάποια ενεργά DAS χρησιμοποιούν καθαρά αναλογικά σήματα ενώ κάποια άλλα συστήματα μετατρέπουν το RF σε ψηφιακό σήμα. Τα ονόματα των μονάδων, τα νούμερα της κάθε πόρτας, οι αποστάσεις αλλά και τα είδη καλωδίων που χρησιμοποιούνται είναι ελαφρώς διαφορετικά από αυτά των παθητικών DAS (εικόνα 4.24). Αυτά τα είδη DAS μπορούν και υποστηρίζουν ταυτόχρονα 2G, 3G αλλά και 4G, επομένως θα χρειαστεί ο σχεδιαστής να σχεδιάσει μόνο ένα DAS για κάθε χώρο – κτήριο για έναν ή και περισσότερους πάροχους και υπηρεσίες. Τα εξαρτήματα είναι τα εξής:

**Κεντρική μονάδα (Master Unit, MU):** Η κεντρική μονάδα (MU) συνδέεται με τον σταθμό βάσης ή τον επαναλήπτη (repeater). Στην συνέχεια διαμοιράζει τα σήματα στο υπόλοιπο σύστημα στις μονάδες επέκτασης (expansion units, EU). Συνήθως η διασύνδεση της MU με τις EU γίνεται με χρήση οπτικών ινών.



Εικόνα 4.25: Εγκατάσταση MU σε ενεργό DAS

Η ΜU επίσης παρακολουθεί την συνολική απόδοση του DAS συστήματος, επικοινωνώντας με τις υπο-λοιπες μονάδες του συστήματος. Κατά τον εντοπισμό μια βλάβης ή κάποιας σηματοδότησης, η ΜU ενημερώνει τον σταθμό βάσης και έτσι ο πάροχος ενημερώνεται άμεσα για άρση του προβλήματος, καθώς γνωρίζει την πηγή της βλάβης.



**Εικόνα 4.26:** Απεικόνιση ΜU σε ενεργό DAS

Η ΜU δίνει πολύ ακριβείς λεπτομέρειες για την φύση των βλαβών. Θα υποδείξει το ακριβές εξάρτημα, καλώδιο ή κεραία το οποίο και θα είναι το πρόβλημα. Έτσι η απενεργοποίηση του DAS μέχρι και την άρση της βλάβης θα είναι πολύ μικρή και το σύστημα θα επανέλθει πολύ γρήγορα. Είναι εφικτό από τον μηχανικό να δει την κατάσταση του συστήματος από την ΜU χρησιμοποιώντας τα LED της μονάδας ή της οθόνης (που πιθανόν να έχει) ή μέσω της διασύνδεσης με τον υπολογιστή. Όλο εξαρτώνται από τον κατασκευαστή. Τέλος είναι εφικτό να υπάρχει απομακρυσμένη πρόσβαση στο σύστημα.

**Μονάδα επέκτασης (Expansion Unit, EU):** Η μονάδα επέκτασης (EU) συχνά εγκαθίσταται διάσπαρτα στο κτήριο ή τοποθετείται σε πολύ κεντρικά σημεία. Η σύνδεση με την ΜU γίνεται μέσω διαφορετικών οπτικών ινών για το TX και το RX. Ιδανικά η EU θα τροφοδοτήσει και της RRU (Remote Radio Unit) με DC τάση μέσω των υφιστάμενων καλωδιώσεων ή θα εγκατασταθεί παροχικό καλώδιο για κάθε RRU.



**Εικόνα 4.27:** Απεικόνιση ΜU σε ενεργό DAS



**Δίκτυο οπτικών ινών (Fiber Optic, FO):** Μερικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν και μονότροπες ίνες (Single Mode Fiber, SMF) αλλά και πολύτροπες ίνες (Multimode Fiber, MMF), ενώ άλλα συστήματα χρησιμοποιούν μόνο μονότροπες. Είναι πολύ σημαντικό πως αυτό ο παράγοντας πρέπει να ληφθεί υπόψιν εάν ο σχεδιαστής έχει σκοπό να χρησιμοποιήσει υφιστάμενη υποδομή οπτικών ινών.



**Εικόνα 4.28:** Απεικόνιση εγκατάστασης δικτύου οπτικών ινών (SMF)

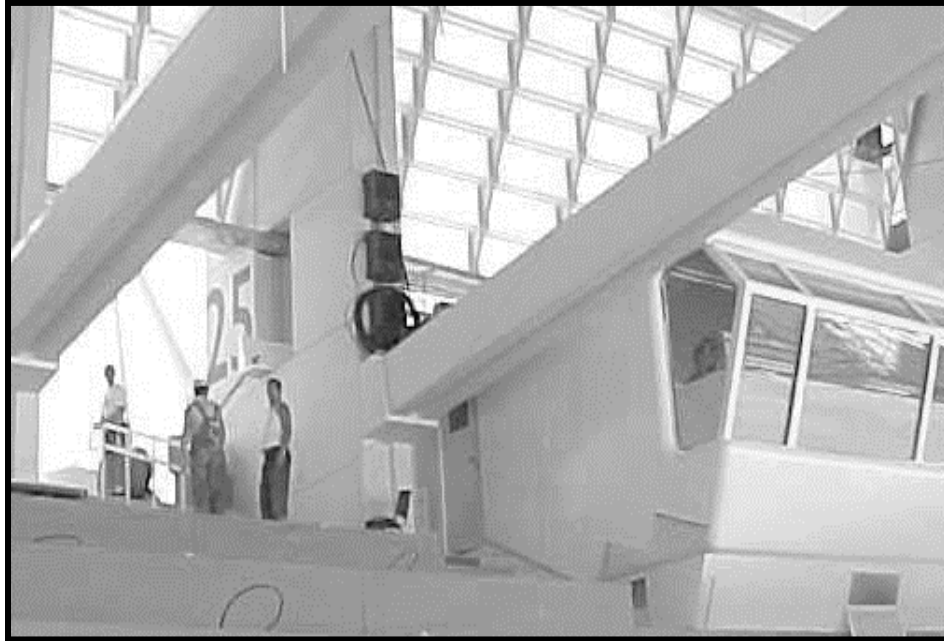
Συνήθως, στα παλιά κτήρια χρησιμοποιείται MMF οπτικές ίνες. Η εγκατάσταση των οπτικών ινών αλλά και των connectors των οπτικών ινών είναι μια διαδικασία που θέλει γνώση και πειθαρχία. Επομένως ο εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει την υπομονή αλλά και τις τεχνικές γνώσεις πριν προχωρήσει σε οποιαδήποτε ενέργεια.

**Απομακρυσμένη ραδιομονάδα (Remote Radio Unit, RRU):** Η απομακρυσμένη ραδιομονάδα (RRU) εγκαθίσταται κοντά στην κεραία, για να αποφευχθούν απώλειες από τα ομοαξονικά καλώδια και να διατηρηθεί μια καλή απόδοση στο σύστημα. Η RRU μετατρέπει το σήμα (ψηφιακό ή αναλογικό) της EU σε RF σήμα και αντιστρόφως από την κεραία. Αφού η RRU βρίσκεται κοντά στην κεραία, τότε η διασύνδεση τους γίνεται με την χρήση ενός μικρού jumper (έτοιμο εργοστασιακό ομοαξονικό καλώδιο). Αυτό διασφαλίζει καλή απόδοση του RF αλλά δίνει και την δυνατότητα στο ενεργό DAS να εντοπίσει αν θα γίνει κάποια αποσύνδεση της κεραίας από το σύστημα.



**Εικόνα 4.29:** Απεικόνιση RRU σε ενεργό DAS

Η RRU θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να δουλεύει χωρίς ανεμιστήρες (για ψύξη) ή άλλα θορυβώδη εξαρτήματα, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο θόρυβος. Πολλές φορές η RRU εγκαθίστανται σε γραφεία και η ύπαρξή θορύβου δεν είναι ανεκτή.



**Εικόνα 4.30:** Εγκατάσταση RRU σε ενεργό DAS

#### 4.4.3 Εφαρμογές στα ενεργά DAS

Η χρήση των ενεργών DAS όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.24 είναι κυρίως κατάλληλη σε μεγάλες δομές όπως μεγάλα αεροδρόμια, πανεπιστήμια και κτήρια. Η εγκατάσταση είναι γρήγορη και εύκολη, καθιστώντας δυνατή την ταχεία ανταπόκριση σε αιτήματα για εσωτερική κάλυψη τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ιδέα του να έχεις τις RRU κοντά στις κεραίες, βοηθάει στην αύξηση της απόδοσης του δικτύου σε χώρους όπου οι υπηρεσίες φωνής και δεδομένων είναι αναγκαίες.

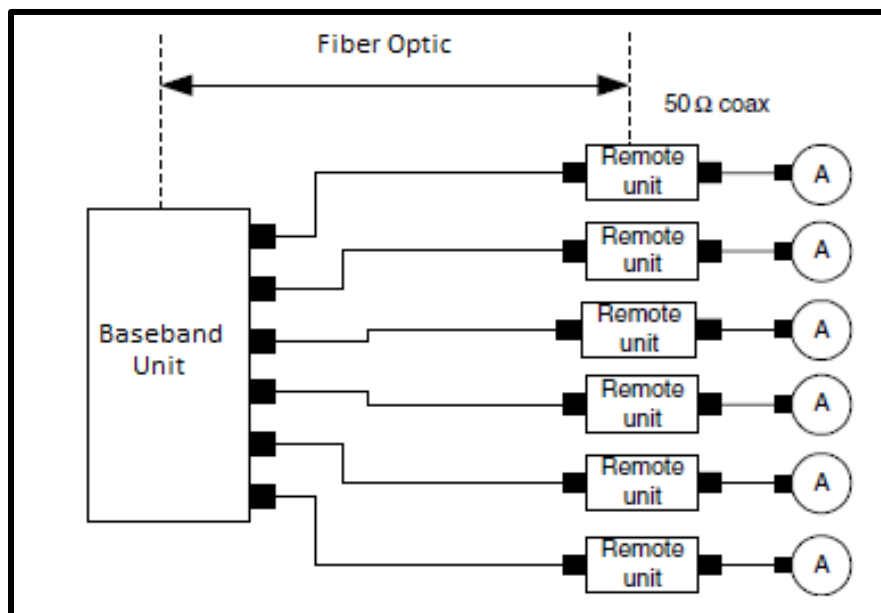
Η ακτινοβολία από τα κινητά των χρηστών αλλά και από τα συστήματα των ενεργών DAS αποτελεί μια ανησυχία για τους χρήστες του κτηρίου. Το ενεργό DAS έχει εγκατεστημένες τις RRU κοντά στις κεραίες. Αυτό βοηθάει στην ενίσχυση της απόδοσης για την ανερχόμενη ζεύξη (uplink, UL). Ως εκ τούτου, το κινητό μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας πολύ χαμηλή ισχύ εκπομπής. Αυτό καθιστά ιδανική αυτή την λύση για εγκατάσταση του συστήματος σε νοσοκομεία, για παράδειγμα.

Η αξιοπιστία ενός ενεργού DAS αποτελεί μια μεγάλη ανησυχία για τους σχεδιαστές. Αυτό οφείλεται στον αριθμό των μονάδων που θα διανεμηθούν σε όλο το κτήριο. Επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός από αξιόπιστους κατασκευαστές. Ακόμα όλες οι μονάδες θα πρέπει να είναι προσβάσιμες από τους μηχανικούς σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή συντήρησης. Τέλος θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στα περιβάλλοντα που εγκαθίστατε ο εξοπλισμός (υγρά και σκονισμένα μέρη).

## 4.5 Ενεργά DAS οπτικών ινών (Active F.O DAS)

### 4.5.1 Σχεδιάζοντας ενεργά F.O DAS

Η αυξανόμενη ανάγκη για ολοένα και μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης μέσω των συστημάτων DAS των υπηρεσιών 2G, 3G και 4G, πυροδότησε την ανάγκη για την δημιουργία ενός καθαρού ενεργού DAS που θα απαρτίζεται μόνο από οπτικές ίνες, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.31. Η κεντρική μονάδα (Baseband Unit, BBU) συνδέεται με τις RRU με χρήση οπτικών ινών. Στην συνέχεια γίνεται χρήση jumper μεταξύ RRU και κεραιών για την διασύνδεση μεταξύ τους.

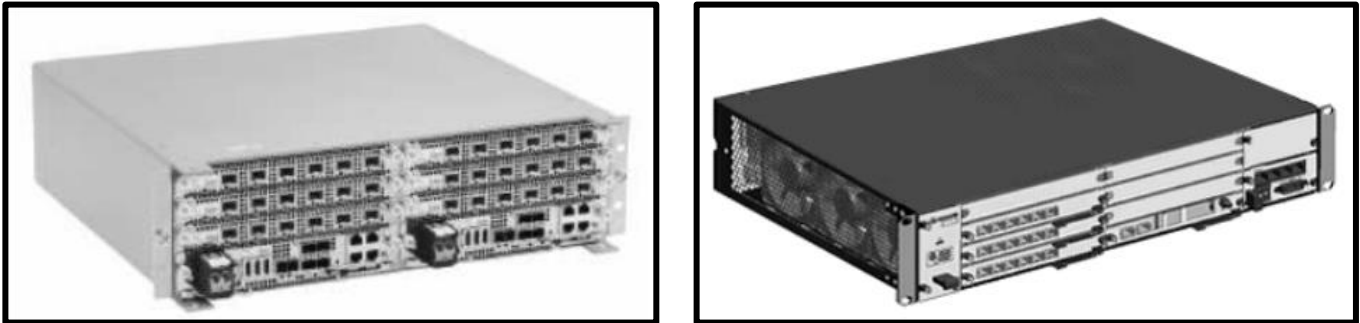


**Εικόνα 4.31:** Τυπικό διάγραμμα ενεργού DAS με οπτικές ίνες (σχεδίαση με Microsoft Visio)

Αν και φαίνεται δύσκολο, είναι τεχνικά εφικτό να συνδυάσουμε πολλές τεχνολογίες με διαφορετικές απαιτήσεις σχεδιασμού στο ίδιο DAS, σε ένα σύστημα με τις ίδιες κεραιές. Ενώ όλες οι υπηρεσίες απαιτούν πλήρη εσωτερική κάλυψη τότε θα πρέπει να σχεδιάσουμε το DAS σύμφωνα με την τεχνολογία που έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις. Για παράδειγμα αν κατά τον σχεδιασμό δούμε πως το 2G έχει ακτίνα κάλυψης τα 24μ, το 3G τα 21μ και το 4G έχει τα 10m, τότε θα πρέπει να τοποθετήσουμε τις κεραιές σύμφωνα με τις απαιτήσεις του 4G, υπερσχεδιάζοντας το 2G και το 3G. Πρέπει συχνά να προσαρμόσουμε το κέρδος των διάφορων τεχνολογιών ανάλογα, έτσι ώστε να αποφύγουμε τυχόν διαρροή του σήματος από το κτήριο.

#### 4.5.2 Εξαρτήματα των ενεργών F.O DAS

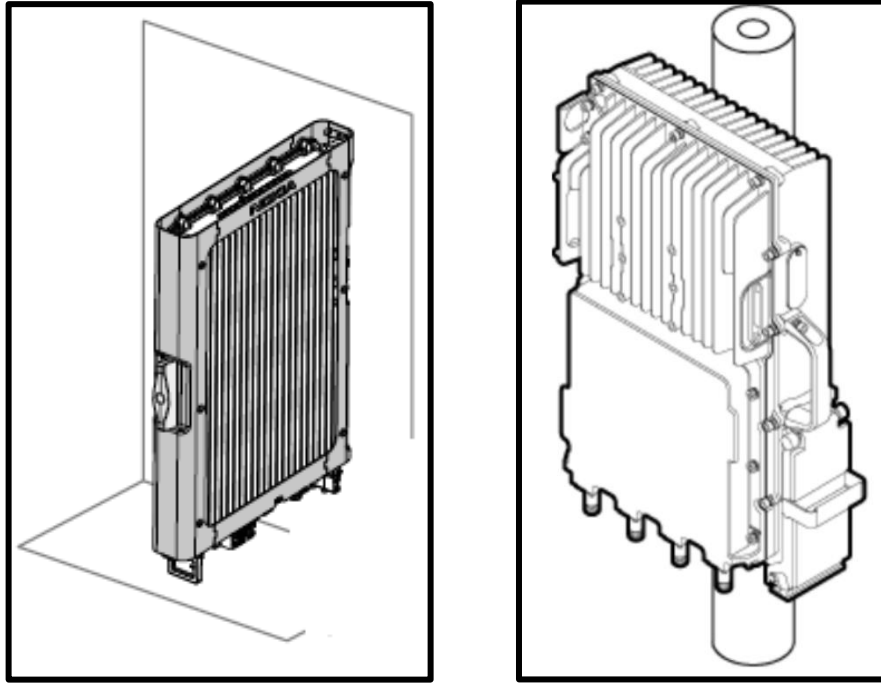
**Κεντρική μονάδα (Baseband Unit, BBU):** Η κεντρική μονάδα (BBU) διασυνδέει το ενεργό οπτικό DAS με τους απομακρυσμένους σταθμούς βάσης του DAS. Η BBU διαμοιράζει τα σήματα κατευθείαν προς τις RRU με την χρήση των οπτικών ινών. Πολλές φορές αυτό το είδος οπτικής ίνας είναι ένα σύνθετο καλώδιο, εμπεριέχοντας και την οπτική ίνα αλλά και καλώδιο DC τροφοδοσίας για την RRU. Σε κάθε άλλη περίπτωση το καλώδιο οπτικής είναι διαφορετικό από το καλώδιο τροφοδοσίας.



**Εικόνα 4.32:** Απεικόνιση Baseband μονάδων (BBU), διαφορετικών κατασκευαστών

Η BBU είναι ο “εγκέφαλος” του συστήματος και ελέγχει όλες τις λειτουργίες του DAS. Ακόμα η BBU παρακολουθεί την συνολική απόδοση του συστήματος. Σε περίπτωση βλάβης ή σφάλματος τότε ενημερώνει τον πάροχο για την ρίζα του προβλήματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την άρση της βλάβης. Θα υποδείξει το ακριβές εξάρτημα, καλώδιο ή κεραία το οποίο και θα είναι το πρόβλημα. Έτσι η απενεργοποίηση του DAS μέχρι και την άρση της βλάβης θα είναι πολύ μικρή και το σύστημα θα επανέλθει πολύ γρήγορα. Είναι εφικτό από τον μηχανικό να δει την κατάσταση του συστήματος από την MU χρησιμοποιώντας τα LED της μονάδας ή της οθόνης (που πιθανόν να έχει) ή μέσω της διασύνδεσης με τον υπολογιστή. Όλο εξαρτώνται από τον κατασκευαστή. Τέλος είναι εφικτό στο να υπάρχει απομακρυσμένη πρόσβαση στο σύστημα.

**Απομακρυσμένη ραδιομονάδα (Remote Radio Unit, RRU):** Η απομακρυσμένη ραδιομονάδα (RRU) εγκαθίσταται σε οποιοδήποτε μέρος του κτηρίου, κοντά στην κεραία. Μετατρέπει το σήμα οπτικής ίνας σε RF σήμα στην κατερχόμενη ζεύξη (DL) και το RF σε οπτικό σήμα στην ανερχόμενη ζεύξη (UL). Συνήθως η RRU εκπέμπει σε μεσαία ή υψηλή RF ισχύ, καθώς συχνά τροφοδοτεί 2 ή περισσότερα στόμια της κεραίας.



**Εικόνα 4.33:** Απεικόνιση ραδιομονάδων (RRU), διαφορετικών κατασκευαστών

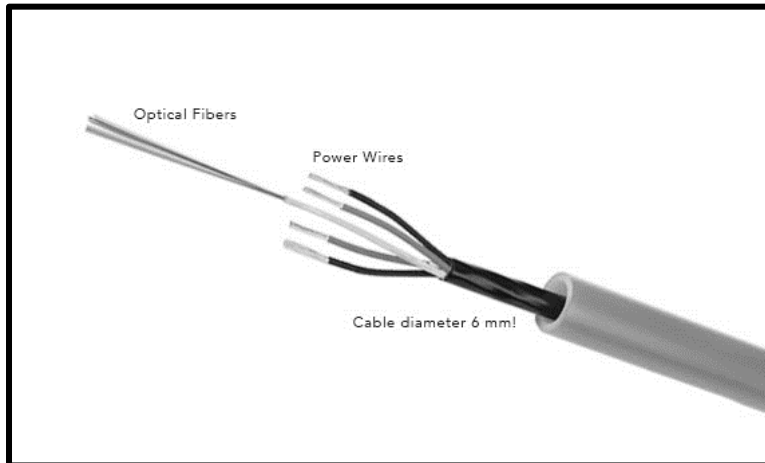
## 4.6 Υβριδικά DAS (Hybrid DAS)

### 4.6.1 Σχεδιάζοντας υβριδικά DAS

Είναι πολύ σημαντικό να μπορέσουμε να καταλάβουμε την διαφορά μεταξύ των ενεργών DAS, όπως αναφέραμε στις ενότητες 4.4 και 4.5, με τα υβριδικά DAS. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, τα υβριδικά DAS είναι μια μίξη ενεργών με παθητικών DAS. Το παθητικό κομμάτι του υβριδικού DAS είναι πολύ πιθανόν να περιορίσει τον σχεδιασμό αλλά και την εγκατάσταση, επηρεάζοντας έτσι την απόδοση του συστήματος, κυρίως στο 3G και 4G.

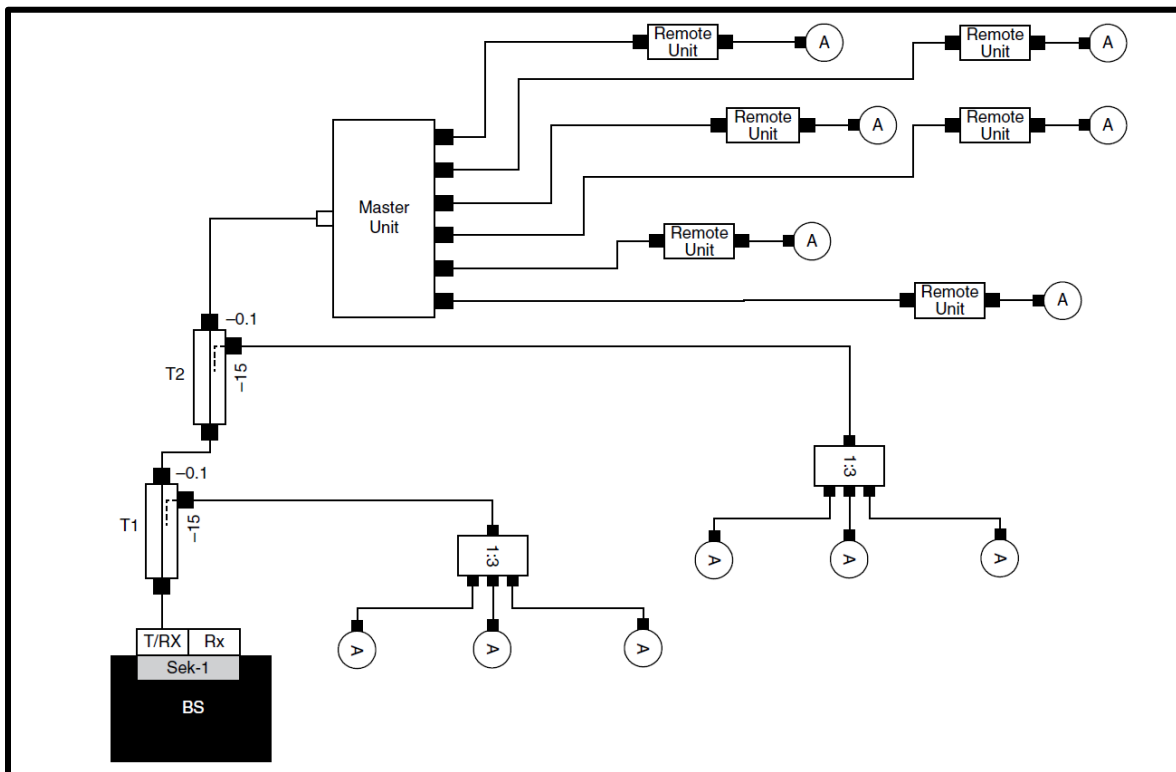
Κατά τον σχεδιασμό αλλά και την εγκατάσταση ενός υβριδικού DAS ο σχεδιαστής θα αντιμετωπίσει κάποιες πιθανές προκλήσεις. Για να μπορέσει η RRU να παρέχει υψηλή RF ισχύ, τότε αυτό σημαίνει πως θα πρέπει και να καταναλώνει μεγάλη ισχύ. Επομένως η RRU θα χρειαστεί τοπική τροφοδοσία. Εναλλακτικά, όπως αναφέραμε και στην ενότητα 4.5.2, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα ειδικό καλώδιο που εκτός από την οπτική ίνα, εμπεριέχει και καλώδιο DC τροφοδοσίας. Η ανάγκη για τοπική τροφοδοσία της κάθε RRU θα αυξήσει το κόστος και την πολυπλοκότητά του συστήματος. Άρα συνιστάται η χρήση σύνθετων καλωδίων οπτικής ίνας και τροφοδοσίας (εικόνα 4.34).

Τα μέρη που απαρτίζουν το υβριδικό DAS είναι γνωστά από τα ενεργά αλλά και παθητικά DAS. Η μόνη διαφορά είναι πως οι RRU συχνά ονομάζονται και HRU (Hybrid Remote Unit).



**Εικόνα 4.34:** Απεικόνιση σύνθετου καλωδίου οπτικής ίνας και DC τροφοδοσίας

Συχνά η καλύτερη λύση για ένα σύστημα εσωτερικής κάλυψης είναι η ένωση των καλύτερων σημείων ενός παθητικού και ενός ενεργού DAS (εικόνα 4.35). Τα παθητικά DAS είναι πιο οικονομικά αποδοτικά σε εγκαταστάσεις όπως υπόγειους χώρους (π.χ. χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων) με μικρές αποστάσεις ομοαξονικών καλωδίων και με λίγες κεραίες. Τα ενεργά DAS έχουν μεγαλύτερο κόστος, ωστόσο έχουν το πλεονέκτημα σε μεγαλύτερες αποστάσεις των κεραιών αλλά και η εγκατάστασή τους μπορεί να γίνει πιο εύκολα στα πιο απαιτητικά μέρη ενός κτηρίου.

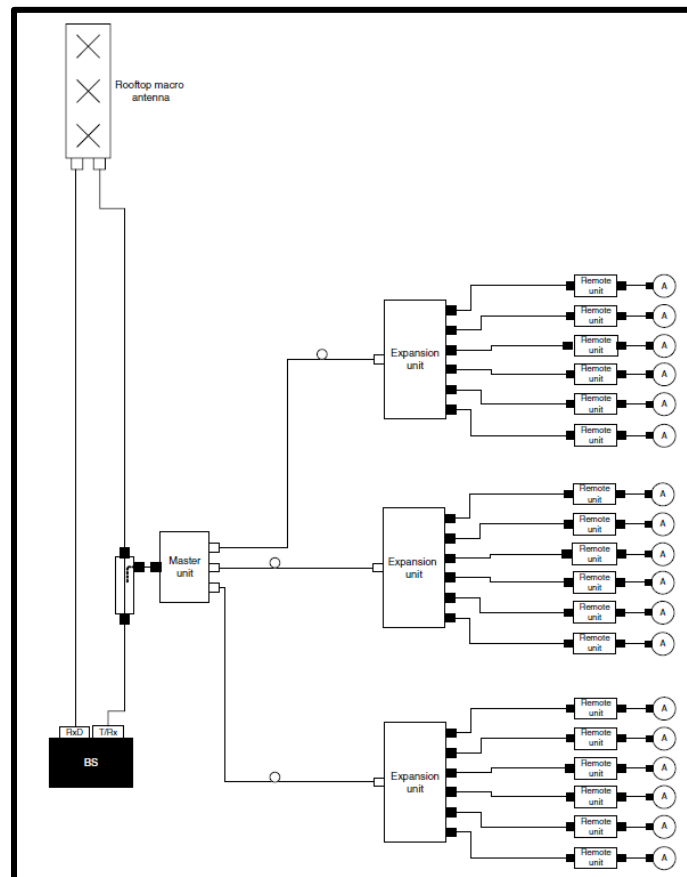


**Εικόνα 4.35:** Τυπικό διάγραμμα υβριδικού DAS (σχεδίαση με Microsoft Visio)

Σε ένα τυπικό σύστημα εσωτερικής κάλυψης, συνήθως το computer room όπου και θα εγκατασταθεί ο εξοπλισμός (π.χ. η BBU) είναι στο υπόγειο. Επομένως είναι πολύ συνετό η κάλυψη των χώρων του υπογείου, των χώρων στάθμευσης των οχημάτων κ.α. να γίνεται με την χρήση παθητικού DAS με λίγες κεραίες. Στις περιοχές που βρίσκονται μακριά από το computer room του υπογείου, όπως τα γραφεία του κτηρίου, αν γινόταν χρήση παθητικού DAS, πιθανόν να είχαμε προβλήματα με την απόδοση. Ακόμα θα έπρεπε να γινόταν εγκατάσταση των ομοαξονικών καλωδίων, ανεβάζοντας το κόστος στα ύψη. Άρα η σωστή λύση εσωτερικής κάλυψης είναι η χρήση παθητικού DAS κοντά στον σταθμό βάσης και χρήση ενεργού DAS στις πιο απομακρυσμένες αλλά και απαιτητικές περιοχές. Με την χρήση του υβριδικού DAS μπορούμε και αποφεύγουμε τα μειονεκτήματα των ενεργών και παθητικών DAS.

#### 4.6.2 Συνδυασμός εσωτερικής και εξωτερικής κάλυψης με χρήση υβριδικών DAS

Συχνά θα βρούμε κάποιο κτήριο όπου ένας macro σταθμός βάσης θα είναι τοποθετημένος στην ταράτσα. Ωστόσο στους χώρους του ίδιου κτηρίου η στάθμη του σήματος είναι ελλιπής, ειδικά στους χαμηλούς ορόφους. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο macro σταθμός βάσης χρησιμοποιείται ως δότης (donor) για ένα δίκτυο εσωτερικής κάλυψης του κτηρίου με υβριδική λύση DAS. Με την χρήση μιας τέτοιας λύσης εξοικονομούνται χρήματα, προβλήματα με το backhaul κ.α.



**Εικόνα 4.36:** Τυπικό διάγραμμα ενωμένου δικτύου εσωτερικής και εξωτερικής κάλυψης (σχεδίαση με Microsoft Visio)

## 4.7 Χρήση επαναλήπτη (repeater) σε DAS συστήματα

### 4.7.1 Εισαγωγή στους επαναλήπτες (repeaters)

Στα δίκτυα εσωτερικής κάλυψης συχνά χρησιμοποιείται ένας αποκλειστικός σταθμός βάσης. Αυτή είναι σχετικά μια εύκολη και απλή προσέγγιση. Απλώς αφιερώνεται στο σύστημα DAS ένας αποκλειστικός σταθμός βάσης με συγκεκριμένη χωρητικότητα, δυνατότητες και πόρους. Η επιλογή τέτοιων λύσεων χρησιμοποιούνται σε DAS που θα έχουν μέση ή υψηλή απαίτηση σε αποδοτικότητα και χωρητικότητα. Η απόφαση επιλογής του είδους του DAS λαμβάνεται σύμφωνα με τις ανάγκες του χώρου αλλά και της οικονομικής αποδοτικότητας που θα έχει ο πάροχος. Είναι γεγονός πως όλες οι λύσεις εσωτερικής κάλυψης θα πρέπει να εφαρμόζονται μετά από μια επιχειρηματική αξιολόγηση. Ωστόσο, πολλές φορές αποδεικνύεται πως η ανάγκη για τηλεπικοινωνιακούς πόρους δεν είναι τόσο μεγάλη έτσι ώστε να χρειαστεί να γίνει χρήση ενός νέου σταθμού βάσης, όπως επίσης εγκατάσταση νέου backhaul.

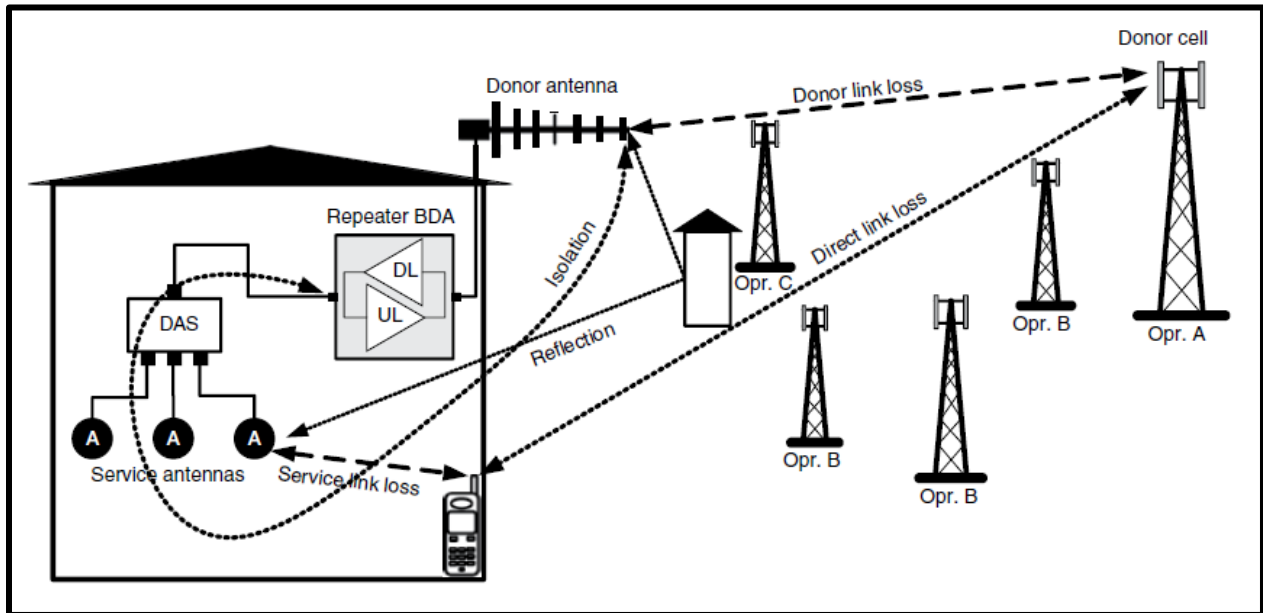
Όταν χρειάζεται μόνο την βελτίωση της κάλυψης, χωρίς να χρειαστεί να γίνει σημαντική αύξηση στην χωρητικότητα μέσα στο κτήριο τότε η τροφοδοσία του DAS με χρήση επαναλήπτη είναι συχνά μια καλή αλλά και βιώσιμη επιλογή. Οι επαναλήπτες συνήθως εξυπηρετούν τον σκοπό για παροχή επαρκούς στάθμης σήματος μέσα σε ένα κτήριο, όταν η κάλυψη από τους κοντινούς macro σταθμούς βάσης δεν είναι επαρκής. Ο επαναλήπτης δεν χρειάζεται να συνδεθεί με το δίκτυο του παρόχου μέσω backhaul αλλά βασίζεται στο σήμα εκπομπής ενός από τους κοντινούς macro σταθμούς βάσης. Επομένως ενισχύει το σήμα της κυψέλης του macro σταθμού μέσα στο DAS. Πολύ συχνά οι επαναλήπτες εγκαθίστανται για να παρέχουν λύση για ένα ή περισσότερα προβλήματα όπως σε VIP τοποθεσίες ή τοποθεσίες που απαιτούν γρήγορη λύση εσωτερικής κάλυψης. Ωστόσο πριν την εφαρμογή της λύσης θα πρέπει να εξετάσουμε προσεκτικά τον τύπο επαναλήπτη που θα χρησιμοποιήσουμε. Επίσης δεν θα πρέπει να ξεχνάμε πως ο επαναλήπτης είναι ένα ακόμα στοιχείο του δικτύου του παρόχου το οποίο και πρέπει να παρακολουθείται. Δεν είναι λίγες οι φορές που η χρήση των επαναληπτών έγινε πρόχειρα και γρήγορα, με πανικό, για την επίλυση ενός εκκρεμούς προβλήματος. Πολύ συχνά η χρήση των επαναληπτών έχουν σημαντική επίδραση στο δίκτυο, όπως επίσης επηρεάζεται και το κοντινό macro δίκτυο των σταθμών βάσης.

Οι επαναλήπτες, όπως και κάθε άλλα ενεργά στοιχεία του δικτύου, θα πρέπει να είναι ενσωματωμένα στο δίκτυο παρακολούθησης του παρόχου (Network Operation Center, NOC ή OMC). Πιθανόν, ένας ελλαττωματικός επαναλήπτης θα μπορούσε να υποβαθμίσει την ποιότητα του δικτύου στην ευρύτερη περιοχή εάν δεν έχει παραμετροποιηθεί σωστά ή εάν παρουσιάσει κάποια βλάβη. Επομένως δεν συνιστάται η χρήση των επαναληπτών εάν το δίκτυο του παρόχου δεν μπορεί να τους παρακολουθεί αλλά και να τους ελέγχει 24/7. Επίσης, κάποιες πιθανές αλλαγές στην κυψέλη του macro σταθμού βάσης ενδέχεται να προκαλέσει την ανάγκη για αλλαγές στις παραμέτρους του επαναλήπτη, όπως η αλλαγή της συχνότητας κ.α. Έτσι, κατά την επιλογή των επαναληπτών στο δίκτυο, είναι σημαντικό να λαμβάνετε υπόψη το αντίκτυπο της πλήρους εφαρμογής τους για αρκετά χρόνια, όπως επίσης και το σύστημα παρακολούθησης και επίβλεψης.



#### 4.7.2 Βασικοί όροι των επαναληπτών

Στην εικόνα 4.37 παρουσιάζεται μια ένα δίκτυο εσωτερικής κάλυψης με την χρήση ενός επαναλήπτη. Ας δούμε λοιπόν τους βασικούς όρους και μέρη που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα.



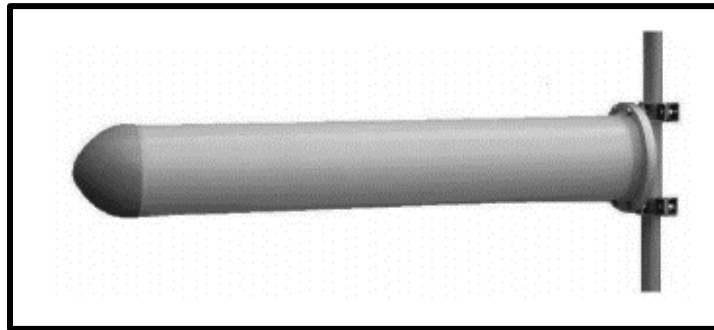
Εικόνα 4.37: Τυπικό διάγραμμα δικτύου εσωτερικής κάλυψης με χρήση επαναλήπτη

**Επαναλήπτης (Repeater):** Ο επαναλήπτης είναι ένας αμφίδρομος ενισχυτής (Bidirectional Amplifier, BDA) όπου ενισχύει την ανερχόμενη (UL) αλλά και την κατερχόμενη ζεύξη (DL) ενός συγκεκριμένου μέρους του φάσματος. Στην κατερχόμενη ζεύξη απλώς αφήνει να εισέλθει το σήμα από τον macro σταθμό βάσης, ενώ στην ανερχόμενη ενισχύει το σήμα από τις κινητές συσκευές του κτηρίου προς τον macro σταθμό βάσης. Συνιστάται η χρήση ενός επαναλήπτη όπου το κέρδος στην ανερχόμενη αλλά και στην κατερχόμενη ζεύξη να μπορεί να αλλάζει χειροκίνητα και ανεξάρτητα.



Εικόνα 4.38: Απεικόνιση επαναλήπτη (repeater)

**Κεραία δωρητή (Donor Antenna):** Η κεραία δωρητή είναι μια κατευθυντική κεραία και προσανατολίζεται με κατεύθυνση προς τον macro σταθμό βάσης, προς την κυψέλη ενδιαφέροντος. Καθώς βασιζόμαστε στην οπτική επαφή με την κυψέλη δωρητή (Donor Cell), θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την ίδια πολικότητα με αυτή του donor cell. Ωστόσο αυτό μπορεί να είναι μια πρόκληση καθώς η κεραία του σταθμού βάσης να είναι μια κεραία x-pol (το ένα στόμιο της κεραίας να τροφοδοτεί την μια πόλωση και το άλλο στόμιο, TRX, να τροφοδοτεί την άλλη πόλωση).

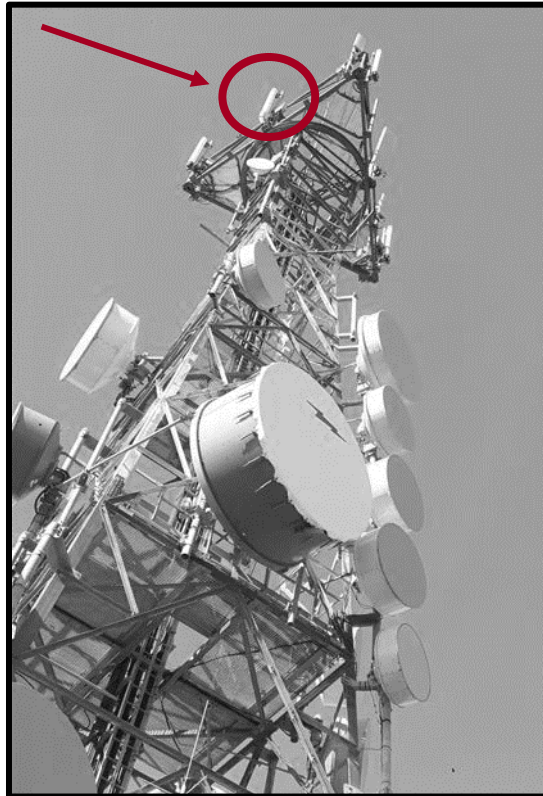


**Εικόνα 4.39:** Απεικόνιση κεραίας δωρητή (Donor Antenna)

Η ακριβής θέση εγκατάστασης της donor κεραίας στο κτήριο είναι μια πολύ βασική παράμετρος για την απόδοση του συστήματος DAS με χρήση επαναλήπτη. Αρχικά θα πρέπει να διασφαλίσουμε ότι μπορούμε να έχουμε επιθυμητή στάθμη του σήματος. Επίσης θα πρέπει να τοποθετήσουμε την κεραία σε μια τέτοια θέση όπου θα μπορέσουμε να αυξήσουμε την απομόνωση (isolation) μεταξύ των κεραιών μέσα στο DAS με την donor κεραία. Συνιστάται να υπάρχει καθαρή οπτική επαφή μεταξύ της donor κεραίας και της donor κυψέλης.

**Απώλειες ζεύξης δωρητή (Donor Link Loss):** Οι απώλειες της ζεύξης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.37, είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο για τον υπολογισμό του link budget. Τυπικά θα πρέπει να μετρήσουμε την στάθμη του σήματος από την donor κυψέλη για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το donor link loss. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την μέτρηση της στάθμης του σήματος της donor κεραίας έτσι ώστε να εκτιμηθεί σωστά το κέρδος του ενισχυτή αλλά και του κατευθυντικού κέρδους της κεραίας. Αν χρησιμοποιηθεί μια απλή κινητή συσκευή με το αντίστοιχο λογισμικό (εφαρμογή) και μετρηθεί έτσι το κέρδος, τότε είναι πολύ πιθανό να γίνουν λάθη. Τέλος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως οι απώλειες της ζεύξης να μην είναι σταθερές αλλά να είναι επιρρεπείς σε διάφορα φαινόμενα όπως το fading και τις ανακλάσεις. Επομένως συνιστάται να βασιζόμαστε μόνο σε donor κυψέλες που είναι κοντά στο κτήριο και έχουμε καλή οπτική επαφή.

**Κυψέλη δωρητή (Donor Cell):** Η κυψέλη δωρητή είναι μια κυψέλη (κεραία) από το ήδη υπάρχον δίκτυο των macro σταθμών βάσης. Επιλέγεται για να παρέχει κάλυψη και χωρητικότητα στο DAS δίκτυο μέσω του επαναλήπτη. Η donor κυψέλη θα μοιραστεί την υπάρχουσα περιοχή κάλυψης και θα συμπεριλάβει το νέο δίκτυο εσωτερικής κάλυψης. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός όπου θα φέρουμε την donor κυψέλη μέσα στο κτήριο μας μέσω του DAS επαναλήπτη, επομένως αν επιλεγεί μια κυψέλη που δεν εξυπηρετεί την συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή τότε θα πρέπει να παραμετροποιηθούν ανάλογα οι γειτονικές κυψέλες.



**Εικόνα 4.40:** Απεικόνιση κυψέλης δωρητή (Donor Cell)

Είναι πολύ σημαντικό να γίνει επιλογή της κατάλληλης donor κυψέλης με επαρκές επίπεδο στάθμης αλλά επίσης και με επαρκή ποιότητα σήματος. Αν το SNR (Signal to Noise Ratio) είναι κακό, τότε ο επαναλήπτης δεν θα είναι ποτέ σε θέση να βελτιώσει την ποιότητα.

**Κυριαρχία δωρητή (Donor Dominance):** Είναι πολύ σημαντική η κατανόηση της ανάγκης ύπαρξης της donor κεραίας. Πρέπει να δοθεί σημαντική προσοχή στο να επιλεγθεί η σωστή κεραία με το σωστό κέρδος. Επίσης θα πρέπει να προσανατολιστεί σωστά έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η κεραία δεν θα λάβει σήματα από άλλες κυψέλες ή άλλους σταθμούς βάσης. Επομένως συνιστάται έτσι ώστε η donor κυψέλη να εκπέμπει τουλάχιστον 10dB περισσότερο από τις υπόλοιπες. Ιδανικά θα ήταν η donor κυψέλη να εκπέμπει με περισσότερα από 15dB.

**Εσωτερική κάλυψη DAS (Indoor DAS):** Το σύστημα εσωτερικής κάλυψης μπορεί να είναι οποιοδήποτε από αυτά που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες (ενεργό, παθητικό ή υβριδικό). Το σύστημα εσωτερικής κάλυψης θα εξυπηρετήσει τις κινητές συσκευές μέσα στο κτήριο, εκπέμποντας το σήμα της επιλεγμένης donor κυψέλης από την donor κεραία. Αυτό θα γίνει όταν ο επαναλήπτης ενισχύσει το σήμα ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης. Θα χρειαστεί να υπολογίσουμε το link budget για το DAS σύστημα, πέραν του επαναλήπτη, έτσι ώστε να υπολογίσουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο των απωλειών του συστήματος από τις κεραίες στους κινητούς σταθμούς.

**Κέρδος επαναλήπτη (Repeater Gain):** Ο ενισχυτής έχει διαφορετικούς ενισχυτές για την ανερχόμενη (UL) αλλά και κατερχόμενη ζεύξη (DL). Συνιστάται να υπάρχει μια ισορροπία στο κέρδος μεταξύ των δυο ζεύξεων, καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει τον έλεγχο ισχύος (power control) του δικτύου.

**Απομόνωση (Isolation):** Η απομόνωση είναι ένα σημαντικό θέμα όταν σχεδιάζονται λύσεις με επαναλήπτες. Ως απομόνωση ορίζουμε τις απώλειες (dB) μεταξύ τις εξόδου και εισόδου του επαναλήπτη. Αυτό περιλαμβάνει όλα τα κέρδη και όλες τις απώλειες της donor κεραίας, των κεραιών του DAS, των απωλειών των καλωδίων αλλά και το κέρδος του DAS (απώλειες για παθητικό DAS, κέρδος για ενεργό DAS).

Οι κεραιές που εξυπηρετούν το σύστημα μέσα στο κτήριο είναι μια σημαντική παράμετρος κατά τον σχεδιασμό των DAS με επαναλήπτες. Μάλιστα αποτελεί και το πιο ευαίσθητο σημείο κάθε μορφής DAS. Για να μπορέσει ο επαναλήπτης να τροφοδοτήσει με την επιθυμητή ενέργεια το DAS, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι απομόνωση θα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ορίσει ο κατασκευαστής του επαναλήπτη. Πρακτικά θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι η απομόνωση θα παραμείνει ανεπηρέαστη από τις πιθανές αλλαγές του περιβάλλοντος κοντά στην donor κεραία ή στις κεραιές του DAS.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η απομόνωση του επαναλήπτη μπορεί να επηρεαστεί από το άνοιγμα ενός παραθύρου στο κτήριο. Λόγο της μεταλλικής επίστρωσης του παραθύρου, η απομόνωση ήταν τέλεια, μέχρι όπου το παράθυρο ανοίχτηκε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο επαναλήπτης να χαμηλώσει το κέρδος και αυτόματα όλοι οι χρήστες να χάσουν τις υπηρεσίες τους μέσα στο κτήριο.

Μπορεί να ελεγχθεί η απομόνωση κάνοντας δοκιμές με έναν ειδικό εξοπλισμό (site master) στο DAS (στο κονέκτορα εξόδου του επαναλήπτη) και να μετρηθεί η ισχύ που δίνει η είσοδος του επαναλήπτη. Ωστόσο η διαρροή σήματος μεταξύ του site master και του της donor κεραίας είναι ένα ζήτημα.

**Απώλειες ζεύξης (Direct Link Loss):** Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τυχόν περιοχές μέσα στο κτήριο όπου το κινητό ενδέχεται να λάβει σήμα από τον επαναλήπτη αλλά και απευθείας από την donor κυψέλη, παρακάμπτοντάς έτσι τον επαναλήπτη. Αυτό ενδέχεται να προκαλέσει το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών (multipath fading). Ωστόσο ο δέκτης θα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να αντιμετωπίσει τέτοια φαινόμενα.

**Απώλειες ζεύξης υπηρεσιών (Service Link Loss):** Όταν σχεδιάζουμε ένα τυπικό σύστημα εσωτερικής κάλυψης θα πρέπει να κάνουμε τους υπολογισμούς για το link budget για να εκτιμήσουμε το εύρος για την ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη. Στην κατερχόμενη ζεύξη, το link budget υπολογίζεται όπως και σε ένα κανονικό DAS. Υπάρχει συγκεκριμένη ισχύς εξόδου από την κάθε κεραία του DAS. Στην ανερχόμενη ζεύξη όμως θα πρέπει να συμπεριληφθεί το NF (Noise Figure), όπως και το κέρδος της απόδοσης του DAS, του επαναλήπτη αλλά και της ζεύξης με τον macro σταθμό βάσης.

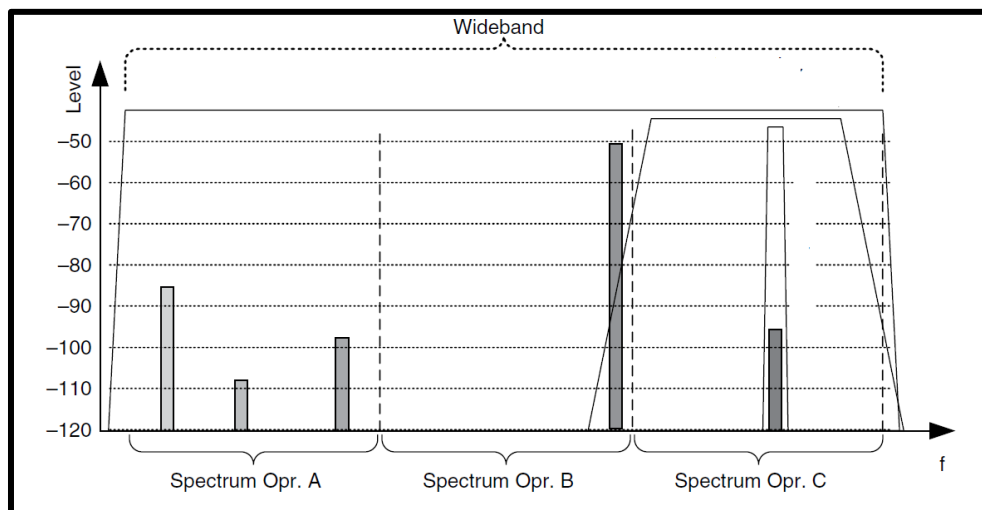
**Γραμμικότητα (Linearity):** Είναι πολύ σημαντικό να γίνεται επιλογή επαναληπτών υψηλής ποιότητας. Ειδικά για τα DAS συστήματα τα οποία παρέχουν υπηρεσίες με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 64 QAM, όπως το 3G/HSPA και το 4G/4G+. Σε κάθε άλλη περίπτωση αν δεν γίνει αυτή η χρήση τότε οι υπηρεσίες δεν θα έχουν καλή απόδοση και δεν θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν διαμόρφωση των 64 QAM.

**Ισχύς εξόδου (Output Power):** Η ισχύς εξόδου είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος όταν σχεδιάζουμε έναν DAS με χρήση επαναλήπτη, ειδικά εάν ο επαναλήπτης τροφοδοτεί ένα παθητικό DAS, όπου ο επαναλήπτης έχει να αντιμετωπίσει και τις απώλειες των splitter, taprer, ομοαξονικών καλωδίων κ.α. Είναι λιγότερο σημαντικό όταν ο επαναλήπτης τροφοδοτεί ενεργά DAS, όπου αυτά αυτοενισχύονται από μόνα τους.

#### 4.7.3 Είδη επαναληπτών

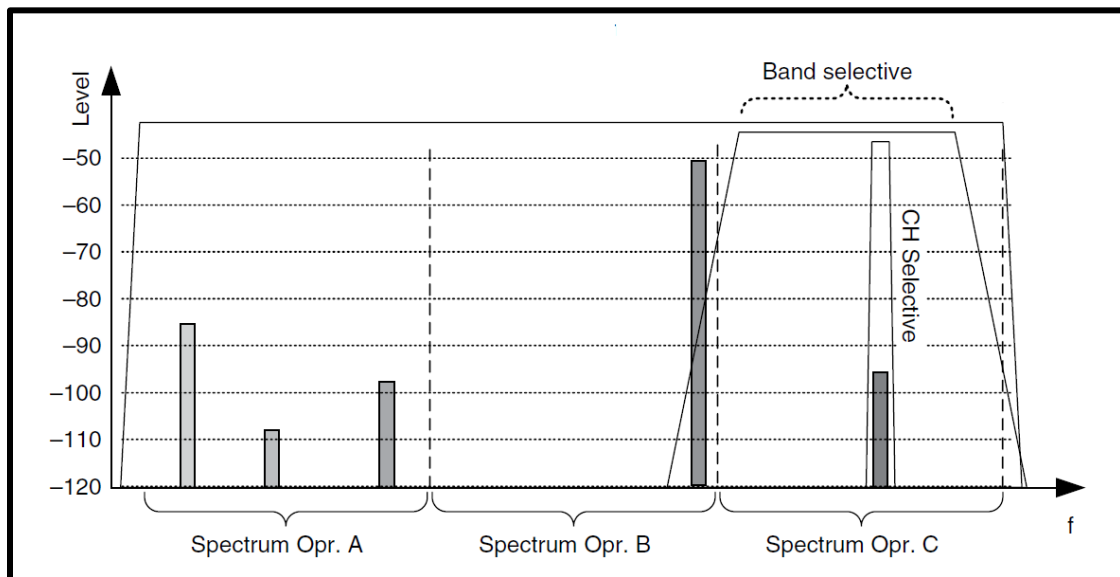
Οι επαναλήπτες έχουν διάφορους τύπους. Κάποιοι είναι υψηλής ή χαμηλής ισχύος, κάποιοι είναι μικροί σε μέγεθος (mini repeaters), άλλοι κάνουν επιλογή της συχνότητας (band selective repeaters), άλλοι κάνουν επιλογή του καναλιού που θα ενισχύσουν (channel selective repeaters), ενώ κάποιοι άλλοι παραμετροποιούνται αυτόματα. Είναι πολύ σημαντικό για έναν σχεδιαστή να γνωρίζει σε κάθε σύστημα τον τύπο επαναλήπτη που θα χρησιμοποιήσει. Οι τύποι των επαναληπτών είναι οι εξής:

**Επαναλήπτες ευρείας ζώνης (Wideband Repeater):** Οι επαναλήπτες ευρείας ζώνης χρησιμοποιούνται για να καλύψουν ένα ολόκληρο τμήμα μιας συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων. Για παράδειγμα ένας επαναλήπτης ευρείας ζώνης 3G στα 2100 MHz, τυπικά θα καλύπτει και τα 60 MHz του φάσματος του 3G στην συχνότητα των 2100 MHz. Αν θα θέλαμε να λάβουμε υπόψιν το σενάριο που αποτυπώνεται στην εικόνα 4.41, όπου σχεδιάζουμε ένα DAS με χρήση επαναλήπτη για να παρέχουμε κάλυψη στον πάροχο A (Operator A), τότε θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί και να μην χρησιμοποιήσουμε έναν επαναλήπτη ευρείας ζώνης. Ο λόγος είναι πως ο macro σταθμός βάσης του παρόχου A είναι πολύ πιο μακριά από τους σταθμούς βάσης των πάροχων B (Operator B) και Γ (Operator C) που λειτουργούν στην ίδια περιοχή. Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε πώς ένας επαναλήπτης ευρείας ζώνης είναι ακατάλληλος για ένα DAS με μόνο έναν πάροχο. Ωστόσο κάποιες φορές θα πρέπει στο ίδιο DAS να παρέχουν υπηρεσίες περισσότεροι από ένας πάροχοι. Άρα είναι πολύ δελεαστικό να γίνει η χρήση των wideband επαναληπτών.



Εικόνα 4.41: Απεικόνιση λειτουργίας επαναλήπτη ευρείας ζώνης (wideband repeater)

**Επαναλήπτες επιλογής ζώνης (Band Selective Repeater):** Όπως υποδηλώνει και το όνομα οι επαναλήπτες επιλογής ζώνης ενισχύουν ένα κομμάτι του συνολικού φάσματος που υποστηρίζουν. Κανονικά οι επαναλήπτες επιλογής ζώνης παραμετροποιούνται για να υποστηρίξουν και ενισχύσουν ένα κομμάτι του διαθέσιμου φάσματος. Το μόνο που θα χρειαστεί να κάνουμε είναι να δώσουμε τις εντολές στο επαναλήπτη για την αρχή και το τέλος του φάσματος. Έτσι ο επαναλήπτης θα υποστηρίξει την ενίσχυση μόνο στο φάσμα που τον ρυθμίσαμε. Τυπικά ο πάροχος θα παραμετροποιήσει τον επαναλήπτη στο διαθέσιμο φάσμα που έχει ο ίδιος αγοράσει. Έτσι θα είναι λιγότερο ευάλωτος από κοντινούς macro σταθμούς βάσης άλλων πάροχων. Στο παράδειγμα στην εικόνα 4.42 ο επαναλήπτης έχει παραμετροποιηθεί έτσι ώστε να λειτουργεί στο φάσμα του παρόχου Γ, χωρίς να επηρεάζεται από τους πάροχους Α και Β.



**Εικόνα 4.42:** Απεικόνιση λειτουργίας επαναλήπτη επιλογής ζώνης (band selective repeater) και επιλεκτικού επαναλήπτη καναλιών (Channel Selective Repeater)

**Επιλεκτικοί επαναλήπτες καναλιών (Channel Selective Repeater):** Δεν είναι λίγες οι φορές όπου οι επιλεκτικοί επαναλήπτες καναλιών είναι ιδανικοί για τα DAS συστήματα. Όπως φαίνεται και την εικόνα 4.42, ο επαναλήπτης επιλέγει κι ενισχύει ένα συγκεκριμένο κανάλι της donor κυψέλης. Αυτό κάνει το σύστημα εύκολο στην παραμετροποίηση αλλά και στην βελτιστοποίηση. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υποψη πως ένα η donor κυψέλη αλλάξει κανάλι τότε ο συγκεκριμένος επαναλήπτης θα πρέπει παραμετροποιηθεί εκ νέου.

#### 4.7.4 Γενικά θέματα επαναληπτών

Οι επαναλήπτες είναι ένα πολύ δυνατό εργαλείο. Έχουν χαμηλό κόστος και συμβάλλουν στην γρήγορη εγκατάσταση των DAS. Ωστόσο, όπως κάθε καλό εργαλείο, θα πρέπει να είναι γνωστό πως, που και πότε να το χρησιμοποιούμε. Γενικά ο επαναλήπτης είναι απλώς ένας ενισχυτής. Είναι ένας αμφίδρομος ενισχυτής που επεκτείνει την κάλυψη της donor κυψέλης σε χώρους και μέρη που το macro δίκτυο σταθμών βάσης δεν θα μπορούσε να καλύψει. Βέβαια υπάρχουν κάποιες βασικές παράμετροι απόδοσης που είναι σημαντικό να γνωρίζουμε κατά τον σχεδιασμό DAS λύσεων με επαναλήπτες.

Οι λύσεις DAS με χρήση επαναλήπτη δεν θα πρέπει να “εγκαθίστανται και να ξεχνιούνται”. Πρέπει να παρακολουθείται προσεκτικά η απόδοση του επαναλήπτη αλλά και του ίδιου του DAS. Μια δυσλειτουργία του επαναλήπτη μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους χρήστες που εξυπηρετούνται από τον επαναλήπτη μέσα στο κτήριο. Μάλιστα ο επαναλήπτης θα μπορούσε να υποβαθμίσει την απόδοση της donor κυψέλης, ακόμα και αν υπήρχε καλή κάλυψη μέσα στο κτήριο. Επομένως, όταν γίνει η τελική εγκατάσταση του επαναλήπτη, συνιστάται η στενή παρακολούθηση της donor κυψέλης για μερικές εβδομάδες, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση του επαναλήπτη σε αυτή.

Συνιστάται ανεπιφύλακτα στους πάροχους που κάνουν χρήση επαναληπτών στο δίκτυο τους να μπορούν να έχουν πρόσβαση στην λειτουργία και συντήρηση (operation and maintenance) του επαναλήπτη. Μάλιστα αν χρειαστεί να μπορούν να τον απενεργοποιήσουν εξ αποστάσεως. Αυτή η λειτουργία γίνεται συνήθως μέσω ενός ενσωματωμένου ασύρματου modem όπου και ελέγχεται από το κέντρο του κάθε παρόχου (NOC). Είναι ένα πολύ γνωστό πρόβλημα για τους πάροχους κινητής τηλεφωνίας πως μπορούν να χάσουν την παρακολούθηση των επαναληπτών.



## 5. Σχεδίαση Συστημάτων Κατανεμημένων Κεραιών (DAS)

### 5.1 Εισαγωγή

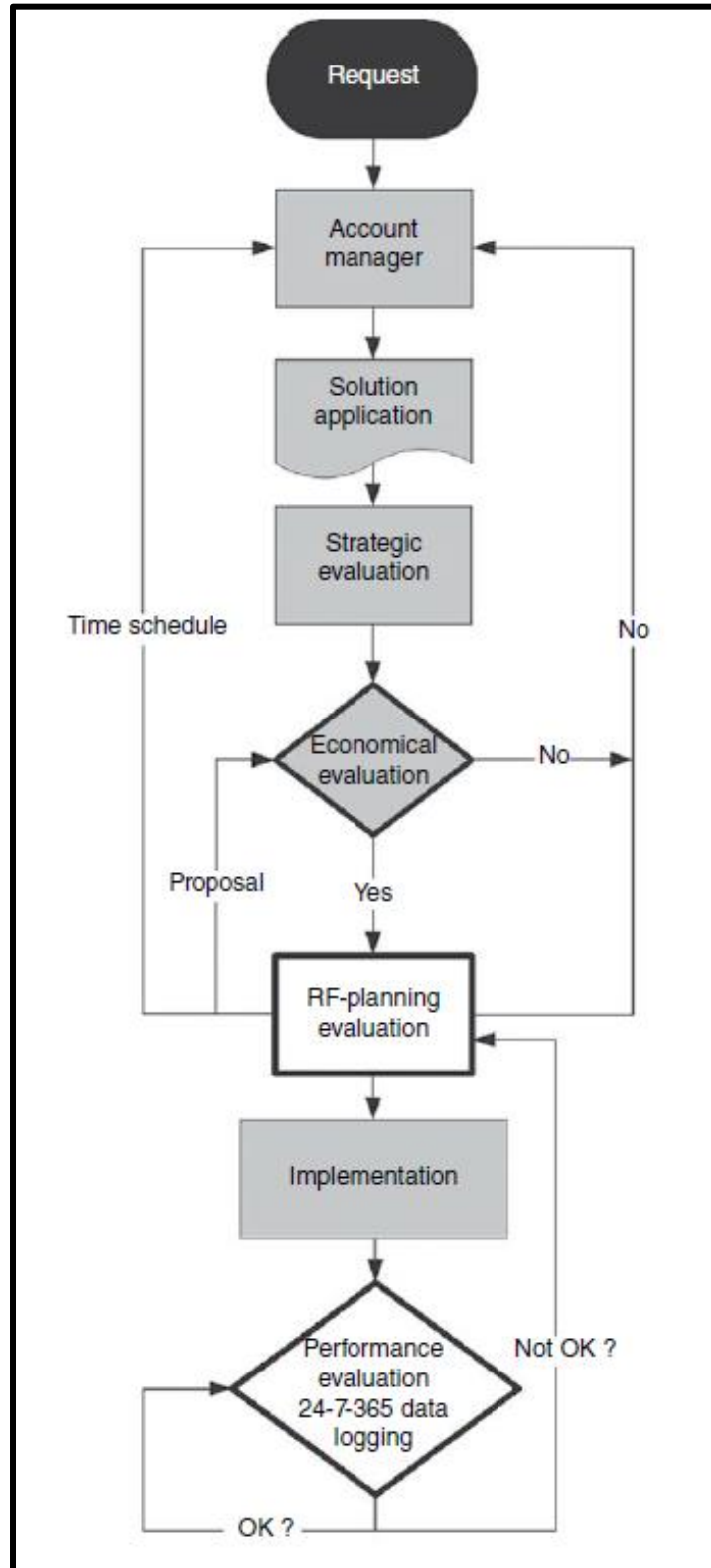
#### 5.1.1 Διαδικασία σχεδιασμού DAS λύσεων

Πριν σχεδιαστεί ένα σύστημα DAS, συνιστάται η ανάπτυξη μιας καλά δομημένης και τεκμηριωμένης δομής εργασίας (documented workflow). Αυτή η δομή εργασίας θα πρέπει να περιλαμβάνει κάθε πτυχή της διαδικασίας σχεδιασμού, από την αρχή έως το τέλος. Αυτό θα εξασφαλίσει μια ομοιόμορφη ροή εργασίας κατά τον σχεδιασμό και θα διασφαλίσει πως η επένδυση του παρόχου σε κάθε DAS ξεχωριστά θα είναι το ίδιο καλή και αξιόπιστη.

Οι πάροχοι χρειάζονται μια καλά δομημένη διαδικασία για την αξιολόγηση της κάθε DAS λύσης. Συχνά η ανάγκη για μια DAS λύση για ένα συγκεκριμένο κτήριο ξεκινάει από το τμήμα πωλήσεων και μάρκετινγκ του παρόχου, όπου είναι και υπεύθυνος για την συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται το κτήριο ή για τον πελάτη. Η διαδικασία θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις πτυχές των διεργασιών της λύσης, προκειμένου το τμήμα του σχεδιασμού να εφαρμόσει την καλύτερη δυνατή λύση DAS. Στην εικόνα 5.1 αποτυπώνεται μια τέτοια δομημένη διαδικασία.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1, η διαδικασία ξεκινάει με τις απαιτήσεις του πιθανού πελάτη, κατά προτίμηση σε πρώιμο στάδιο. Στην συνέχεια η ομάδα πωλήσεων και μάρκετινγκ παρέχει μια αίτηση για να λάβει έγκριση για την εφαρμογή της λύσης DAS. Η αίτηση θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:





**Εικόνα 5.1:** Δομή εργασίας του παρόχου για την DAS

### Απαιτήσεις πελάτη

- Αριθμός χρηστών
- Τύποι χρηστών (απαιτητικοί, διευθυντές κ.α.)
- Τύποι των απαιτήσεων στις υπηρεσίες (χωρητικότητα, ρυθμοί μετάδοσης κ.α.)
- Διάρκεια του συμβολαίου – σύμβασης
- Διάρκεια έως την ολοκλήρωση του έργου

### Κτηριακά έγγραφα

- Κάτοψη ορόφων
- Σημάδια στις κατόψεις όπου απεικονίζεται η κάλυψη με ποσοστά (π.χ. 90% ή 100% κάλυψη ή χώροι που θα ήταν καλό να έχουν κάλυψη)
- Σημάδια στις κατόψεις όπου αποτυπώνονται διαφορετικά περιβάλλοντα (μέρη με χοντρούς τοίχους, ανοιχτά γραφεία, αποθήκες κ.α.)
- Φωτογραφίες του κτηρίου
- Λεπτομέρειες και σχέδια των προγραμματισμένων ανακατασκευών ή επεκτάσεων του κτηρίου
- Λεπτομέρειες για τον υπεύθυνο επικοινωνίας, όπου και θα εγκρίνει τις εργασίες

Συνήθως η απόκτηση των κατόψεων του κτηρίου είναι πολύ δύσκολη. Ωστόσο στις περισσότερες χώρες η ύπαρξη τους είναι υποχρεωτική να υπάρχει σε μορφή A3 σε διάφορα μέρη του κάθε ορόφου. Συνήθως σε εξόδους κινδύνου ή κοντά σε πυροσβεστικές φωλιές. Αυτά τα σχέδια συνήθως παρέχουν πολύ καλές πληροφορίες για τον σχεδιασμό της DAS λύσης.

Όταν το τμήμα μάρκετινγκ και πωλήσεων δώσει στον σχεδιαστή της DAS λύσης τις απαραίτητες πληροφορίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τότε ο σχεδιαστής, ο οποίος είναι έμπειρος σχεδιαστής ράδιο συστημάτων θα μπορεί να προχωρήσει στην σχεδίαση χωρίς να επισκεφτεί το κτήριο. Αυτό βέβαια εξαρτάται από την ποιότητα και την λεπτομέρεια των πληροφοριών που δόθηκαν στον σχεδιαστή. Ο σχεδιαστής μετά την μελέτη και σχεδιασμού της λύσης παρέχει τις εξής πληροφορίες:

- Κατόψεις με προτεινόμενες θέσεις των κεραιών και του εξοπλισμού
- Διάγραμμα της DAS λύσης
- Λίστα με τον εξοπλισμό
- Εκτιμώμενο κόστος της λύσης
- Εκτιμώμενη διάρκεια του έργου.

### 5.1.2 Αυτοψία (Site Survey)

Πριν την αυτοψία του κτηρίου, ο σχεδιαστής έχει δημιουργήσει ένα πρόχειρο σχέδιο, χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο link budget, προσομοίωση RF διάδοσης (RF Propagation) αλλά και την εμπειρία του. Για την υποβολή του τελικού σχεδίου, ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί το πρόχειρο σχέδιο (draft design) ως βασικό εργαλείο κατά την αυτοψία στο κτήριο. Έτσι θα μπορεί να τροποποιήσει τα δεδομένα του σχεδίου σύμφωνα με την αυτοψία. Ο σκοπός της αυτοψίας είναι ο εξής:

- Έγκριση της λύσης και των εργασιών από τον ιδιοκτήτη του κτηρίου
- Συλλογή πληροφοριών αναφορικά με τους χώρους εγκατάστασης του εξοπλισμού, προκλήσεις κατά την εγκατάσταση, διαδρομές καλωδίων κ.α.
- Λήψη αναγκαίων φωτογραφιών για την ομάδα εγκατάστασης αλλά και για τον ίδιο τον σχεδιαστή.
- Λήψη φωτογραφιών στην ταράτσα του κτηρίου για οπτική επαφή με άλλους σταθμούς βάσης κοντά στο κτήριο, αν βέβαια γίνει διασύνδεση του BTS μέσω μικροκυματικής ζεύξης.

Κατά την αυτοψία, τα εξής άτομα θα πρέπει να λάβουν μέρος. Συγκεκριμένα:

#### Σχεδιαστής (RF Planner)

- Ο σχεδιαστής είναι και ο διαχειριστής του έργου (project manager)
- Μετά την αυτοψία ο σχεδιαστής θα παρέχει το τελικό σχέδιο έτσι ώστε να εγκριθεί από τον ιδιοκτήτη του κτηρίου και θα χρησιμοποιηθεί από τους εγκαταστάτες.
- Ο σχεδιαστής θα κάνει μετρήσεις από το ήδη υπάρχον δίκτυο που παρέχεται από τους macro σταθμούς βάσης στην περιοχή.
- Ο σχεδιαστής, μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, θα πρέπει να κάνει μετρήσεις μέσα στο κτήριο έτσι ώστε να επαληθεύσει το αρχικό σχέδιο.

#### Εγκαταστάτης (Installer)

- Ο εγκαταστάτης είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση του έργου
- Μετά την εγκατάσταση της λύσης, ο σχεδιαστής θα παρέχει πληροφορίες και έγγραφα για το πως εγκαταστάθηκε ο εξοπλισμός.

#### Επιστάτης (Janitor)

- Ο επιστάτης γνωρίζει όλες τις πληροφορίες και λεπτομέρειες για τις διαδρομές των καλωδίων.
- Ο επιστάτης αλλά και η ομάδα εγκατάστασης θα είναι σε άμεση επαφή για όσον αφορά την εγκατάσταση, αφού ο RF σχεδιαστής δώσει το σχέδιο.

## Ιδιοκτήτης του κτηρίου (Building Owner)

● Ο ιδιοκτήτης του κτηρίου θα εγκρίνει τα σχέδια, τις θέσεις των κεραιών, κ.α, κατά την διάρκεια της αυτοψίας στο κτήριο.

### 5.1.3 Χρονικό υπόβαθρο της DAS λύσης

Μια απλή DAS λύση, συνήθως έχει τα εξής χρονικά παράθυρα. Συγκεκριμένα:

- Το τμήμα πωλήσεων κάνει μια σύσκεψη με τον πελάτη και του παρέχει όλα τα απαραίτητα έγγραφα (χρειάζεται 1 με 2 εβδομάδες)
- Σχεδιασμός ενός πρόχειρου RF σχεδίου από τον σχεδιαστή (χρειάζεται 1 με 2 ημέρες)
- Αυτοψία του κτηρίου (χρειάζεται 2 με 6 ώρες)
- Τελικός σχεδιασμός από τον RF σχεδιαστή (χρειάζεται 1 με 4 ημέρες μετά την αυτοψία)
- Αρχή της εγκατάστασης (χρειάζεται 1 με 2 εβδομάδες μετά την αυτοψία)

## 5.2 Διαδικασία του RF σχεδιασμού

### 5.2.1 Ο ρόλος του RF σχεδιαστή

Με βάση τις πληροφορίες της DAS λύσης που δόθηκε από το τμήμα πωλήσεων, ο σχεδιαστής θα πρέπει να υπολογίσει το link budget και να σχεδιάσει ένα πρόχειρο σχέδιο πριν την αυτοψία του κτηρίου. Έτσι ο σχεδιαστής θα μπορεί να ελέγξει όλες τις θέσεις των κεραιών και να τις προσαρμόσει στο σχέδιο ανάλογα. Σύμφωνα με τα όσα είδε στην αυτοψία, ο σχεδιαστής θα μπορεί να προσαρμόσει την λύση σύμφωνα και με τους περιορισμούς του κτηρίου, έτσι ώστε να σχεδιάσει το τελικό σχέδιο. Κατά την αυτοψία είναι πολύ σημαντικό για τον σχεδιαστή να ελέγξει το τύπο αλλά και το πάχος των τοίχων, αλλά και γενικά να κρατήσει σημειώσεις πάνω στα σχέδια των κατόψεων του κτηρίου.

Ο σχεδιαστής κατά την αυτοψία θα πρέπει να έχει μαζί του και μια ψηφιακή κάμερα. Θα πρέπει να βγάλει πολλές φωτογραφίες και να μαρκάρει την θέση της κάθε φωτογραφίας στο σχέδιο. Αυτό θα τον βοηθήσει πολύ κατά την υποβολή του τελικού σχεδίου. Συνιστάται, ο σχεδιαστής να παίρνει φωτογραφία κάθε θέση της κεραίας του DAS. Επίσης συνιστάται να γίνεται χρήση laser έτσι ώστε να δείχνει την θέση της κεραίας κατά την λήψη της φωτογραφίας. Η κόκκινη κουκίδα θα είναι πολύ καθαρή στην φωτογραφία. Στο σχέδιο κάθε κεραία θα αποτυπώνεται με ένα όνομα (A1, A2, κλπ.). Αυτό βοηθάει τον εγκαταστάτη να εγκαταστήσει τις κεραιές στην σωστή θέση.

### 5.2.2 Εισαγωγή στις RF μετρήσεις

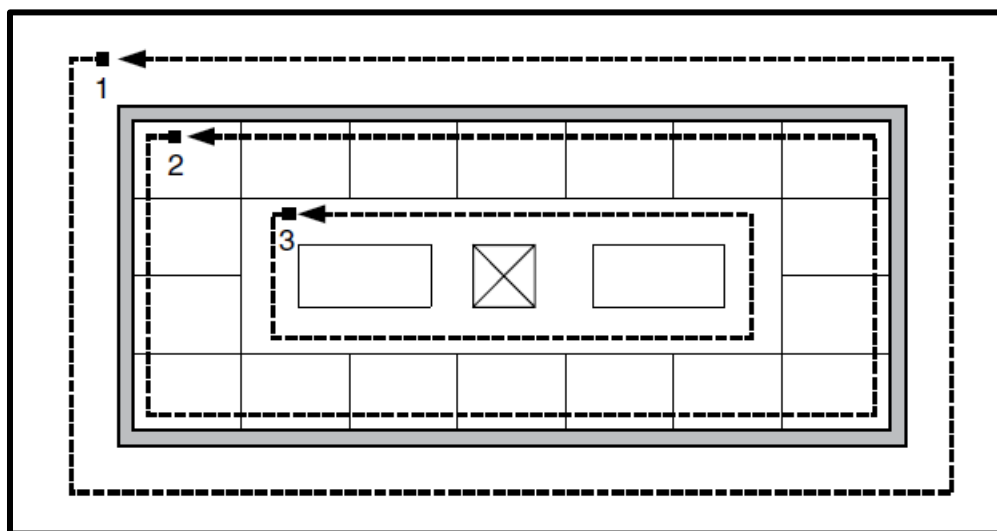
Οι RF μετρήσεις είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο κατά τον σχεδιασμό αλλά και πιστοποίηση των DAS λύσεων. Είναι πολύ σημαντικό, για τον σχεδιαστή, να γνωρίζει την κάλυψη από τους macro σταθμούς βάσης της περιοχής, μέσα αλλά και έξω από το κτήριο έτσι ώστε να παρέχει τις σωστές παραμέτρους στο νέο σύστημα.

Συνιστάται επίσης να γίνεται η αποθήκευση των μετρήσεων στον υπολογιστή, για πιθανή μελλοντική χρήση. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα σύστημα της αρεσκείας του σχεδιαστή όπου του επιτρέπει να δει τις μετρήσεις ανά όροφο και να ξεχωρίζει τις μετρήσεις ανά όροφο. Αυτές οι κατόψεις δείχνουν της στάθμη του σήματος, την ποιότητα αλλά και τις περιοχές των μεταπομπών.

### 5.2.3 Πρωταρχικές μετρήσεις RF

Οι διαδρομές που θα πρέπει να ακολουθήσει ο σχεδιαστής κατά την πραγματοποίηση των πρώτων μετρήσεων, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2. Η πρώτη μέτρηση που θα πρέπει να γίνει είναι η μέτρηση 1 (εικόνα 5.2), προκειμένου να καθοριστεί η στάθμη σήματος αλλά και τα κανάλια που χρησιμοποιούνται από τους εξωτερικούς macro σταθμούς βάσης. Είναι πολύ σημαντικό έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι ζώνες των μεταπομπών.

Η μέτρηση 1 (εικόνα 5.2) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των απωλειών διείσδυσης μέσα στο κτήριο. Έτσι όταν θα συγκριθούν αυτές οι μετρήσεις με τις μετρήσεις 2 και 3 (εικόνα 5.2), θα είναι εύκολο να γνωρίζει ο σχεδιαστής την απομόνωση μέσα στο κτήριο. Όπως αναφέρθηκε, αυτό είναι πολύ σημαντικό σε μια DAS λύση. Οι μετρήσεις 2 και 3 (εικόνα 5.2) χρησιμοποιούνται για να δούμε την υφιστάμενη στάθμη του σήματος μέσα στο κτήριο και όχι στις άκρες, όπως στην μέτρηση 1. Είναι πολύ σημαντικό αυτές οι μετρήσεις να γίνονται πριν από τον σχεδιασμό αλλά και εγκατάστασης της λύσης προκειμένου να γίνει μια σωστή και αξιόπιστη σχεδίαση του DAS.



Εικόνα 5.2: Πρωταρχικές RF μετρήσεις και διαδρομές

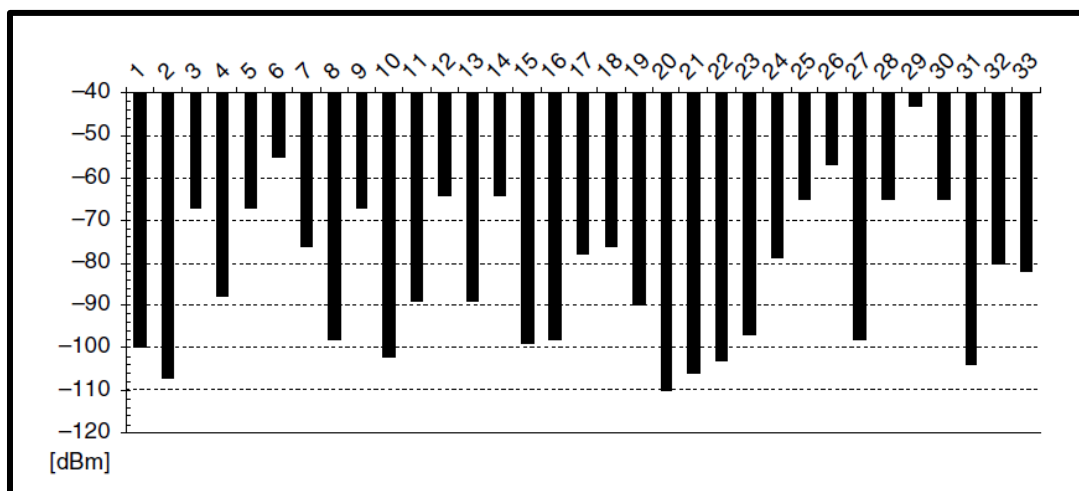
Χρησιμοποιώντας της μετρήσεις 1,2 και 3, όπως περιγράφηκαν, τότε ο σχεδιαστής μπορεί εύκολα να μετρήσει την απομόνωση μέσα στο κτήριο και τροποποιήσει το σχέδιο του ανάλογα. Τυπικά θα χρειαστεί να κάνει, τουλάχιστον, την μέτρηση 2 στο ισόγειο, στον μεσαίο όροφο αλλά και στον τελευταίο όροφο. Σε πολύ μεγάλα κτήρια, συνιστάται η επανάληψη των μετρήσεων κάθε πέντε ορόφους.

#### 5.2.4 Μετρήσεις του υπάρχοντος macro δικτύου

Οι μετρήσεις της υπάρχουσας κάλυψης, οι απώλειες διείσδυσης αλλά και οι μετρήσεις επαλήθευσης της ορθής λειτουργίας του DAS αποτελούν ένα κρίσιμο στοιχείο κατά τον σχεδιασμό. Αυτές οι μετρήσεις παρέχουν στο σχεδιαστή πολύτιμες πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό αλλά και την βελτιστοποίηση της DAS λύσης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μετρήσεων που πρέπει να γίνουν.

**Σάρωση καναλιών (Channel Scan):** Θα πρέπει πάντα να γίνονται σαρώσεις των καναλιών στους ίδιους ορόφους όπως γίνεται και για την μέτρηση 2 (εικόνα 5.2). Συνιστάται να γίνεται κοντά στα παράθυρα (αν γίνεται να είναι και ανοιχτά), σε κάθε πλευρά του κτηρίου. Αυτή η σάρωση μπορεί να γίνει από ειδικό λογισμικό που διαθέτουν τα κινητά. Τυπικά ο χρήστης ορίζει την αρχή και το τέλος των καναλιών που θα σαρωθούν. Έτσι η κινητή συσκευή θα σαρώσει και θα μετρήσει όλα τα κανάλια στο επιλεγμένο εύρος. Ας εξεταστεί ένα παράδειγμα για σάρωση καναλιών στο 2G δίκτυο.

Στην εικόνα 5.3, η κινητή συσκευή έχει προγραμματιστεί στο να σαρώσει τα κανάλια 1 έως 33. Αυτά τα κανάλια τα χρησιμοποιεί ένας πάροχος. Μάλιστα το κανάλι 33 είναι το πρώτο κανάλι άλλου παρόχου. Από τις μετρήσεις φαίνεται πως το κανάλι 29 με λήψη  $-43\text{dBm}$ , το κανάλι 6 με λήψη  $-53\text{dBm}$  αλλά και το κανάλι 26 λήψη  $-58\text{dBm}$  είναι τα πιο ισχυρά στην συγκεκριμένη περιοχή. Πιθανόν να ανήκουν σε macro σταθμούς βάσης στην ευρύτερη περιοχή. Δεν γίνεται να κάνουμε απομόνωση σε αυτά τα ισχυρά κανάλια. Επομένως θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν έτσι ώστε να γίνει η μέγιστη βελτιστοποίηση όταν θα οριστούν τα γειτονικά κανάλια του DAS για την διεργασία της μεταπομπής.

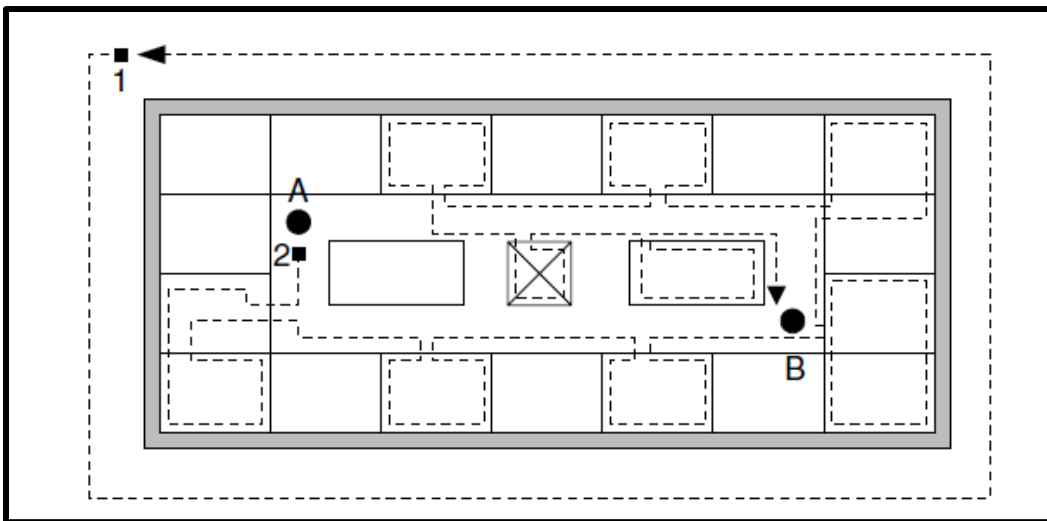


Εικόνα 5.3: Παράδειγμα σάρωσης 2G καναλιών

Η σάρωση καναλιών βοηθάει και στην επιλογή των καταλληλότερων καναλιών για το DAS. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η ορθή επιλογή θα ήταν για τα κανάλια 2, 20 και 31, αυτά με τις χειρότερες λήψεις. Ωστόσο θα πρέπει να δοθεί προσοχή, καθώς τα κανάλια αυτά μπορεί για την ώρα να μην έχουν υψηλή κίνηση. Όσον αφορά το 3G και το 4G, ο σχεδιαστής απλώς θα σαρώσει για να δει την ισχύ από τους κοκτινούς σταθμούς βάσης.

### 5.2.5 Μετρήσεις RF κατά την διάρκεια της αυτοψίας

Μια τυπική θέση μέτρησης αποτυπώνεται στην εικόνα 5.4. Σε αυτό το παράδειγμα, οι δυο προτεινόμενες θέσεις των κεραιών A και B επαληθεύονται στο σχέδιο. Χρησιμοποιούνται οι διάδρομοι έτσι ώστε οι κεραιές να διανέμουν το σήμα κατά μήκος του ορόφου και να προσεγγίσουν τους χρήστες στα γραφεία. Καθώς και οι δύο κεραιές έχουν τοποθετηθεί στον ίδιο τύπο περιβάλλοντος, συμμετρικά, τότε ο σχεδιαστής μπορεί να κάνει επαλήθευση της μέτρησης μόνο στην μια από τις δύο κεραιές.



Εικόνα 5.4: Τυπική διαδρομή για μετρήσεις RF κατά την διάρκεια της αυτοψίας

Στο παράδειγμα στην εικόνα 5.4 χρειάζεται να επαληθευτεί η τοποθεσία της κεραιάς A. Για να γίνει αυτό τότε θα πρέπει να τοποθετήσουμε μια πηγή σήματος, συγκεκριμένη θέση. Αυτή η πηγή σήματος θα είναι μια δοκιμαστική κεραία. Η δοκιμαστική κεραία θα πρέπει, κατά προτίμηση, να είναι ίδιου τύπου με την αυτήν που θα εγκατασταθεί και να μεταδίδει με την ίδια ισχύ. Είναι πολύ σημαντικό η δοκιμαστική κεραία να τοποθετηθεί όσον τον δυνατόν πιο κοντά στην προβλεπόμενη θέση εγκατάστασης. Αν είναι εφικτό να τοποθετηθεί στην οροφή ή τουλάχιστον όσο πιο κοντά.

Κανονικά οι μετρήσεις δεν θα πρέπει να πραγματοποιούνται κοντά στις δοκιμαστικές κεραιές. Ένας βασικός λόγος είναι πως ο σχεδιαστής αν κάνει την μέτρηση κοντά στην δοκιμαστική κεραία, μόνο η περιοχή κάλυψης περίπου 5 με 10 μέτρα από την κεραία θα είναι καλή. Ακόμα αν η μέτρηση γίνει κοντά στην κεραία τότε μπορεί να εμφανιστεί το πρόβλημα του κορεσμού (saturation) και αυτό να αλλοιώσει τις μετρήσεις.

## 5.3 Σχεδιασμός της Βέλτιστης DAS λύσης

### 5.3.1 Εισαγωγή

Η βέλτιστη DAS λύση υπάρχει μόνο στην θεωρία. Στην πραγματικότητα όλες οι εφαρμοσμένες λύσεις DAS έχουν κατά κάποιο τρόπο συμβιβαστεί με τις ιδιαιτερότητες του κάθε έργου. Είναι μια από τις κύριες αρμοδιότητες του σχεδιαστή αλλά και της ομάδας που θα κάνει την εγκατάσταση να κάνουν έναν συμβιβασμό μεταξύ των σχεδιαστικών στόχων αλλά και τις εγκατάστασης του συστήματος.

### 5.3.2 Βασικά σημεία βέλτιστου σχεδιασμού DAS

**Πραγματικότητα:** Τα συστήματα εσωτερικής κάλυψης είναι συχνά πολύ περίπλοκα και οι ραδιοηλεκτρικές (2G, 3G, 4G) που λειτουργούν μέσα σε αυτά γίνονται όλο και πιο προηγμένες με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Ωστόσο ο σχεδιαστής δεν θα πρέπει να ξεχάσει να εστιάσει στα απλά ζητήματα. Αυτά τα απλά πράγματα τείνουν να υποτιμούνται, αλλά μπορεί να έχουν ένα πολύ σημαντικό αντίκτυπο στο σύστημα. Ο σχεδιασμός δικτύων εσωτερικής κάλυψης εξακολουθεί να είναι ένας RF σχεδιασμός, ίδιος με τον σχεδιασμό των macro κυψελών. Επίσης πρέπει να εκτιμάται η σημασία της τεχνικής και εξειδίκευσης που απαιτείται για την εγκατάσταση των συστημάτων DAS ώστε να λειτουργούν όπως έχουν προγραμματιστεί να λειτουργούν σε βάθος χρόνου.

**Χρήση εμφανών κεραιών:** Συχνά, δίνεται εντολή στον σχεδιαστή να κρύψει τις κεραιές του DAS μέσα σε ψευδοροφές ή να γίνει χρήση καμουφλάζ. Αυτό θα πρέπει να αποφευχθεί από κάθε σχεδιαστή όπως και την παροχή εγγύησης για την καλή λειτουργία του συστήματος, εάν ο σχεδιαστής αναγκαστεί να αποδεχθεί την λύση των κρυφών κεραιών. Ο κύριος λόγος είναι το επακόλουθο απρόβλεπτο. Κανείς δεν γνωρίζει τι μπορεί να κρύβεται πάνω από την ψευδοροφή. Μπορεί να υπάρχουν ψεκασθήρες νερού σε περίπτωση πυρκαγιάς, αγωγοί εξαερισμού, συστήματα θέρμανσης, ηλεκτρικές καλωδιώσεις κ.α. Ακόμα δεν είναι δυνατόν να υπάρχει πρόσβαση στις κεραιές μετά το πέρας των εργασιών σε περίπτωση βλάβης.

**Χρήση εξαρτημάτων με πιστοποίηση:** Είναι φυσικό να γίνεται ιδιαίτερη εστίαση στα σύνθετα εξαρτήματα που απαρτίζουν το DAS σύστημα, στον σταθμό βάσης, στον επαναλήπτη, στο ενεργό σύστημα κλπ. Ωστόσο η ποιότητα των απλούστερων παθητικών εξαρτημάτων όπως οι combiners, tappers, splitters, connectors κ.α. έχουν ένα πολύ μεγάλο σχεδιαστικό αντίκτυπο στην απόδοση του συστήματος εάν αυτά τα στοιχεία δεν αποδίδουν στις προβλεπόμενες προδιαγραφές.

**Χρήση κεραιών υψηλής ποιότητας:** Ένα βασικό παράδειγμα που δείχνει πόσο σημαντική είναι η απόδοση των παθητικών εξαρτημάτων αποτελεί η τυπική ομοιοκατεθυντική (omni) κεραία. Αυτή η κεραία χρησιμοποιείται στο 99% των εγκαταστάσεων και επομένως διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση όλων των δικτύων εσωτερικής κάλυψης στο δίκτυο. Αυτή η απλή κεραία μπορεί να ληφθεί από πολλούς κατασκευαστές. Μπορεί αυτές οι κεραιές εμφανισιακά να είναι πανομοιότυπες, ωστόσο αν συγκριθούν τα χαρακτηριστικά τους τότε θα παρατηρηθούν οι διαφορές τους.



**Χρήση εκπαιδευμένων εγκαταστατών:** Συχνά υποτιμάται η γνώση αλλά και η τεχνική που θα πρέπει να διαθέτουν οι εγκαταστάτες των DAS λύσεων. Πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο εκπαιδευμένοι εγκαταστάτες, εφοδιασμένοι με όλες τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις για εργασία με RF εξαρτήματα αλλά και ομοαξονικά καλώδια. Υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στην εγκατάσταση ενός κονέκτορα τροφοδοσίας με την εγκατάσταση ενός RF κονέκτορα για ομοαξονικό καλώδιο. Μάλιστα η χρήση συγκεκριμένης δύναμης (ροπής) κατά την σύσφιξη του RF κονέκτορα είναι πολύ σημαντική. Πρέπει λοιπόν στην κάθε εγκατάσταση να γίνεται χρήση από ειδικευμένους αλλά και πιστοποιημένους εγκαταστάτες για να γίνει μια εγκατάσταση υψηλής ποιότητας. Ακόμα, όλες οι ομάδες εγκατάστασης θα πρέπει να διαθέτουν όλα τα σωστά εργαλεία και όχι να μοιράζονται ένα σετ εργαλείων. Αυτό μπορεί να δείχνει προφανές αλλά όταν στο ίδιο κτήριο υπάρχουν 6-7 ομάδες να εργάζονται παράλληλα τότε η κάθε ομάδα θα χρειαστεί τα δικά της σωστά εργαλεία. Η απόσβεση της επένδυσης του εγκαταστάτη θα αποδώσει μακροπρόθεσμα. Μπορεί να είναι μια δαπανηρή επένδυση, αλλά χρειάζεται για να γίνει σωστά η εγκατάσταση.

### 5.3.3 Συχνά λάθη κατά τον σχεδιασμό DAS

**Έμφαση στην κατερχόμενη ζεύξη:** Είναι πολύ γνωστό πως τα συστήματα 2G είναι ως επί το πλείστον περιορισμένα στην κατερχόμενη ζεύξη. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος της εστίασης από τον σχεδιαστή γίνεται στην κατερχόμενη ζεύξη. Ωστόσο δεν θα πρέπει να παραλείπετε και η ανερχόμενη ζεύξη, ειδικά στα συστήματα 3G και 4G, ανάλογα με την τηλεπικοινωνιακή κίνηση στην κάθε κυψέλη.

**Κατανόηση της ενδοδιαμόρφωσης:** Δεν θα πρέπει να υποτιμάται η πιθανή ενδοδιαμόρφωση (Passive Intermodulation, PIM) αλλά και τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει, ειδικά σε ένα DAS που εκπέμπουν περισσότεροι από ένας τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι. Μάλιστα τα DAS συστήματα με χρήση μεγάλης ισχύς, άρα και εκπομπής πολλών καναλιών, η ισχύς των καλωδίων τροφοδοσίας αλλά τα παθητικά εξαρτήματα αποτελούν μια μεγάλη επίδραση για το φαινόμενο της ενδοδιαμόρφωσης, η οποία και δεν είναι επιθυμητή.

**Απώλειες ομοαξονικών καλωδίων:** Μερικά πολύ καλώς σχεδιασμένα συστήματα εσωτερικής κάλυψης έχουν καταστραφεί από την εγκατάσταση λόγω της υποτίμησης του μήκους διατομής των ομοαξονικών καλωδίων με την εισαγωγή απωλειών. Οι παθητικές απώλειες των εξαρτημάτων του DAS έχουν πολύ μεγάλο αντίκτυπο στην καλή απόδοση της ανερχόμενης αλλά και κατερχόμενης ζεύξης. Συνιστάται λοιπόν να χρησιμοποιείται ένα περιθώριο ασφαλείας για τις απώλειες των ομοαξονικών καλωδίων, με την πρόσθεση 10% στο μήκος των καλωδίων, μεμονωμένα. Το πρόβλημα αυτό μεγαλώνει, καθώς οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες ολοένα και αυξάνονται.

**Υποτίμηση του συνολικού κόστους:** Το κόστος εγκατάστασης ενός DAS είναι πολύ σημαντικό και κρίσιμο θέμα. Είναι συνήθως το μεγαλύτερο κόστος για όλο το έργο, ειδικά για την εγκατάσταση των παθητικών DAS με τα βαριά άκαμπτα καλώδια, τα οποία και απαιτούν μια χρονοβόρα και απαιτητική εργασία. Για να γίνει η εκτίμηση του κόστους του DAS κατά τον σχεδιασμό των παθητικών DAS, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η γνώση των προκλήσεων της εγκατάστασης αλλά και οι διαδρομές των καλωδίων. Εάν δεν υπάρχουν αυτές οι πληροφορίες τότε είναι αδύνατο να εκτιμηθεί το κόστος του έργου. Δεν είναι λίγες οι φορές που παθητικά DAS κόστισαν πάνω από το αρχικό κόστος όταν εφαρμόστηκαν. Αυτό οφείλεται συνήθως στην έλλειψη των γνώσεων σχετικά με τις προκλήσεις εγκατάστασης των άκαμπτων

ομοαξονικών καλωδίων. Άλλα συνήθη απρόβλεπτα έξοδα εγκατάστασης είναι διάφορες οικοδομικές εργασίες που θα πρέπει να γίνουν εκ νέου στο κτήριο όπως πυροφραγές κ.α. Ένα ακόμα βασικό λάθος που γίνεται είναι η μη συμπερίληψη όλων των δαπανών του DAS. Συγκεκριμένα ένα DAS έχει τα εξής κόστη που πρέπει να ληφθούν υπόψιν:

- Κόστος DAS
- Κόστος εγκατάστασης
- Κόστος συντήρησης
- Κόστος λειτουργίας
- Κόστος αναβάθμισης για μελλοντικές τεχνολογίες και συχνότητες
- Κόστος σχεδιασμού
- Κόστος backhaul (οπτικός πολυπλέκτης, σταθερή γραμμή τηλεφώνου ή μικροκυματική ζεύξη)

## **5.4 Συστήματα DAS Πολλαπλών Παρόχων (Multioperator Systems)**

### **5.4.1 Εισαγωγή στα συστήματα πολλαπλών παρόχων**

Δεν είναι λίγες οι φορές που υπάρχει η ανάγκη για συστήματα εσωτερικής κάλυψης που να μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερους από έναν πάροχο. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται συστήματα πολλαπλών παρόχων (Multioperator systems). Τέτοια συστήματα συνήθως εγκαθίστανται σε μεγάλα δημόσια κτήρια, αεροδρόμια, χώρους για δεξιώσεις ή συνέδρια, σύρραγες κ.α, όπου υπάρχει η ανάγκη για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με μεγάλη χωρητικότητα στο ίδιο DAS για υπηρεσίες 2G, 3G και 4G.

Από οικονομικής άποψης, οι πάροχοι μπορούν και γλιτώνουν μεγάλο μέρος από το συνολικό κόστος καθώς θα μοιραστούν το κόστος. Από την πλευρά του ιδιοκτήτη του χώρου, ένα τέτοιο σύστημα μπορεί και τον συμφέρει σε μεγάλο βαθμό καθώς δεν θα γίνουν οι εργασίες περισσότερες από μια φορές και θα έχει μόνο ένα DAS στον χώρο του. Έτσι θα έχει ένα σετ με κεραίες, ένα πρότζεκτ να ελέγξει και ένα χώρο για τα μηχανήματα.

Για να μπορούν να διασυνδεθούν περισσότεροι από έναν πάροχο στο ίδιο DAS, θα πρέπει να ενωθούν μερικοί σταθμοί βάσης, επαναλήπτες αλλά και συχνότητες στο ίδιο σύστημα. Ο συνδυασμός διαφορετικών παρόχων και συχνοτήτων στο ίδιο DAS δεν είναι ένα ασήμαντο ζήτημα. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε πολλά πιθανά ζητήματα και προβλήματα που ενδέχεται να υποβαθμίσουν την ποιότητα των υπηρεσιών του DAS.

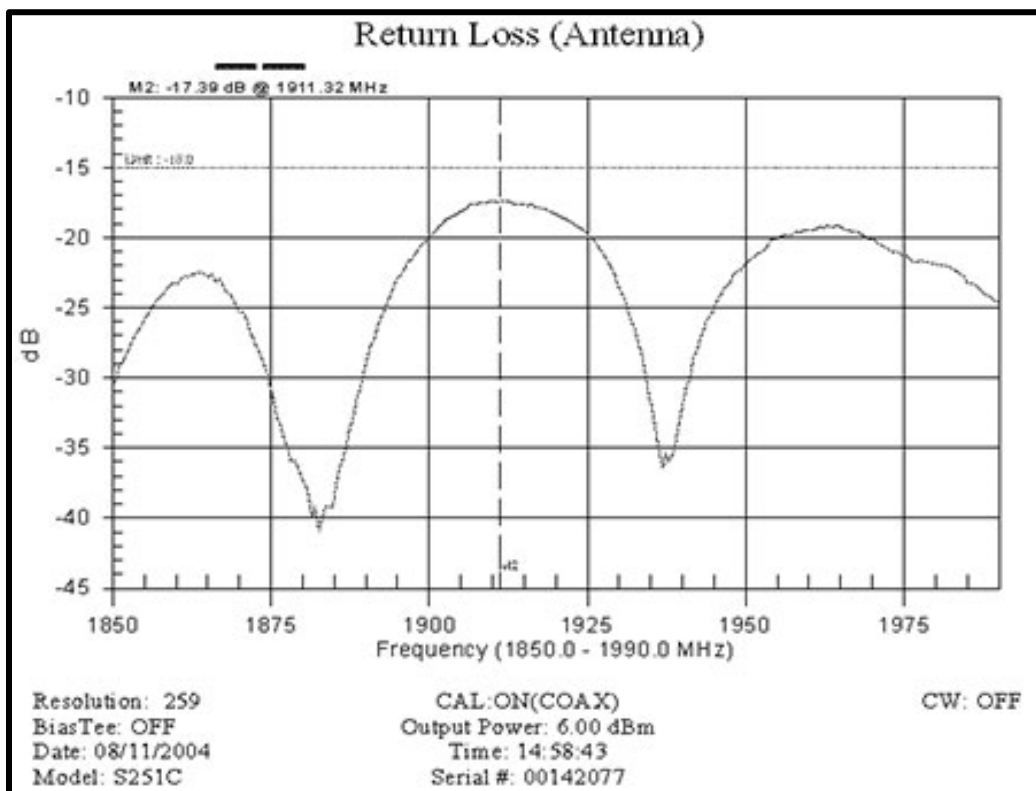
Τα ενεργά DAS διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό τέτοιου είδους συστήματα. Αυτό συμβαίνει καθώς η ανερχόμενη και η κατερχόμενη ζεύξη διαχωρίζονται από την κύρια μονάδα όπως επίσης και λόγω της μικρής ισχύος που απαιτείται στην είσοδο (λιγότερο από 10dBm). Ωστόσο αυτές οι ευκολίες δεν υπάρχουν στα παθητικά DAS και έτσι ο συνδυασμός πολλών παρόχων γίνεται ένα πρόβλημα. Πρέπει οι σχεδιαστές να είναι πολύ προσεκτικοί όταν χρησιμοποιούν πολλές συχνότητες και κανάλια στο ίδιο σύστημα καθώς ενδέχεται να δημιουργηθούν διάφορα προβλήματα.

#### 5.4.2 Σημαντικές RF παράμετροι στα συστήματα πολλαπλών πάροχων

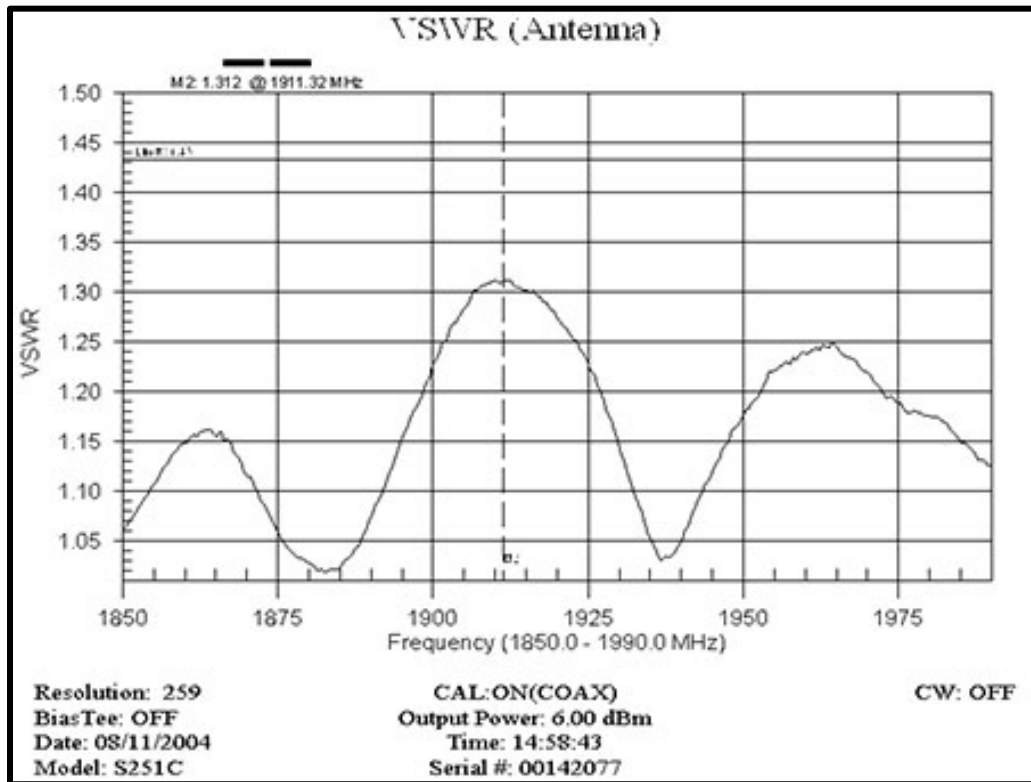
Υπάρχουν κάποιες βασικές και πολύ σημαντικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν από τους σχεδιαστές όταν σχεδιάζουν DAS με πολλαπλούς πάροχους. Συγκεκριμένα:

**Απομόνωση TX και RX:** Τα σήματα TX και RX από τον κάθε ξεχωριστό σταθμό βάσης θα πρέπει να διαχωρίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κάθε κατασκευαστή. Όταν γίνεται χρήση συνδυασμού του TX και RX στους σταθμούς βάσης, τότε τυπικά δεν θα υπάρχει κάποιο πρόβλημα λόγω του φίλτρου που εσωτερικά διαθέτουν οι RRU και διαχωρίζουν την ανερχόμενη από την κατερχόμενη ζεύξη. Ωστόσο ο σχεδιαστής θα πρέπει να διαβεβαιωθεί πως το σήμα στην κατερχόμενη ζεύξη δεν θα φτάσει αλλά και ενοχλήσει τους υπολοίπους σταθμούς βάσης του DAS.

**Επιστρεφόμενες απώλειες (Return Loss):** Αφορά την αντίστροφη ισχύ, την ανακλώμενη ισχύ από του συστήματος DAS προς τον σταθμό βάσης. Για να μην προκληθεί κάποια σηματοδοσία για στάσιμα στον σταθμό βάσης (VSWR), θα πρέπει να διατηρηθεί η ανακλώμενη ισχύς κάτω από το όριο που θα σηματοδοτηθεί το στάσιμο.



Εικόνα 5.5: Μέτρηση επιστρεφόμενων απωλειών (return loss) με όργανο.



Εικόνα 5.6: Μέτρηση στάσιμων (VSWR) με όργανο.

**Απομόνωση μεταξύ συχνοτήτων (Inter-Band Isolation):** Αφορά την απομόνωση μεταξύ των τεχνολογιών 2G, 3G και 4G. Για να μην ευαισθητοποιηθεί το δέκτης στον σταθμό βάσης είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν μερικά όρια μεταξύ των διαφορετικών συχνοτήτων. Η ακριβής αυτή τιμή εξαρτάται από τον ευρωπαϊκό οργανισμό τηλεπικοινωνιακών προτύπων (ETSI). Μια τυπική τιμή για την καλή απομόνωση μεταξύ των διαφορετικών συχνοτήτων είναι να είναι καλύτερη από 50 dB.

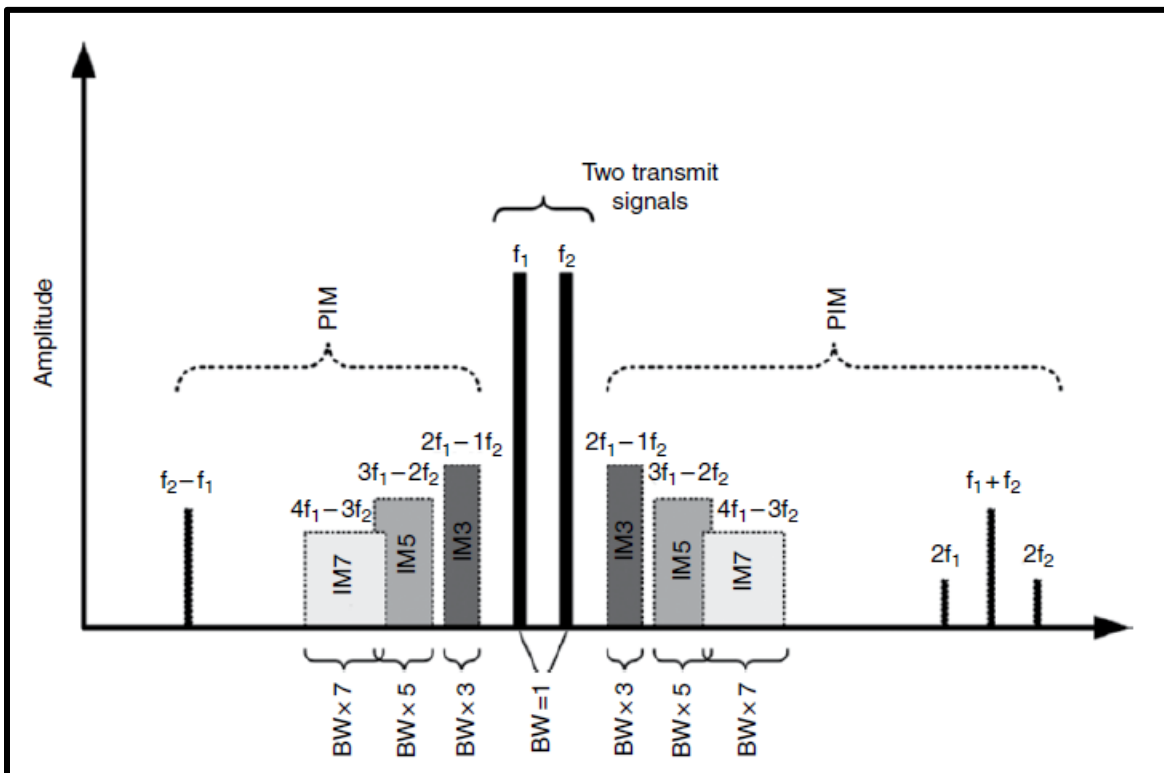
**Παθητική ενδοδιαμόρφωση (Passive Inter-modulation, PIM):** Το PIM είναι ένα από τα μεγαλύτερα αλλά και πιο πιθανά προβλήματα που θα αντιμετωπίσει ένα DAS σύστημα. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει επιλογή ενός συστήματος που να έχει πολύ μικρό PIM (-155 dBc στα 2x 20W). Το PIM είναι η μεγαλύτερη ανησυχία στα συστήματα DAS με πολλούς πάροχους, ειδικά όταν ενώνονται φέρουσες με μεγάλη ισχύ (τυπική τιμή τους: 20W/43 dBm). Η πυκνότητα ισχύος των διαφόρων πάροχων που λειτουργούν στο ίδιο DAS είναι γενικά πολύ μεγάλη.

Η πηγή του PIM είναι συνήθως η μη-γραμμικότητα και παράγεται όταν δυο διαφορετικά σήματα ενώνονται και παράγουν ανεπιθύμητα προϊόντα αρμονικών σημάτων (intermodulation products, IMD). Αυτό οφείλεται κυρίως στην μη-γραμμικότητα των παθητικών εξαρτημάτων του DAS. Συνήθως το PIM προκαλείται από την σύνδεση – μίξη δύο διαφορετικών ανόμοιων υλικών μέσα στο παθητικό εξάρτημα. Ένα καλό παράδειγμα αποτελεί το αλουμίνιο, που ενώνεται με καλώδιο (πολύ κακός συνδυασμός) μέσα στο παθητικό εξάρτημα. Αρχικά θα υπάρχει μια πολύ καλή σύνδεση μεταξύ αυτών των δυο υλικών αλλά

με την πάροδο του χρόνου η γαλβανική διόρθωση θα προκαλέσει ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως η μη-γραμμικότητα και πιθανόν την δημιουργία προϊόντων IMD, άρα PIM.

Στα συστήματα 4G, στην 64QAM διαμόρφωση, η μη εμφάνιση PIM είναι μια πρόκληση. Αυτό οφείλεται στα πολλά υπό-φέροντα κανάλια αλλά και στο πολύ απαιτητικό RF σήμα που θα “χειρίζεται” την υψηλή ισχύ σε κάθε τύπο παθητικού εξαρτήματος του DAS. Ως εκ τούτου υπάρχει ανάγκη για υψηλή γραμμικότητα σε όλη την διαδρομή του σήματος για την διατήρηση της καλής απόδοσης στο μέγιστο δυνατό.

Στην εικόνα 5.7 παρουσιάζονται τα προϊόντα PIM. Παρατηρείτε πως το εύρος ζώνης του παραγόμενου σήματος PIM αυξάνεται με της υψηλότερης τάξης ανεπιθύμητου PIM προϊόντος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα, ειδικά στα φέροντα ευρείας ζώνης (wideband carriers) όπως το φάσμα των 5 MHz στα 3G συστήματα. Το PIM μπορεί επίσης να απευαισθητοποιήσει ένα ολόκληρο τμήμα του φάσματος. Είναι πολύ σημαντικό και αξίζει να σημειωθεί πως το φαινόμενο PIM είναι πολύ υποτιμημένο και αν ποτέ κάποιος σχεδιαστής ή εγκαταστάτης κληθεί να το αντιμετωπίσει τότε θα πρέπει να γνωρίζει τουλάχιστον τα βασικά. Προφανώς η καλύτερη λύση είναι η αποφυγή του προβλήματος από την αρχή. Ωστόσο αν το PIM εμφανιστεί μέσα σε ένα σύστημα, τότε σε καμία περίπτωση δεν θα εξαλειφθεί το πρόβλημα με φίλτρα. Η μόνη λύση είναι η διόρθωση της πηγής του προβλήματος όπως το εξάρτημα ή τα εξαρτήματα που προκάλεσαν το PIM



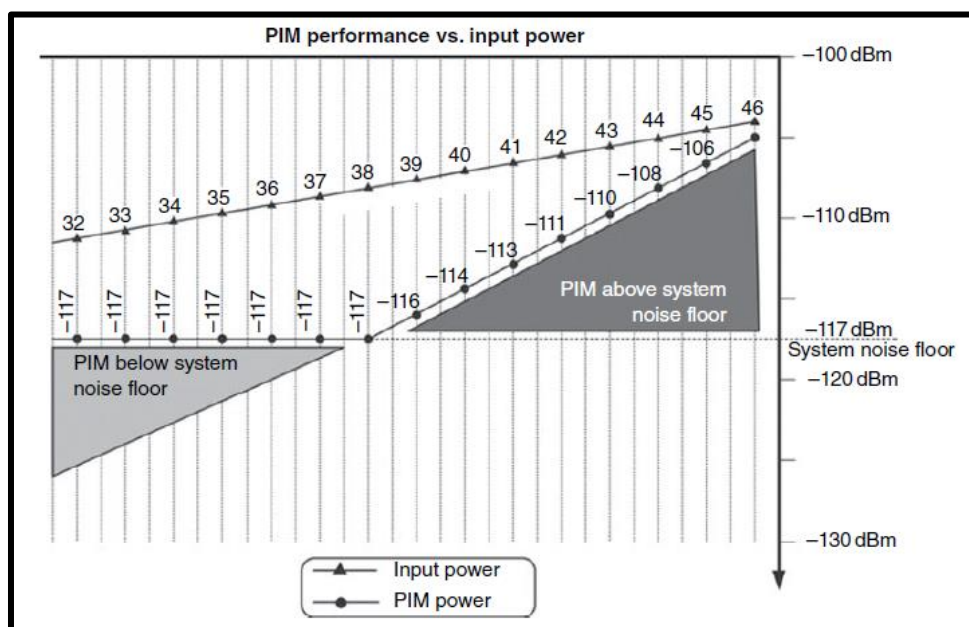
**Εικόνα 5.7:** Ισχύς PIM συναρτήσεως των δύο εκπεμπόμενων σημάτων  $f_1$  και  $f_2$ . Πρέπει να δοθεί προσοχή και στο εύρος ζώνης που καταλαμβάνουν τα προϊόντα PIM.

### 5.4.3 Ανάλυση φαινομένου PIM

Πολλές φορές ακόμα και τα πιο απλά παθητικά εξαρτήματα που απαρτίζουν το DAS μπορεί να είναι η πηγή του PIM. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το PIM είναι πολύ δύσκολο στο να βρεθεί αλλά και να διορθωθεί. Το PIM είναι μια μεγάλη ανησυχία, ειδικά στα σημεία κοντά στον σταθμό βάσης του DAS όπου υπάρχουν και οι υψηλές ισχύς. Αυτό περιλαμβάνει τα RF εξαρτήματα όπως οι διεπαφές, οι κονεκτορες, οι RRU, οι εξασθενητές, τα ομοαξονικά καλώδια κ.α. Το πρόβλημα του PIM δεν θα πρέπει να αγνοηθεί και είναι μεγάλη ανησυχία για τα συστήματα με πολλές συχνότητες. Η επίπτωση του PIM στο DAS σύστημα θα έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των υπηρεσιών, χαμηλές ταχύτητες ροής δεδομένων, διακοπές κλήσεων αλλά και άλλες γενικότερες υποβαθμίσεις στις υπηρεσίες.

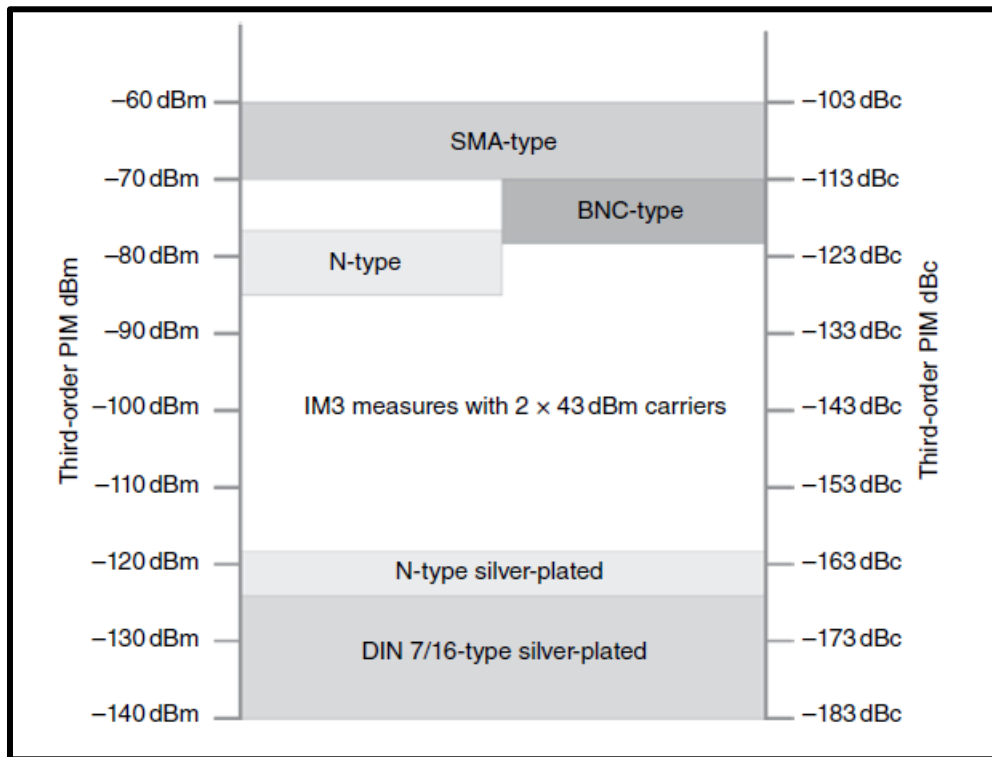
Συνήθως το φαινόμενο του PIM εμφανίζεται σε ώρες όπου το σύστημα έχει μεγάλο φόρτο από χρήστες. Αν το PIM είναι πολύ κακό τότε αυτό μπορεί να μεταφραστεί σε διακοπές κλήσεων λόγω των προβλημάτων ποιότητας που αντιμετωπίζει το DAS. Βέβαια, από την άλλη πλευρά, το PIM μπορεί να ελαττωθεί όταν χρησιμοποιούν το DAS λιγότεροι χρήστες, καθώς η εκπεμπόμενη ισχύς μειώνεται. Όταν όμως οι χρήστες αρχίσουν να αυξάνονται τότε το πρόβλημα θα εμφανιστεί ξανά. Άρα θα δημιουργείται αυτός ο κύκλος. Αυτό είναι μη αποδεκτό, καθώς θέλουμε το DAS να λειτουργεί τέλεια κάθε χρονική στιγμή. Τα υψηλής ποιότητας (χαμηλά σε PIM) εξαρτήματα έχουν και μεγάλο κόστος, αλλά αξίζει να γίνει αυτή η επένδυση έτσι ώστε να εξασφαλιστεί και ομαλή και καλή λειτουργία του DAS. Για την καλή ανάλυση του φαινομένου του PIM θα πρέπει να δούμε μεμονωμένα κάποιες παράμετρους. Συγκεκριμένα:

**Ισχύς PIM:** Η ισχύς του PIM είναι σχετική με την RF ισχύ που μεταφέρεται μέσα στο σύστημα. Μπορούμε να δούμε στην εικόνα 5.8 την βασική αρχή και είναι προφανές πως τα σήματα που παράγονται είναι μη-γραμμικά. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το φαινόμενο του PIM ξεκινάει να εμφανίζεται όταν ισχύς στην είσοδο ξεπερνάει τα 38 dBm.



Εικόνα 5.8: Ισχύς PIM συναρτήσει της ισχύς στην είσοδο του συστήματος.

**Κονέκτορες (Connectors):** Ο κονέκτορας είναι ένα πολύ κλασσικό εξάρτημα στα DAS συστήματα. Στην εικόνα 5.9 μπορούμε να δούμε τις τυπικές αποδόσεις διαφόρων κονεκτόρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα εσωτερικής κάλυψης. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιούσαμε έναν N-Type κονέκτορα τότε θα είχαμε PIM -120 dBc. Αν όμως χρησιμοποιούσαμε ένα N-Type κονέκτορα με χαμηλό PIM (N-Type silver plated) τότε θα είχαμε PIM -165 dBc. Αν από τον πρώτο τύπο κονέκτορα διερχόταν ένα σήμα ισχύος -30dBm τότε το σήμα ενδοδιαμόρφωσης θα είχε ισχύ -90dBm (-30dBm – 120dB). Αν όμως στον δεύτερο τύπο κονέκτορα διερχόταν ένα σήμα ισχύος -30dBm τότε το σήμα ενδοδιαμόρφωσης θα είχε ισχύ -135dBm (-30dBm – 165dB). Ο δεύτερος τύπος κονέκτορα έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος. Ωστόσο η τιμή και η απόδοση του συστήματος έχουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους.



**Εικόνα 5.9:** Απόδοση PIM των κονεκτόρων συναρτήσει ισχύος των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης.

Είναι προφανές πως οι κονέκτορες θα πρέπει να εγκαθίστανται σύμφωνα με τις οδηγίες του εκάστοτε κατασκευαστή. Πάντα θα πρέπει να γίνεται η ένωση του σωστού κονέκτορα με το σωστό καλώδιο, όπως ορίζει το σχέδιο του σχεδιαστή. Ακόμα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας μόνο τα σωστά εργαλεία και καθαρίζοντας και εγκαθιστώντας σωστά όλους τους κονέκτορες. Συνιστάται ο καθαρισμός των κονεκτόρων με αλκοόλ αλλά και με συμπιεσμένο αέρα και στην συνέχεια να σφικτούν χρησιμοποιώντας την σωστή ροπή. Όχι περισσότερο αλλά και όχι λιγότερο.

#### 5.4.4 Εξάλειψη φαινομένου PIM

Η παθητική ενδοδιαμόρφωση προκύπτει όταν δύο ή περισσότερα σήματα είναι παρόντα μέσα σε ένα παθητικό εξάρτημα (καλώδιο, κονέκτορας, κεραία κ.α.) και αυτό το εξάρτημα εμφανίζει μια μη γραμμική απόκριση. Αυτή η μη-γραμμικότητα τυπικά εμφανίζεται λόγω των ανόμοιων υλικών, βρωμιάς στις διασυνδέσεις κ.α. Οι λάθος διασυνδέσεις είναι μια ακόμα πηγή του PIM, και συχνά αυτό το πρόβλημα δεν εμφανίζεται στις χαμηλές ισχύς εκπομπής από τον σταθμό βάσης, αλλά αυξάνεται δραματικά με την αύξηση της ισχύς από το BTS. Προφανώς πρέπει να γίνει επιλογή εξαρτημάτων με χαμηλό PIM αλλά επίσης να δοθεί προσοχή στα εξής:

**Σύσφιξη των κονεκτόρων:** Η σύσφιξη των κονεκτόρων θα κάνει την διαφορά μεταξύ μιας καλής και μιας κακής απόδοσης του PIM. Βέβαια η σύσφιξη θα πρέπει να με συγκεκριμένη ροπή την οποία και ορίζει ο κατασκευαστής. Κάποιοι κατασκευαστές κονεκτόρων υψηλής ποιότητας και χαμηλά σε PIM προμηθεύουν και τα κατάλληλα εργαλεία για να γίνει αυτή η σωστή σύσφιξη.

**Ομοαξονικό καλώδιο:** Ακόμα και το πιο απλό εξάρτημα όπως το ομοαξονικό καλώδιο παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του PIM. Τα βαριά ομοαξονικά καλώδια με καλή προστασία δεν χρίζουν ανησυχίας αλλά τα λεπτά και εύκαμπτα καλώδια είναι το πρόβλημα. Έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται καλώδια χαμηλά σε PIM.

**Εξασθενητές:** Όπως κάθε άλλο παθητικό εξάρτημα, έτσι και ο εξασθενητής παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στο PIM. Ένας απλός εξασθενητής συνήθως φτιάχνεται από άνθρακα και αυτό του δίνει μια κακή PIM απόδοση. Ποτέ δεν θα πρέπει να γίνεται χρήση ενός τέτοιου απλού εξασθενητή στα συστήματα DAS. Έτσι και εδώ θα πρέπει να γίνει χρήση εξασθενητών με χαμηλά επίπεδα PIM.

Θα πρέπει να ακολουθηθούν μερικοί πολύ σοβαροί κανόνες όταν γίνεται σχεδιασμός συστημάτων DAS με χαμηλά επίπεδα PIM. Συγκεκριμένα:

- Όλα τα παθητικά εξαρτήματα θα πρέπει να εκπληρώνουν τις προδιαγραφές για -155dBc στα 2x20W.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κονέκτορες 7/16 ή 4:3/10.
- Όλοι οι κονέκτορες θα πρέπει να σφίχτούν και να εγκατασταθούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Μάλιστα θα πρέπει να γίνει η χρήση των κατάλληλων εργαλείων.
- Συνιστάται η χρήση εργαλείων, καλωδίων και κονεκτόρων να είναι κατασκευασμένα από τον ίδιο κατασκευαστή και όχι από διαφορετικούς.
- Με την έννοια σωστή εγκατάσταση εννοούμε: α) Όλα τα καλώδια να είναι καλά δεμένα με δεματικά. β) Να μην δοθεί μεγάλη μηχανική κλίση στα καλώδια (overbended). γ) Όλοι οι κονέκτορες των καλωδίων να είναι καθαρά από σκόνη ή άλλες βρωμιές.





## 6.Εργαλεία Σχεδίασης Συστημάτων Κεραιών (DAS)

### 6.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός κινητών δικτύων εσωτερικής κάλυψης βασίζεται σε διάφορους τύπους εργαλείων για να βοηθήσει τον σχεδιαστή στον σχεδιασμό. Αυτά τα εργαλεία, τα οποία και θα αναλυθούν εκτενέστατα, βοηθούν στην ακριβή πρόβλεψη αλλά και επαλήθευση της τηλεπικοινωνιακής κάλυψης, χωρητικότητας αλλά και ποιότητας στον εκάστοτε επιθυμητό χώρο. Ίσως χρειαστούν και άλλα εργαλεία για τον υπολογισμό του πλήθους των εξαρτημάτων αλλά και του συνολικού κόστους του έργου. Ακόμα θα χρειαστούν εργαλεία για την τεκμηρίωση του σχεδιασμού του συστήματος, διαγράμματα κ.α. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι εργαλείων και κάθε πάροχος διαθέτει μια μεγάλη γκάμα τέτοιων εργαλείων που τον βοηθούν στην καλύτερη και ορθότερη σχεδίαση.

Η επιλογή των εργαλείων σχεδιασμού γίνεται σύμφωνα με τις ανάγκες. Εάν γίνεται σχεδιασμός 5-6 έργων τον χρόνο τότε ο σχεδιαστής μπορεί να βασιστεί σε έτοιμα υπολογιστικά φύλλα (link budget). Ωστόσο εάν γίνεται σχεδιασμός 30-40 ή και περισσότερων έργων τον χρόνο τότε η επένδυση σε μια σειρά αξιόπιστων και αποδοτικών εργαλείων είναι αναγκαία αλλά και αναπόφευκτη.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται μερικά εργαλεία που κάθε πάροχος οφείλει να έχει στην γκάμα του. Τα συγκεκριμένα εργαλεία είναι απλά παραδείγματα και μπορεί να γίνει επιλογή και άλλων κατασκευαστών. Το καθένα έχει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα αντίστοιχα.

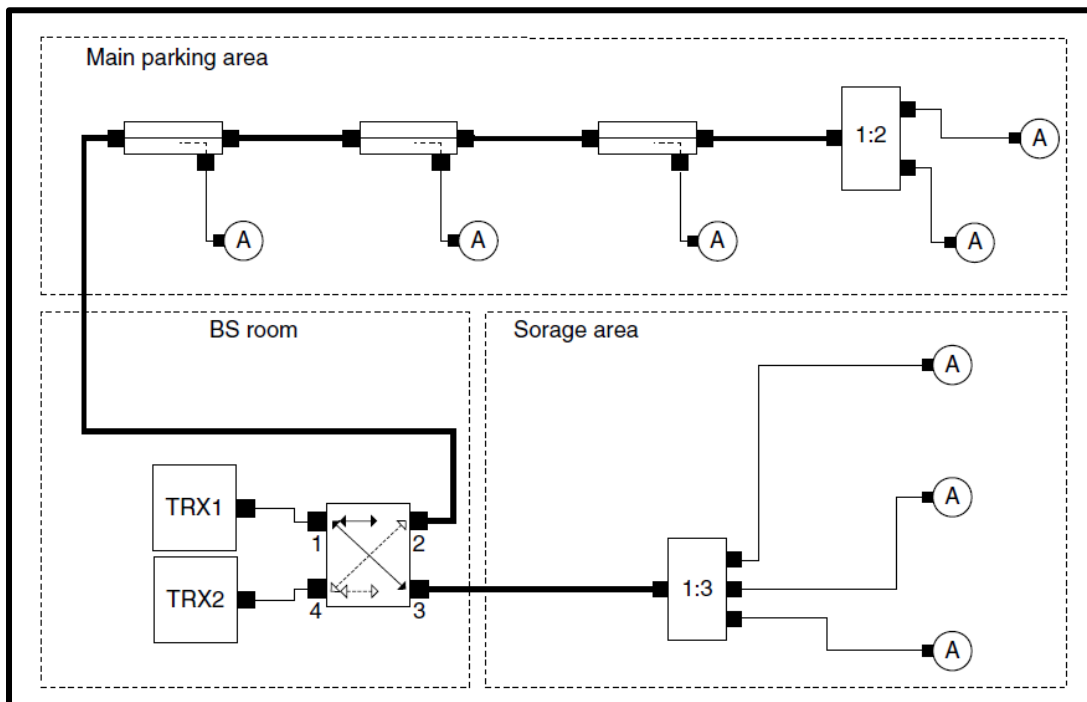
## 6.2 Εμπειρία (Experience)

Ακόμα και αν υπάρχουν διαθέσιμα τα καλύτερα λογισμικά και εργαλεία στον υπολογιστή του σχεδιαστή, προτείνεται σε όλους τους σχεδιαστές να αφήσουν το γραφείο τους και να μεταβούν στο κτήριο ενδιαφέροντος όπου και θα σχεδιαστεί το σύστημα και να περπατήσουν κάνοντας όλες τις απαραίτητες μετρήσεις ή ακόμα και να συμμετάσχουν στις εγκαταστάσεις των συστημάτων τους. Η σχεδίαση των DAS συστημάτων είναι κάτι παραπάνω από εργασία στον υπολογιστή. Επομένως μια τέτοια καλή εμπειρία και τριβή σε πραγματικές συνθήκες είναι ένα από τα καλύτερα εργαλεία του σχεδιαστή.

Είναι αρκετά αναγκαίο για έναν σχεδιαστή να αποκτήσει εμπειρία πάνω σε υφιστάμενες αλλά και ενεργές τηλεπικοινωνιακές λύσεις. Θα πρέπει να διενεργούνται RF μετρήσεις επαλήθευσης όσον το δυνατόν πιο πολλές φορές έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή εμπειρία στο RF.

## 6.3 Διαγραμματική απεικόνιση (Diagram Tools)

Όλα τα σχέδια των DAS συστημάτων θα πρέπει να είναι καλά τεκμηριωμένα, συμπεριλαμβανομένων και των διαγραμμάτων. Είναι αρκετά σημαντική η χρήση ενός ηλεκτρονικού εργαλείου που θα επιτρέψει στον σχεδιαστή να αποθηκεύσει αλλά και να ενημερώσει το διάγραμμα στο μέλλον (μετά από πιθανές αλλαγές ή αναβαθμίσεις στο σύστημα). Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει ένα διάγραμμα του DAS στον σταθμό βάσης, κατά προτίμηση με όλα τα εξαρτήματα και της θέσης τους κατά μήκος του κτηρίου. Μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε περίπτωση βλάβης και ελαχιστοποιεί τον χρόνο εύρεσης του εξαρτήματος.



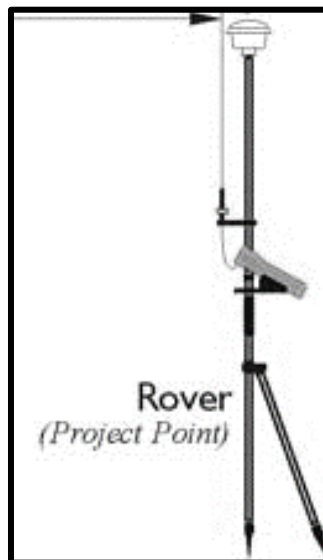
Εικόνα 6.1: Τυπικό διάγραμμα DAS συστήματος με MS Visio.

Ένα πολύ σύνθητες αλλά και αξιόπιστο εργαλείο για διαγράμματα είναι το Visio. Το Microsoft Visio είναι μια εφαρμογή γραφικών και διανυσματικής σχεδίασης που παρέχει σύγχρονα σχήματα και πρότυπα για μια ποικιλία αναγκών δημιουργίας διαγραμμάτων, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης τεχνολογιών πληροφορικής, της μοντελοποίησης, της δόμησης και της αρχιτεκτονικής, της σχεδίασης UI, της διαχείρισης ανθρωπίνου δυναμικού, της διαχείρισης έργου και άλλων. Το Visio είναι πολύ εύκολο στην χρήση του και κάποιος σχεδιαστής μπορεί να δημιουργήσει τα εικονίδια εξαρτημάτων του DAS. Ακόμα μπορεί να γίνει εισαγωγή της κάτοψης του χώρου που θα γίνει ο σχεδιασμός και να ζωγραφιστούν τα εξαρτήματα από πάνω. Αυτή είναι μια πολύ εύκολη προσέγγιση αλλά είναι χρήσιμη εάν γίνονται λίγα και μικρά έργα τον χρόνο. Ένα γίνεται σχεδιασμός ενός DAS πολύ μεγαλύτερης κλίμακας τότε προτείνεται η χρήση ενός πιο αυτοματοποιημένου εργαλείου που θα βοηθήσει στον όλο σχεδιασμό. Πολλοί σχεδιαστές χρησιμοποιούν το λογισμικό AutoCAD για DAS σχεδιασμό. Μάλιστα με αυτό το εργαλείο ο σχεδιαστής θα έχει πολλά πλεονεκτήματα εάν οι κατόψεις είναι σε AutoCAD μορφή.

#### **6.4 Εργαλεία αυτοψίας (Radio Survey Tools)**

Αρκετές φορές είναι αναγκαία η διενέργεια RF μετρήσεων κατά την αυτοψία του κτηρίου έτσι ώστε να επαληθευτούν οι θέσεις των κεραιών αλλά και του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την κάλυψη του χώρου.

Θα χρειαστεί να γίνει χρήση ενός καλιμπραρισμένου αναμεταδότη, κατά προτίμηση να λειτουργεί με μπαταρίες, αλλά και ενός κινούμενου αυτοστήρικτου ιστού όπου και θα τοποθετηθεί μια προσωρινή κεραία. Συνιστάται η χρήση αναμεταδότη με μεταβλητή ισχύ στην έξοδο προς την κεραία.



**Εικόνα 6.2:** Κινούμενος αυτοστήρικτος ιστός με δοκιμαστική κεραία.

## 6.5 Βασικά εργαλεία (Simple Toolkit)

Κατά τον σχεδιασμό δικτύων κινητής τηλεφωνίας, όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνουν τα απλά και βασικά εργαλεία. Τέτοια εργαλεία είναι τα εξής:

**Ψηφιακή κάμερα:** Η ψηφιακή κάμερα είναι το βασικό εργαλείο κατά την διερεύνηση της αυτοψίας αλλά και κατά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης (site folder). Συνιστάται η φωτογράφιση όλων των κεραιών αλλά και όλου το εξοπλισμού με ψηφιακές φωτογραφίες. Μάλιστα η κάθε φωτογραφία θα πρέπει να ονομαστεί. Για παράδειγμα η φωτογραφία της θέσης που θα εγκατασταθεί η κεραία A20 θα πρέπει να ονομαστεί A20.jpeg. Συνιστάται και η χρήση ενός λείζερ που να σημαδεύει την θέση της κεραίας, έτσι ώστε να αποτυπωθεί με ακρίβεια η θέση της κεραίας στην φωτογραφία. Έτσι ο εγκαταστάτης θα γνωρίζει με απόλυτη λεπτομέρεια που θα τοποθετήσει την κεραία.

**Διαδίκτυο:** Πριν από οποιαδήποτε αυτοψία στον χώρο ενδιαφέροντος, ο σχεδιαστής μπορεί να επισκεφτεί την ιστοσελίδα της εταιρείας που διαθέτει τον χώρο. Συχνά θα βρεθεί χρήσιμη πληροφορία, όπως κατόψεις, φωτογραφίες κ.α που θα βοηθήσουν πολύ στην ετοιμασία ενός πρόχειρου σχεδίου.

**Τηλεπικοινωνιακή κίνηση:** Με τον όρο τηλεπικοινωνιακή κίνηση εννοούμε το φορτίο ενός σταθμού βάσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή κάλυψης. Είναι ένας καθαρός αριθμός χωρίς φυσική μονάδα, αν και λόγω της μεγάλης του σημασίας που έχει στην σχεδίαση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, του έχει αποδοθεί η μονάδα Erlang. Στον πίνακα της εικόνας 6.3 αποτυπώνεται ο πίνακας Erlang-B όπου και υπολογίζεται η τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

Number of channels	Blocking (GOS)					Number of channels
	0.1%	0.5%	1%	2%	5%	
1	0.0010	0.0050	0.0101	0.0204	0.0526	1
2	0.0458	0.1054	0.1526	0.2235	0.3813	2
3	0.1938	0.3490	0.4555	0.6022	0.8994	3
4	0.4393	0.7012	0.8694	1.0923	1.5246	4
5	0.7621	1.1320	1.3608	1.6571	2.2185	5
6	1.1459	1.6218	1.9090	2.2759	2.9603	6
7	1.5786	2.1575	2.5009	2.9354	3.7378	7
8	2.0513	2.7299	3.1276	3.6271	4.5430	8
9	2.5575	3.3326	3.7825	4.3447	5.3702	9
10	3.0920	3.9607	4.4612	5.0840	6.2157	10
11	3.6511	4.6104	5.1599	5.8415	7.0764	11
12	4.2314	5.2789	5.8760	6.6147	7.9501	12
13	4.8306	5.9638	6.6072	7.4015	8.8349	13
14	5.4464	6.6632	7.3517	8.2003	9.7295	14
15	6.0772	7.3755	8.1080	9.0096	10.633	15
16	6.7215	8.0995	8.8750	9.8284	11.544	16
17	7.3781	8.8340	9.6516	10.656	12.461	17
18	8.0459	9.5780	10.437	11.491	13.385	18
19	8.7239	10.331	11.230	12.333	14.315	19
20	9.4115	11.092	12.031	13.182	15.249	20

Εικόνα 6.3: Πίνακας Erlang-B, για 1-20 κανάλια

Προφανώς ο πίνακας Erlang-B είναι ένα από τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της τηλεπικοινωνιακής κίνησης (φωνής και δεδομένων). Το excel είναι επίσης ένα πολύ καλό εργαλείο για τον υπολογισμό βασικών παραμέτρων της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Είναι πολύ εύκολη η δημιουργία ενός υπολογιστικού φύλλου για μια και μόνο συγκεκριμένη χρήση. Στην εικόνα 6.4 απεικονίζεται ένα τέτοιο απλό υπολογιστικό φύλλο που επιτρέπει τον υπολογισμό του προφίλ των χρηστών σε ένα DAS σύστημα.

User profile/type	mE/user	Number of users	Total E
Normal private user	15	25	0.375
Business user, not 100% WO	30	200	6.000
SOHO, 100% WO	50	0	0.000
Normal business user, 100% WO	70	40	2.800
Office user, 100% WO	100	100	10.000
Heavy business/telecomm, 100% WO	140	5	0.700
User def.-1	0	0	0.000
User def.-2	0	0	0.000
<i>Total</i>			<i>19.875</i>

**Εικόνα 6.4:** Απλό υπολογιστικό φύλλο υπολογισμού προφίλ χρηστών DAS

## 6.6 Εξελιγμένα εργαλεία (Advanced Toolkit)

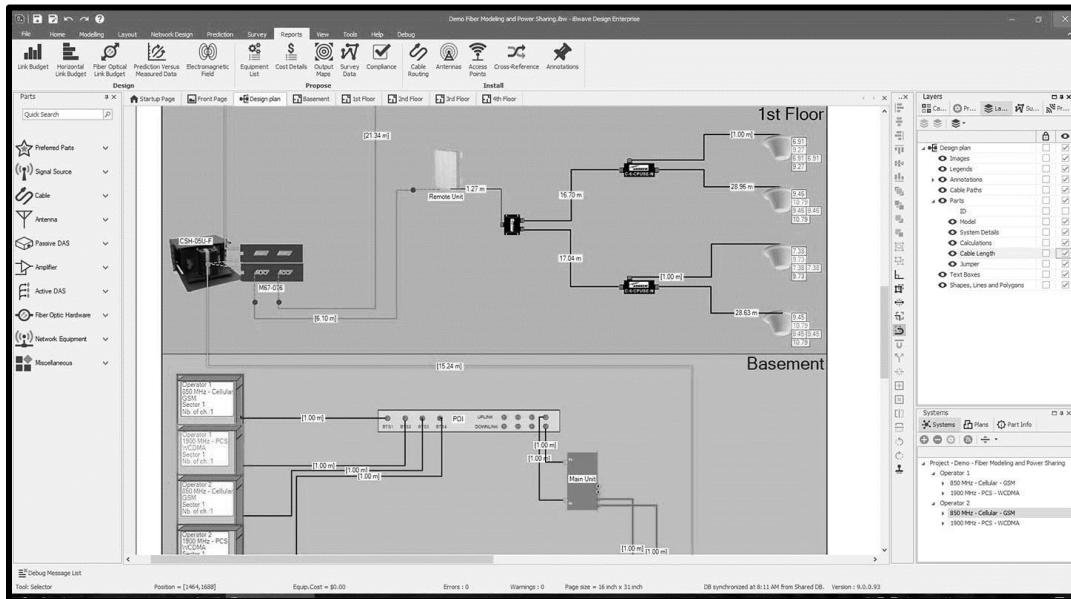
Πριν μερικά χρόνια, τα συστήματα εσωτερικής κάλυψης ήταν μια νέα ιδέα για τους πάροχους, οι οποίοι και είχαν πολύ μικρή εμπειρία σε τέτοια είδους δίκτυα. Συνήθως οι χώροι και τα κτήρια που ήταν εξοπλισμένα με τέτοιου είδους δίκτυα παρείχαν μόνο μια με δυο τεχνολογίες για κάθε πάροχο σε ξεχωριστό κεραιοσύστημα. Ωστόσο οι χρήστες έχουν γίνει περισσότεροι αλλά όλο και πιο απαιτητικοί, με μεγαλύτερες ανάγκες για φωνή και δεδομένα. Έτσι οι πάροχοι χρειάζονται εξελιγμένα εργαλεία για να κατασκευάσουν ένα σύστημα που θα είναι αντάξιο στις απαιτήσεις κάθε χρήστη.

Η σχεδίαση ενός μοντέρνου DAS συστήματος έχει γίνει πλέον εξαιρετικά πολύπλοκη. Μέσα στο ίδιο κτήριο υπάρχουν περισσότεροι από έναν πάροχοι (Multioperators) και εκπέμπουν περισσότερες τεχνολογίες από ότι στο παρελθόν την ίδια χρονική στιγμή. Το να βασιστεί ένας πάροχος σε ένα απλό υπολογιστικό φύλλο (link budget) μπορεί να είναι αρκετό για να υπολογίσει της λήψεις, ωστόσο τα νέα συστήματα κινητής τηλεφωνίας (π.χ. 4G) έχουν ανάγκη για ιδιαίτερη προσοχή σε κάποιες παραμέτρους όπως το SNR, την ηλεκτρομαγνητική εκπομπή (EMR) ή πιθανές παρεμβολές από το εξωτερικό macro δίκτυο.

Η ανάγκη για μια ολοκληρωμένη λύση, ένα πακέτο λογισμικού, που να μπορεί να υπολογίζει εύκολα αυτές τις παραμέτρους είναι μεγάλη. Μια τέτοια λύση είναι το λογισμικό για σχεδίαση δικτύων εσωτερικής κάλυψης της iBwave, το οποίο και ονομάζει iBwave Design. Είναι ένα λογισμικό με πολλές λειτουργίες που μπορεί να εξοικονομήσει εύκολα χρόνο και χρήμα, ειδικά αν χρησιμοποιείται καθημερινά. Στην συνέχεια παρατίθενται όλες οι λειτουργίες που είναι ικανό ένα τέτοιο λογισμικό να κάνει προς όφελος του παρόχου αλλά και του σχεδιαστή.

### 6.6.1 Εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος στο ελάχιστο

Αυτά τα εργαλεία δεν είναι απλά εύκολα και ευχάριστα στην χρήση τους αλλά μπορούν να γλιτώσουν αρκετές ώρες από το σχεδιασμό του εκάστοτε χώρου. Περιορίζουν στο ελάχιστο λάθη και βελτιώνουν τις διαδικασίες της σχεδίασης καθώς όλα τα δεδομένα συνδέονται σε μια κοινή πλατφόρμα.



Εικόνα 6.5: Σχεδίαση DAS συστήματος με ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό.

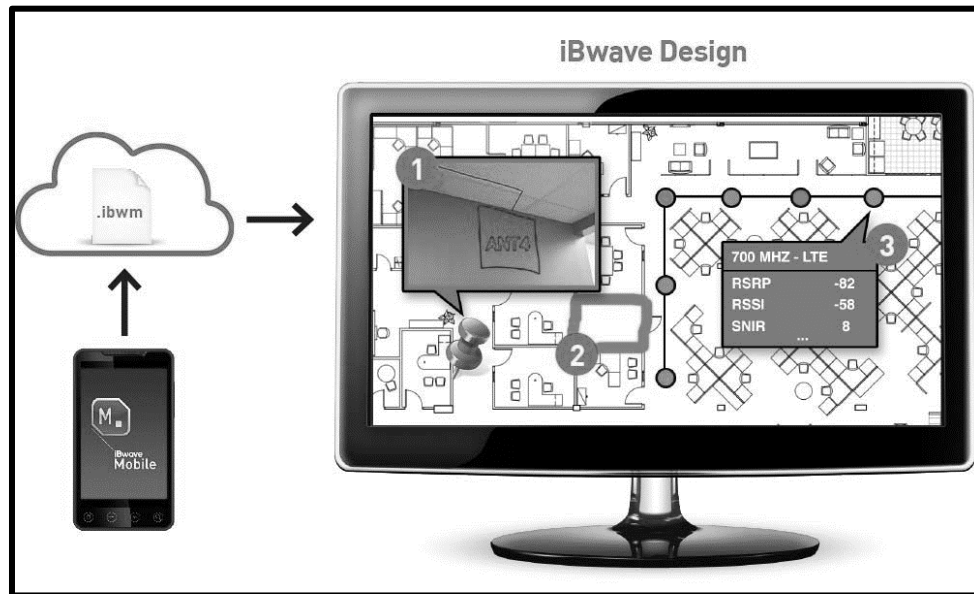
Αναβαθμίζοντάς ή αλλάζοντας ένα εξάρτημα ή κεραία στο σχέδιο, αυτόματα αλλάζει το ίδιο εξάρτημα κατά μήκος όλου το σχεδίου, στην προσομοίωση αλλά και στην λίστα του εξοπλισμού. Αξιοποιώντας ένα κινητό ή ένα tablet, ο σχεδιαστής μπορεί εύκολα να εισάγει πληροφορίες του DAS πάνω στο σχέδιο με διάφορα παράθυρα ή σχέδια και να τα συγχρονίσει με το βασικό σχέδιο στον υπολογιστή του.

### 6.6.2 Συστήματα πολλαπλών πάροχων και τεχνολογιών

Το λογισμικό iBwave Design είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο με δυνατότητες σχεδιασμού ενός DAS συστήματος με πολλαπλές συχνότητες, πολλαπλούς πάροχους και πολλαπλές τεχνολογίες στο ίδιο κεραιοσύστημα κάνοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς.

### 6.6.3 Εργαλείο αυτοψίας

Στο λογισμικό iBwave Design δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης όλων των διαθέσιμων κινητών συσκευών (κινητό ή tablet) για την δημιουργία προκαταρκτικών σχεδίων και να γίνει η καταγραφή όλων το σημαντικών πληροφοριών κατά την διάρκεια της αυτοψίας με μορφή σχολιασμών, χρησιμοποιώντας εικόνες, βίντεο, ηχογραφήσεις όπως και σημειώσεις σε κείμενα (εικόνα 6.6). Έτσι όλη αυτή η πληροφορία αποθηκεύεται και στην συνέχεια ενσωματώνεται στο σχέδιο. Αυτό γλιτώνει χρόνο και κάνει την διαδικασία του σχεδιασμού πιο αξιόπιστη.



**Εικόνα 6.6:** Χρησιμοποίηση iBwave Design για αυτοψία.

#### 6.6.4 Σχεδίαση DAS μέσω κινητής συσκευής

Στο λογισμικό iBwave Design δίνεται η δυνατότητα στον σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει την κινητή του συσκευή (tablet ή κινητό) για τον σχεδιασμό μικρών DAS συστημάτων καθώς αυτός βρίσκεται στο πεδίο ή στο σημείο ενδιαφέροντος (εικόνα 6.7). Οι κατόψεις μπορούν να παρθούν με φωτογραφίες από τους χώρους που θα σχεδιαστεί το DAS. Συνήθως σε κάθε όροφο υπάρχει κάτοψη του χώρου σε περίπτωση κάποιας έκτακτης ανάγκης. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη.



**Εικόνα 6.7:** Χρησιμοποίηση iBwave Design για επιτόπου σχεδιασμό στο χώρο ενδιαφέροντος.

## 6.6.5 Εισαγωγή κατόψεων

Στο λογισμικό iBwave Design δίνεται η δυνατότητα στον σχεδιαστή να εισάγει κατόψεις οποιασδήποτε μορφής. Μπορεί να εισάγει φωτογραφίες μορφής .gif, .jpeg, .pdf ή ακόμα και αρχεία μορφής AutoCAD (συνιστάται). Στην συνέχεια ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει πάνω στην κάτοψη την φύση των υλικών. Συγκεκριμένα αν οι τοίχοι είναι από μπετό πάχους 50cm ή αν οι πόρτες είναι μεταλλικές ή ξύλινες (εικόνα 6.8). Αν έχει εισαχθεί το πραγματικό μήκος και πλάτος του κάθε ορόφου τότε το λογισμικό, αυτόματα μπορεί να προσδιορίσει το μήκος των καλωδίων που χρησιμοποιούνται στο DAS. Όταν προσομοιώνεται η ποιότητα του σήματος, το SNR κ.α, τότε το λογισμικό λαμβάνει υπόψιν και το είδος του υλικού που το διαπερνάει.

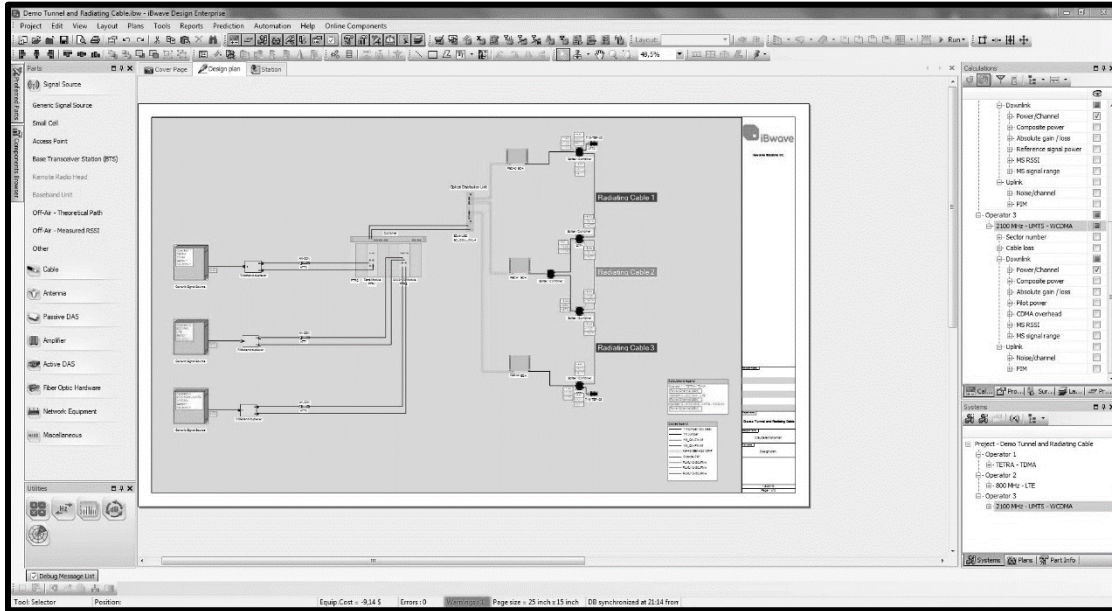


Εικόνα 6.8: Κάτοψη χώρου στο λογισμικό iBwave Design.

## 6.6.6 Σχηματικό διάγραμμα

Μέσα από το σχηματικό διάγραμμα του λογισμικού, ο σχεδιαστής μπορεί να απεικονίσει όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το εκάστοτε σχέδιο, να τα ενώσει μεταξύ τους και να αναλύσει την RF ισχύ στην είσοδο και έξοδο του κάθε RF εξαρτήματος (εικόνα 6.9). Το κάθε εξάρτημα έχει την ίδια ακριβώς συμπεριφορά με αυτή που του ορίζει ο κατασκευαστής του, έτσι ώστε η προσομοίωση να είναι αν όχι η ίδια, αλλά σχεδόν ίδια με τις πραγματικές συνθήκες. Ακόμα ο σχεδιαστής μπορεί να διακρίνει και να αναλύσει τις προδιαγραφές του κάθε εξαρτήματος και να προβεί στην επιλογή του. Σήμερα, τα περισσότερα κτήρια χρησιμοποιούν ένα κοινό κεραιοσύστημα από πολλούς πάροχους και εκπέμπουν σε περισσότερες από μια τεχνολογίες. Έτσι οι χρήστες χρησιμοποιούν την ίδια δομή για τις υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.





Εικόνα 6.9: Σχηματική απεικόνιση σχεδίου DAS στο λογισμικό iBwave Design.

### 6.6.7 Συμπληρωματικές πληροφορίες έργου

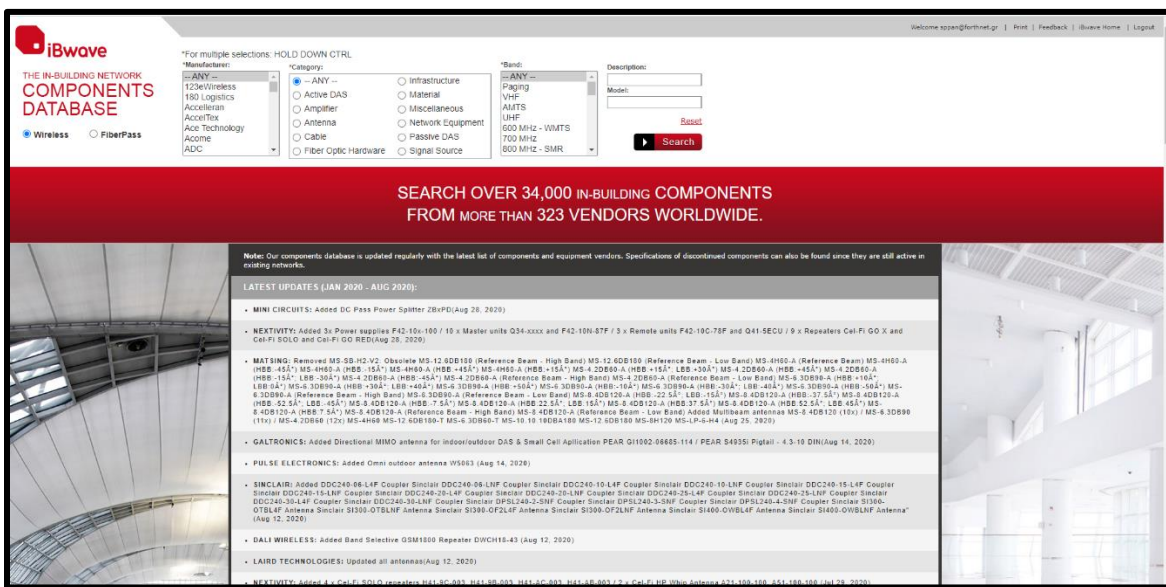
Στο λογισμικό iBwave Design είναι εφικτή από τον σχεδιαστή η εισαγωγή χρήσιμων πληροφοριών, όπως αυτή στην εικόνα 6.10. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι πληροφορίες του κατασκευαστή, απαιτήσεις του ενοικιαστή, επισημάνσεις, φωτογραφίες, ηχητικά, βίντεο αλλά και σημειώσεις. Αυτό μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό τους εγκαταστάτες και την αποφυγή μοιραίων αλλά και ακριβών σφαλμάτων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό ειδικά αν ληφθούν υπόψιν πιθανές μελλοντικές αναβαθμίσεις.



Εικόνα 6.10: Παράδειγμα συμπληρωματικής σημείωσης κατά την αυτοψία.

### 6.6.8 Βάση δεδομένων εξαρτημάτων DAS

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του iBwave Design είναι πως έχει συγκεντρώσει σε μια μεγάλη βάση δεδομένων όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν ένα DAS. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.11 έχουν συγκεντρωθεί τα εξαρτήματα από όλους τους κατασκευαστές μαζί με τις προδιαγραφές τους. Έτσι ο σχεδιαστής απλά επιλέγει, αναλύει και εισάγει το εξάρτημα που θέλει στο σχέδιο του. Επίσης όσον αφορά τις κεραίες, εμπεριέχονται μέσα και τα διαγράμματα ακτινοβολίας για κάθε συχνότητα που υποστηρίζουν, έτσι ώστε η προσομοίωση να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα στο σχεδιαστή να δημιουργήσει το δικό του εξάρτημα και αν είναι αναγκαίο να το τροποποιήσει. Τέλος μπορεί να αποτυπωθεί το κόστος του κάθε εξαρτήματος έτσι ώστε να δοθεί από το λογισμικό το συνολικό κόστος του εξοπλισμού. Για την εγγραφή στην πλατφόρμα απαιτείται εταιρικό email.

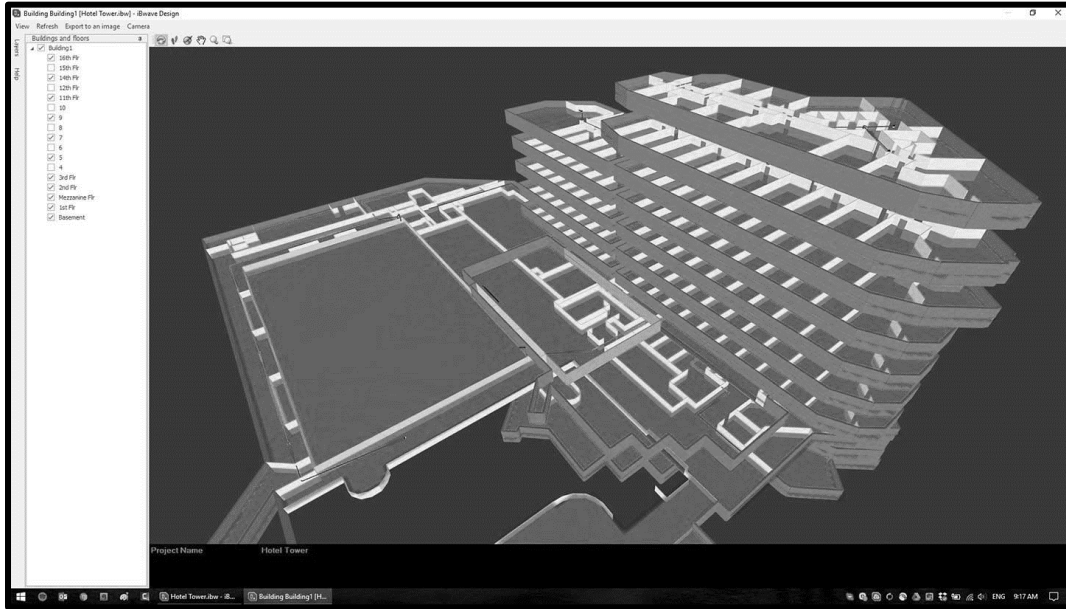


Εικόνα 6.11: Βάση δεδομένων λογισμικού iBwave Design.

### 6.6.9 Διάδοση ραδιοσυχνότητων

Ο βασικός σκοπός του λογισμικού iBwave Design είναι ο υπολογισμός της RF κάλυψης στον χώρο ενδιαφέροντος. Οι σχεδιαστές μπορούν να επιλέξουν διάφορα μοντέλα όπως το COST231. Η βάση δεδομένων διαθέτει σχεδόν όλους τους τύπους υλικών που μπορεί να διαθέτει ένα κτήριο, των οποίων η RF συμπεριφορά πρέπει να είναι παρόμοια με αυτά υπό πραγματικές συνθήκες. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα για προσομοίωση όλων των συχνοτήτων σε τρεις διαστάσεις (3D). Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη ανάλυση διαφόρων παραμέτρων όπως οι απώλειες σήματος ή ισχύς σήματος.

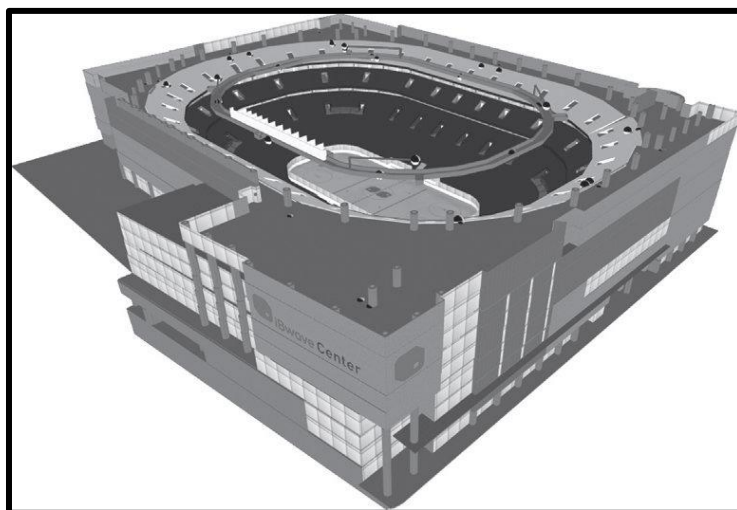
Οι προβλέψεις των RF σημάτων μέσα στο κτήριο είναι πολύ σημαντικές για έναν σχεδιαστή, αλλά είναι εξίσου σημαντικές και για τον αποδέκτη των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων για την έγκριση του DAS στον χώρο του. Το κάθε εκπεμπόμενο σήμα απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η σωστή διάκριση του.



**Εικόνα 6.12:** Προσομοίωση RF 3D σημάτων σε DAS σύστημα με χρήση λογισμικού iBwave Design.

#### 6.6.10 Βελτιστοποίηση ραδιοσυχνότητων

Στο λογισμικό iBwave Design δίνεται η δυνατότητα στον σχεδιαστή να βελτιστοποιήσει την θέση αλλά και την εκπεμπόμενη ισχύ κάθε κεραιάς μέσα στο DAS. Έτσι μπορούν να επιτευχθούν οι καλύτεροι δυνατοί ρυθμοί μετάδοσης αλλά και η μέγιστη δυνατή ποιότητα σήματος. Μπορεί να γίνει επιλογή διαφόρων παραμέτρων προς βελτιστοποίηση (στο λογισμικό αναφέρεται ως output maps) όπως το SNR, μέγιστος ρυθμός μετάδοσης, παρεμβολές από το macro δίκτυο σταθμών βάσης κ.α. Τέλος η χωρητικότητα μπορεί να βελτιστοποιηθεί αλλά και να αναλυθεί χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Monte Carlo.

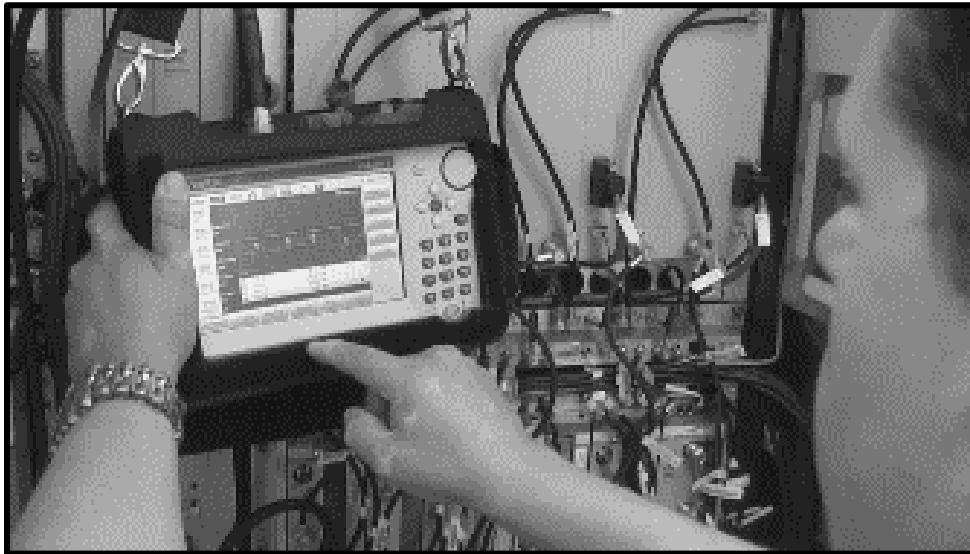


**Εικόνα 6.13:** Βελτιστοποίηση RF 3D σημάτων σε DAS σύστημα με χρήση λογισμικού iBwave Design.

## 6.7 Εργαλεία ορθής λειτουργίας DAS (Verification Tools)

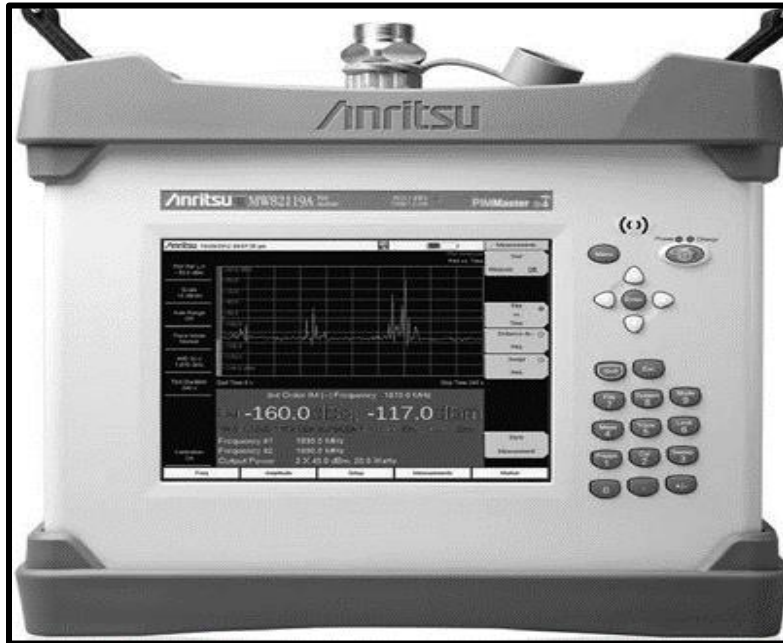
Μετά το πέρας των εργασιών και καθώς το DAS είναι στον αέρα, θα πρέπει να γίνουν μερικές ενέργειες για την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας το συστήματος. Πριν κάνουμε την παραμετροποίηση των μηχανημάτων (commissioning) και τα κάνουμε να εκπέμπουν θα πρέπει να βεβαιωθούμε πως το σύστημα DAS ακολουθεί όλες τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Μέχρι και αυτή την στιγμή όλος ο εξοπλισμός έχει περάσει τις πιθανές οπτικές επιθεωρήσεις κατά την διαδικασία της εγκατάστασης. Ωστόσο θα πρέπει να γίνει χρήση μερικών ειδικών εργαλείων για την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας όλου του μήκους του DAS. Όλα αυτά τα εργαλεία θα πρέπει να έχουν καλιμπραριστεί και να έχουν τις αντίστοιχες ετικέτες λήξης του καλιμπραρίσματος. Τα εργαλεία αυτά είναι τα εξής:

**Ελεγκτής κεραιών και RF καλωδίων:** Θα χρειαστεί να γίνει η χρήση ενός ελεγκτή που να μπορεί να διεξάγει μετρήσεις VSWR (στάσιμα) σε μερικές επιλεγμένες κεραιές (συνήθως κεραιές σε χώρους υψηλού ενδιαφέροντος). Πολλές φορές οι συγκεκριμένοι ελεγκτές μπορούν να διεξάγουν μετρήσεις όπως cable sweep ή distance to fault ή RTL (return to loss). Στην εικόνα 6.14 παρουσιάζεται ένας τέτοιος ελεγκτής.



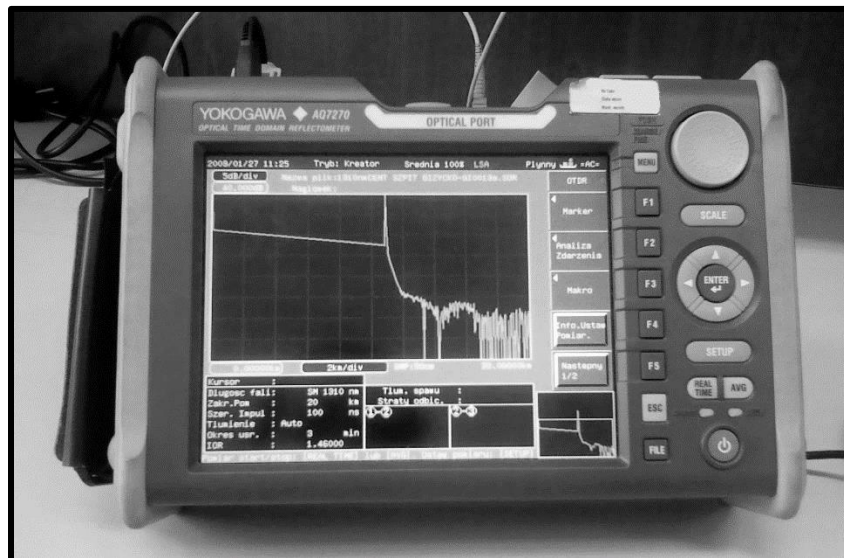
Εικόνα 6.14: Ελεγκτής κεραιών και RF καλωδίων σε σταθμό βάσης.

**Ελεγκτής κεραιών και RF καλωδίων:** Η ανίχνευση των PIM μέσα σε ένα DAS σύστημα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί ειδικές γνώσης από τον μηχανικό - εγκαταστάτη. Συνήθως οι πάροχοι δεν έχουν στην κατοχή τους τέτοιον ειδικό εξοπλισμό αλλά προσλαμβάνουν εταιρείες (εργολάβους) για να μπορέσουν να εξετάσουν τα φαινόμενα του PIM στα DAS συστήματα τους. Ωστόσο, η ανίχνευση των PIM μπορεί να γίνει και με την αυξομείωση της εκπεμπόμενης ισχύς μέσα στο DAS και αν έτσι εμφανιστεί μια μη γραμμική συμπεριφορά τότε θα πρέπει να έρθει ειδική ομάδα στον χώρο.



Εικόνα 6.15: Ελεγκτής φαινομένου PIM.

**Ελεγκτής οπτικών ινών:** Πολλά DAS συστήματα είναι ενεργά. Αυτό σημαίνει πως επί το πλείστον το ενεργό αυτό DAS απαρτίζεται από οπτικές ίνες (end to end). Επομένως υπάρχει η ανάγκη ελέγχου όλων των οπτικών καλωδιώσεων. Αυτή η μέτρηση μπορεί να γίνει με το OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Το όργανο αυτό μετράει την εκπεμπόμενη οπτική ισχύ (σε dBm) όπως επίσης και την απόσταση.



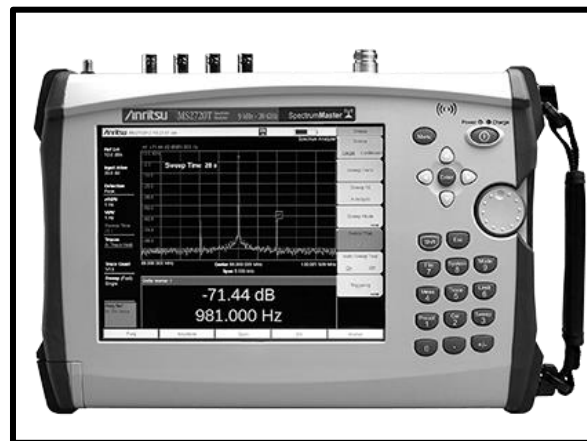
Εικόνα 6.16: Ελεγκτής οπτικών ινών.

**Ελεγκτής ηλεκτρικών καλωδιώσεων:** Τα ενεργά DAS εκτός από οπτικές καλωδιώσεις διαθέτουν και ηλεκτρικές (ethernet). Έτσι λοιπόν γίνεται η χρήση ενός ethernet tester με πρότυπα TIA/EIA-568A. Μέσα από αυτές τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις διέρχεται και DC τάση για την τροφοδοσία του ενεργού εξοπλισμού (π.χ ενεργές κεραίες).

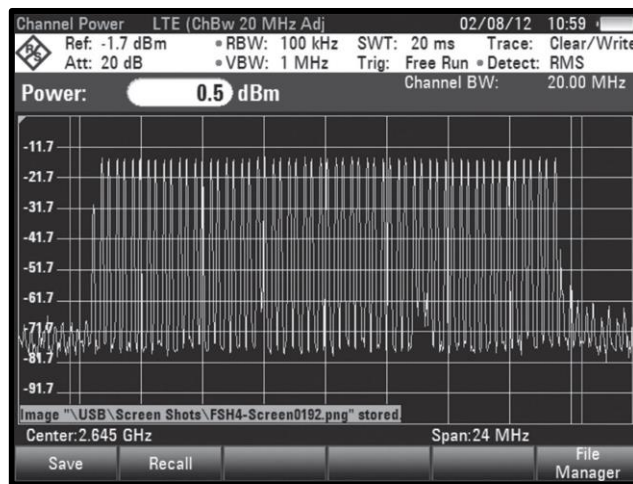
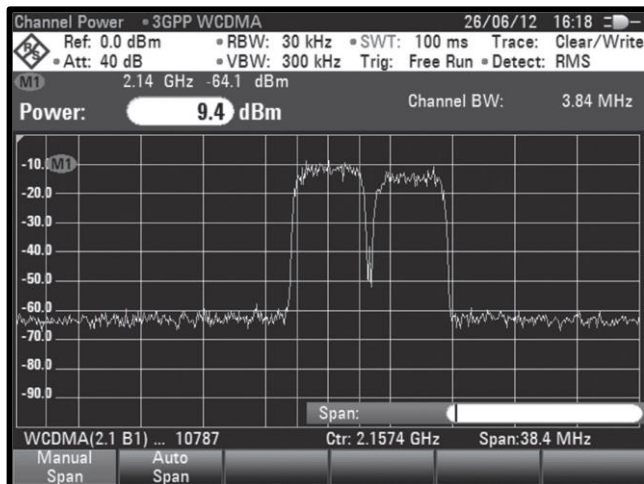


**Εικόνα 6.17:** Ελεγκτής ηλεκτρικών καλωδιώσεων (ethernet tester).

**Φασματογράφος:** Αποτελεί το πιο βασικό εργαλείο για την πιστοποίησή της σωστής και ορθής λειτουργίας του DAS συστήματος. Προτείνεται η κατοχή ενός φορητού φασματογράφου όπου μπορεί να ανιχνεύσει όλο το φάσμα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας (ισχύς εκπεμπόμενου σήματος). Αυτό το εργαλείο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, ειδικά όταν ο σχεδιαστής προσαρμόζει το κέρδος του DAS συστήματος.



**Εικόνα 6.18:** Φασματογράφος.



Εικόνα 6.19: Ανάλυση φάσματος 3G (αριστερά) και 4G (δεξιά).



## 7. Σχεδίαση Συστημάτων Κεραιών (DAS) με χρήση ειδικού λογισμικού

### 7.1 Εισαγωγή

Η σχεδίαση ενός DAS συστήματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία στην οποία ο σχεδιαστής έχει την μεγαλύτερη ευθύνη. Θα πρέπει να διασφαλιστεί πως η όλη διαδικασία θα αρχίσει και θα τελειώσει χωρίς λάθη που μπορεί να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στον πάροχο. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να διασφαλίσει πως όλα θα γίνουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του σχεδίου. Δεν είναι λίγες οι φορές που οι εγκαταστάσεις παρεκκλίνουν από ότι αναφέρεται στο σχέδιο, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ σοβαρά προβλήματα.

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει η σχεδίαση ενός φανταστικού κτηρίου (δεν υπάρχει στην πραγματικότητα). Ο χώρος που θα γίνει η σχεδίαση του DAS είναι στην ιατρική σχολή της Κύπρου. Το κτήριο στην πραγματικότητα απαρτίζεται από δυο διαφορετικά κτήρια τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους στο επίπεδο 3 και επίπεδο 4. Καθώς το κτήριο δεν είναι υπαρκτό, δεν είναι εφικτό να έχουν γίνει μετρήσεις χωρητικότητας, θέσεις κεραιών (αποτυπωμένες σε φωνογραφίες) ή ρεαλιστικές απαιτήσεις του χώρου.

Στο συγκεκριμένο DAS θα γίνει η ανάπτυξη ενός 2G/3G/4G δικτύου και θα γίνει προσπάθεια να υπάρχει κάλυψη σχεδόν στο 95% του κτηρίου. Επίσης θα υπάρξει ανάπτυξη και ενός εξωτερικού δικτύου σε ένα προαύλιο χώρο, το οποίο και είναι ένα σημείο με υψηλή τηλεπικοινωνιακή κίνηση.





**Εικόνα 7.1:** Κτήριο ανάπτυξης 2G/3G/4G δικτύου (εικόνα Α')

Για την σχεδίαση του DAS συστήματος θα γίνει χρήση ειδικού σχεδιαστικού λογισμικού. Αυτό το λογισμικό είναι μια αξιόπιστη λύση στον σχεδιασμό δικτύων εσωτερικής κάλυψης και παρέχει μια σουίτα από εργαλεία που καθιστούν αποτελεσματικό τον σχεδιασμό DAS δικτύων. Μέσω της διαδικτυακής βάσης δεδομένων των εξαρτημάτων, ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει κεραίες, καλώδια κλπ. από όλους τους κατασκευαστές του κόσμου.



**Εικόνα 7.2:** Κτήριο ανάπτυξης 2G/3G/4G δικτύου (εικόνα Β')

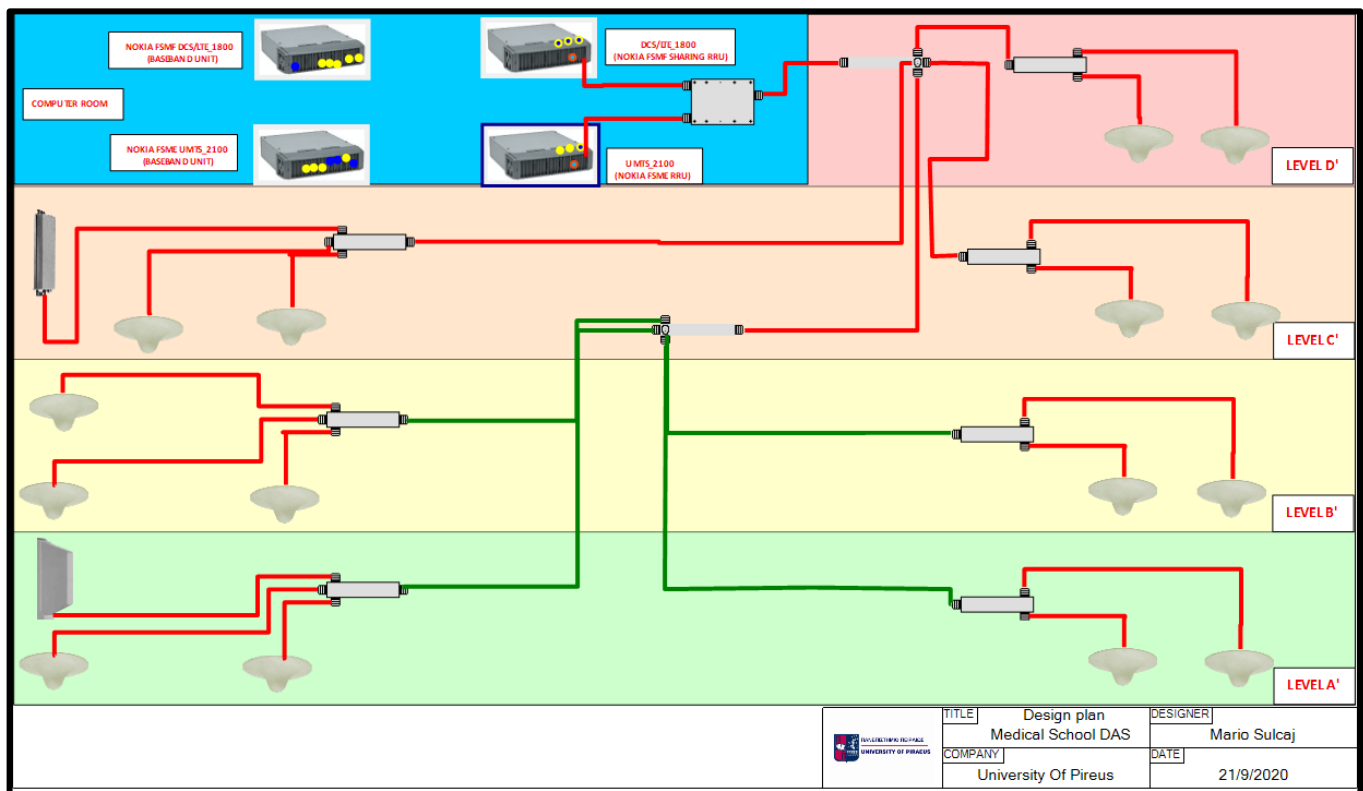
## 7.2 Σχεδίαση και ανάπτυξη 2G/3G/4G DAS δικτύου

Η μελέτη εσωτερικής ραδιοκάλυψης αφορά την εγκατάσταση ενός σταθμού βάσης στην ιατρική σχολή της Κύπρου με σκοπό την παροχή 2G/3G/4G κάλυψης στους χώρους του κτηρίου.

Ο ενεργός εξοπλισμός θα εγκατασταθεί στον χώρο των μηχανημάτων (computer room) της σχολής, ο οποίος βρίσκεται στο 4<sup>ο</sup> επίπεδο του κτηρίου, πλησίον του σαφτ που θα χρησιμοποιηθεί για την είσοδο των κυματοδηγών. Όλο το κτήριο θα θεωρείται ως μια κυψέλη. Η ηλεκτροδότηση του εξοπλισμού θα γίνει από το δίκτυο 230V AC του κτηρίου με εγκατάσταση ξεχωριστού πίνακα. Η backhaul διασύνδεση του σταθμού βάσης θα γίνει με δυο τρόπους: α) Οπτική ίνα και β) Μικροκυματική ζεύξη.

Για την τροφοδοσία των κεραιών του DAS συστήματος, θα χρησιμοποιηθούν μονοί κυματοδηγοί τύπου 1/2". Η κατακόρυφη όδευση των κυματοδηγών του DAS θα πραγματοποιηθεί στο υφιστάμενο σαφτ πλησίον του ανελευστήρα για το κοινό.

Στην συνέχεια αποτυπώνεται η σχεδιαστική μελέτη του κτηρίου. Θα χρησιμοποιηθεί NOKIA ενεργός εξοπλισμός. Οι οριζόντιες RF διασυνδέσεις αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα ενώ οι κάθετες με πράσινο.

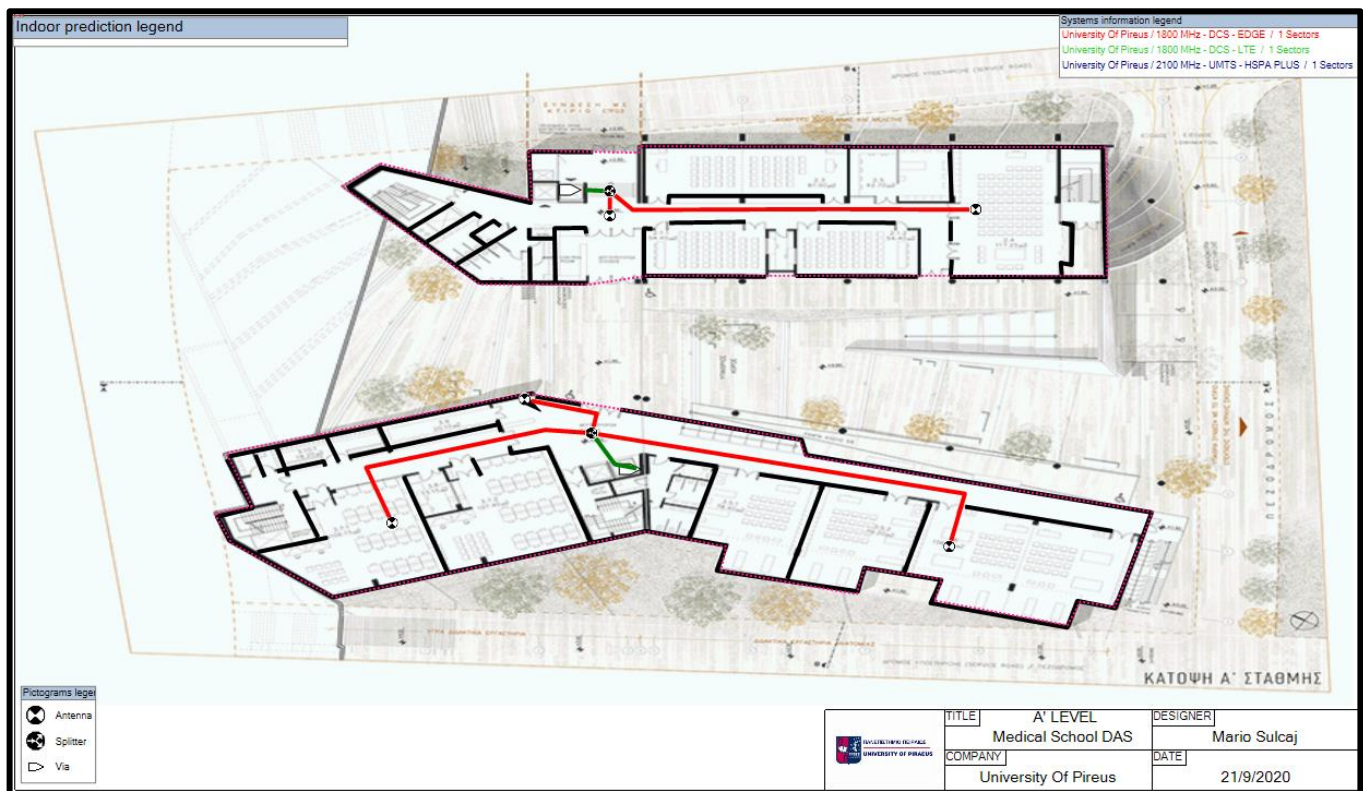


Εικόνα 7.3: Σχεδιαστική μελέτη DAS

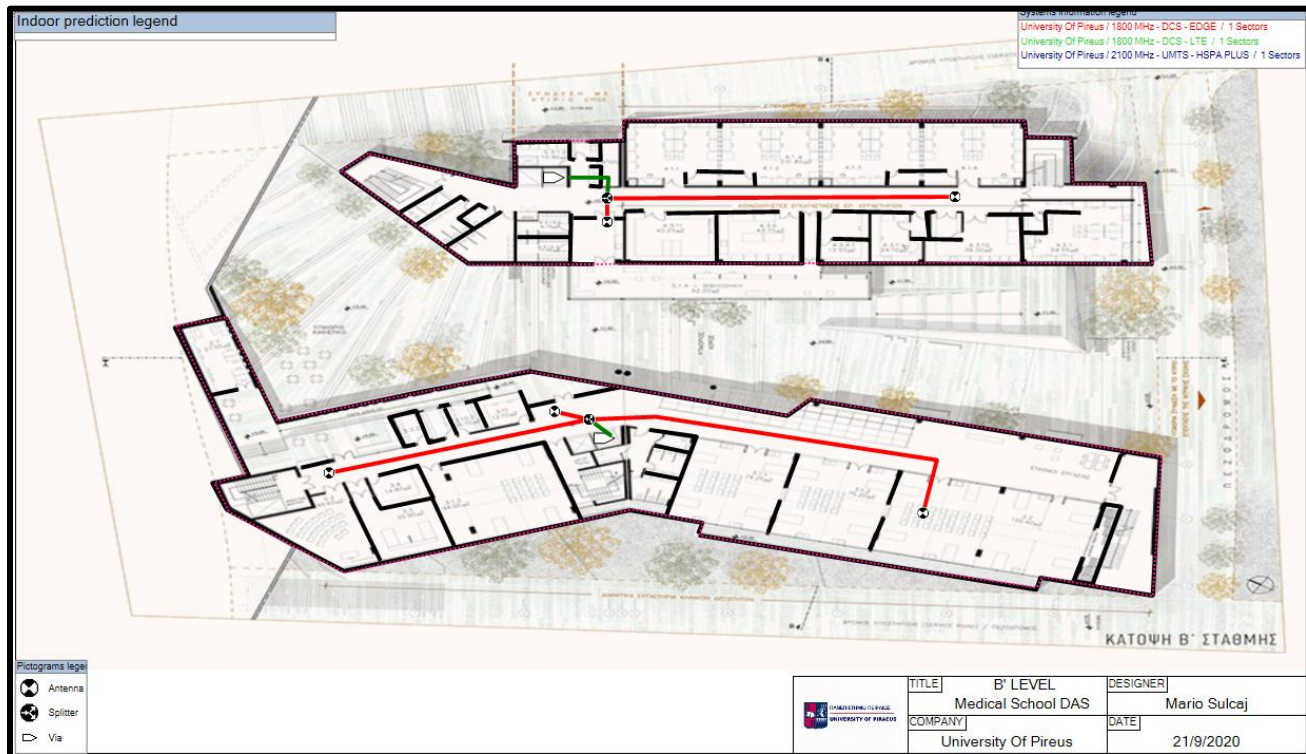
Είναι πολύ σημαντικό για το σχεδιαστή η ύπαρξη όλων των κατόψεων του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο ο σχεδιαστής υποδεικνύει στον εγκαταστάτη την ακριβή θέση του κάθε εξαρτήματος. Συνήθως οι υπεύθυνοι των χώρων παρέχουν στον σχεδιαστή τις κατόψεις με μορφή .pdf, εικόνων ή ακόμα και σε μορφή AutoCAD. Το λογισμικό iBwave είναι σε θέση να αναγνωρίσει πληθώρα από τύπους κατόψεων. Στην συγκεκριμένη σχεδίαση υπάρχει διάθεση των κατόψεων σε μορφή εικόνας.

Στην περίπτωση που ο σχεδιαστής έχει κατόψεις σε μορφή AutoCAD τότε μπορεί πολύ εύκολα και εξοικονομώντας χρόνο να ορίσει κάθε υλικό στην κάτοψη, όπως τοίχος από μπετό διαμέτρου 50cm ή ξύλινες πόρτες. Αυτό δίνει στον σχεδιαστή ένα πολύ ρεαλιστικό link budget αλλά και απώλειες του σήματος στον χώρο. Ωστόσο τις περισσότερες φορές ο σχεδιαστής προμηθεύεται από τους υπευθύνους των κτηρίων μόνο φωτογραφίες των κατόψεων. Έτσι η επιλογή του κάθε υλικού θα πρέπει να γίνει χειροκίνητα από τον σχεδιαστή μέσα από μια μεγάλη γκάμα υλικών που διαθέτει το λογισμικό. Στην συγκεκριμένη σχεδίαση έγινε προμήθεια κατόψεων σε μορφή εικόνας. Έτσι η επιλογή των υλικών έγινε χειροκίνητα. Καθώς το κτήριο έχει 4 ορόφους, στην συνέχεια παρουσιάζονται οι 4 κατόψεις με τις καλοδιαδρομές αλλά και τις θέσεις των κεραιών και του παθητικού εξοπλισμού.

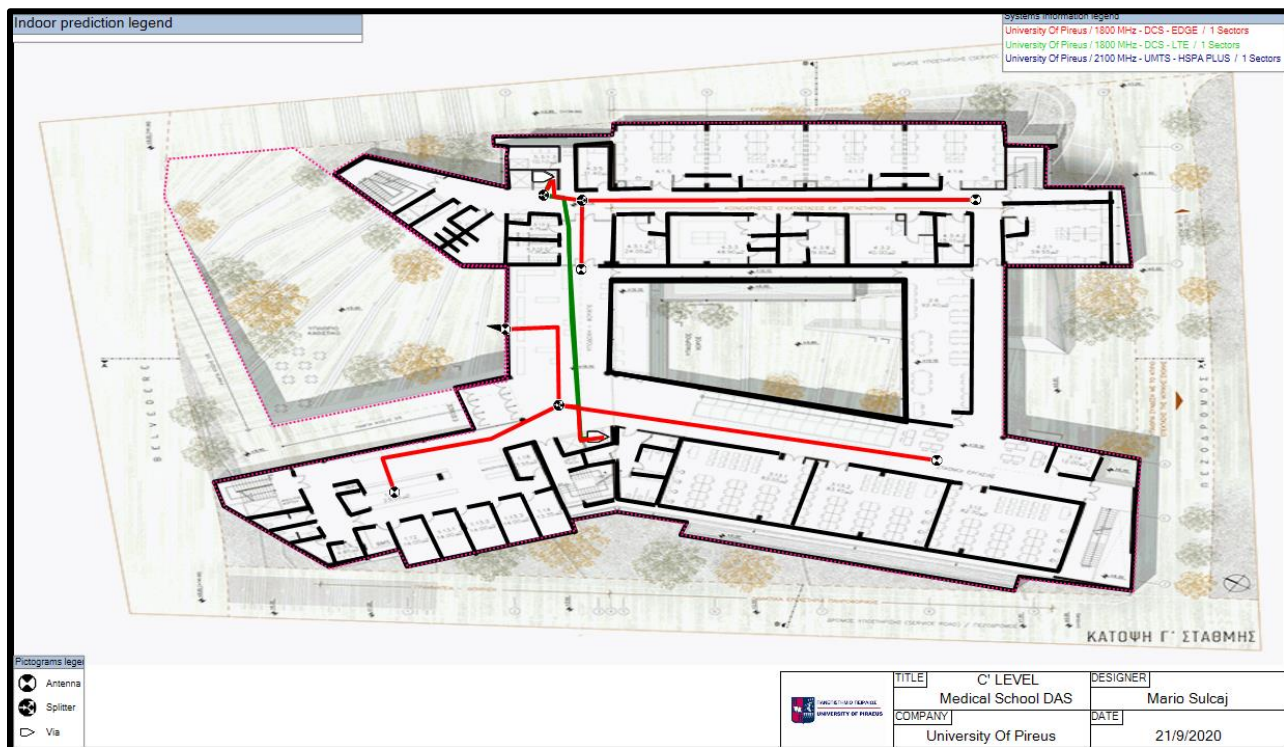
### Κατόψεις των επιπέδων του DAS



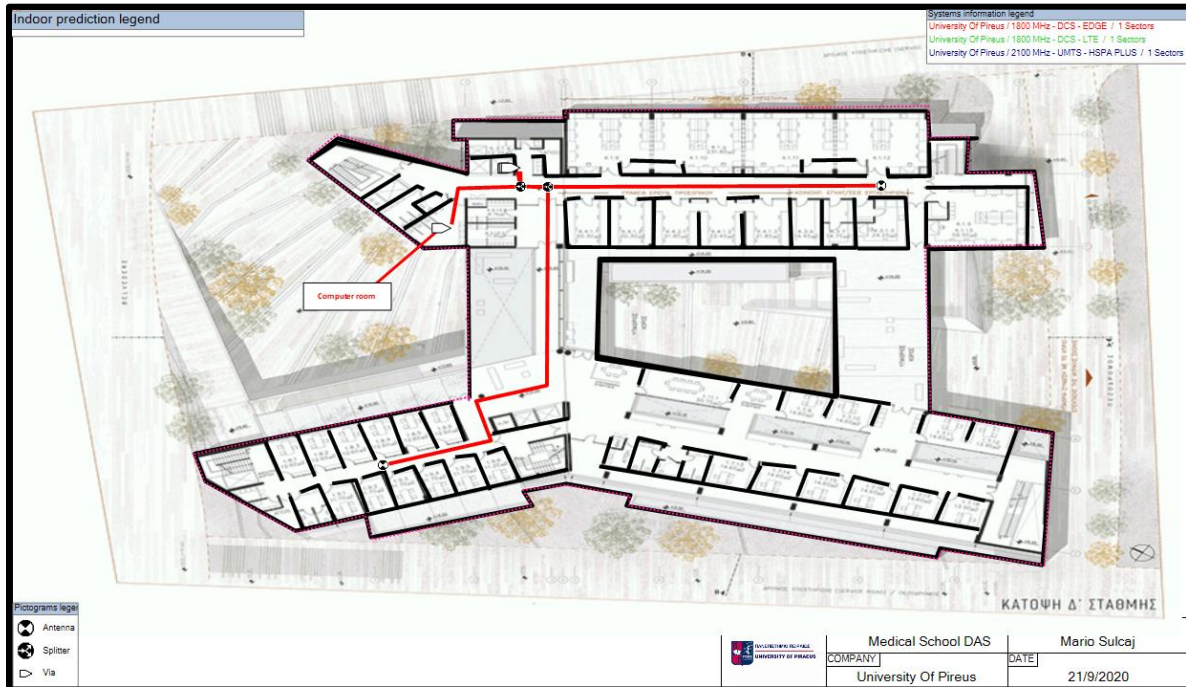
**Εικόνα 7.4:** Άποψη κάτοψης Α' επιπέδου



Εικόνα 7.5: Άποψη κάτοψης Β' επιπέδου.



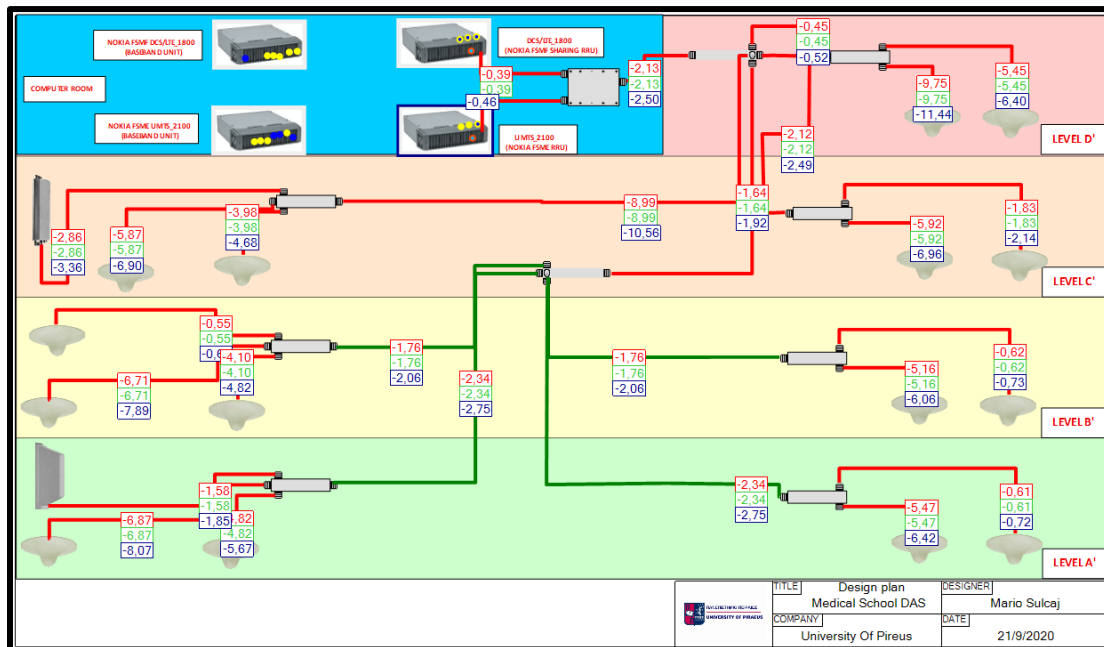
Εικόνα 7.6: Άποψη κάτοψης Γ' επιπέδου.



Εικόνα 7.7: Άποψη κάτοψης Δ' επιπέδου.

**Υπολογισμός RF απωλειών**

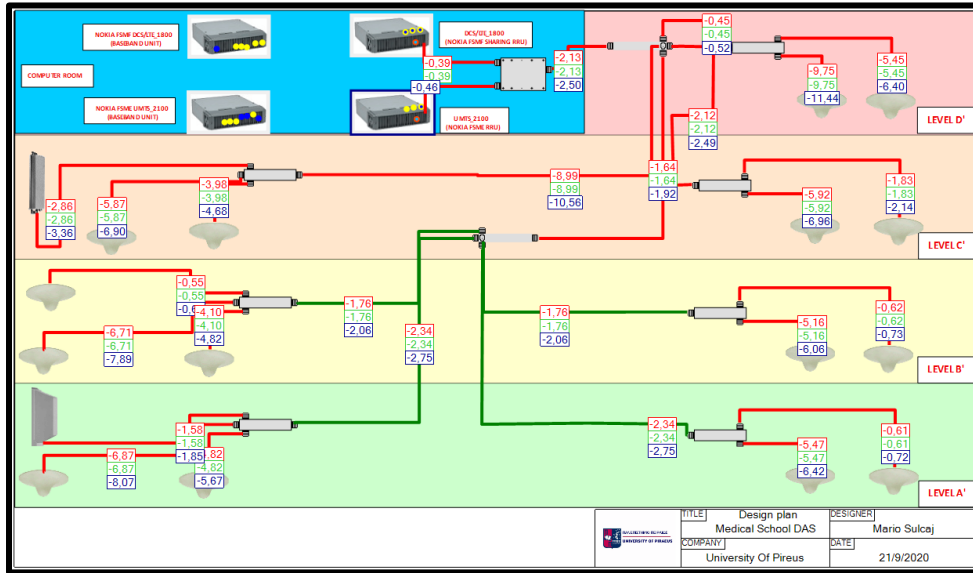
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό μπορεί και λαμβάνει υπόψιν του όλες τις απώλειες των RF καλωδίων αλλά και των συνδετήρων σε όλα τα σημεία του συστήματος. Στο σχέδιο DAS έχουν ληφθεί υπόψιν όλες οι απώλειες των καλωδίων ανά τεχνολογία (2G, 3G, 4G) και διαχωρίζονται χρωματικά.



Εικόνα 7.8: RF απώλειες ανά τεχνολογία.

### Υπολογισμός στάθμης εκπομπής

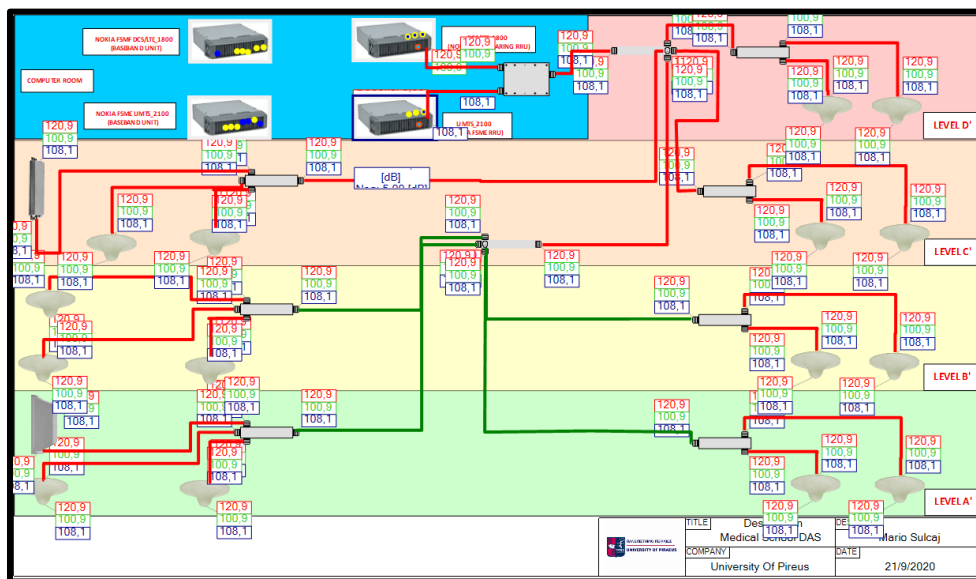
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό υπολογίζει την στάθμη εκπομπής από κάθε κεραία (MS RSSI). Έτσι ο σχεδιαστής μπορεί να γνωρίζει την ισχύ που θα εκπέμπεται από κάθε κεραία. Όλες οι λήψεις ανά τεχνολογία (2G, 3G, 4G) διαχωρίζονται χρωματικά.



Εικόνα 7.9: Στάθμη εκπομπής ανά τεχνολογία.

### Υπολογισμός επιπέδων θορύβου στο σύστημα

Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό υπολογίζει την στάθμη θορύβου που διαχέεται μέσα στο DAS σύστημα. Όλοι οι θόρυβοι ανά τεχνολογία (2G, 3G, 4G) διαχωρίζονται χρωματικά.



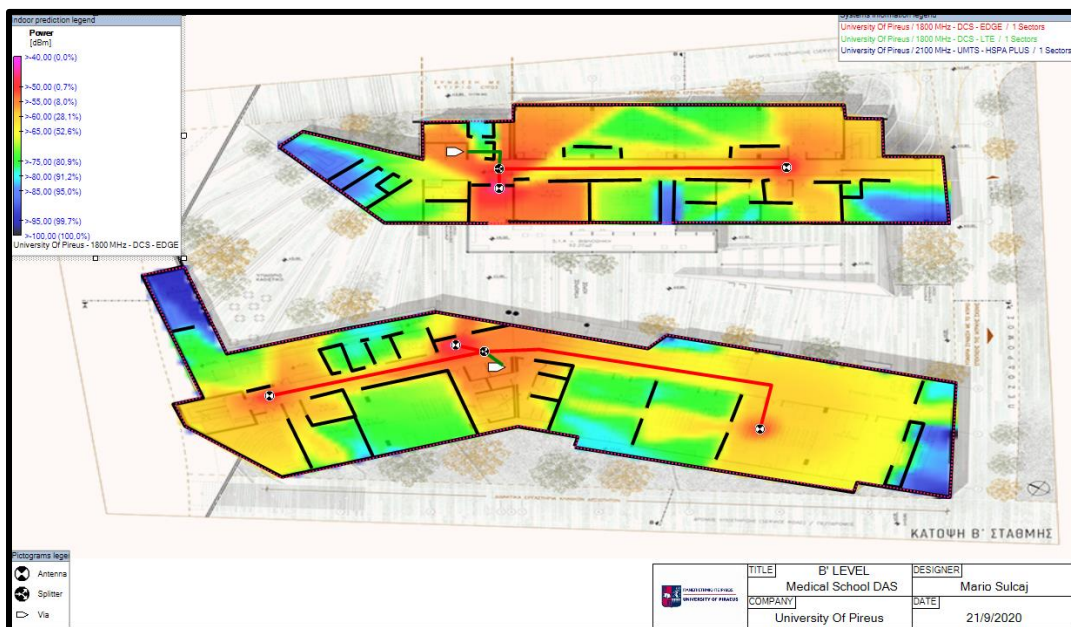
Εικόνα 7.10: Στάθμη θορύβου ανά τεχνολογία.

### Υπολογισμός ισχύς σήματος κατά μήκος του κάθε επιπέδου.

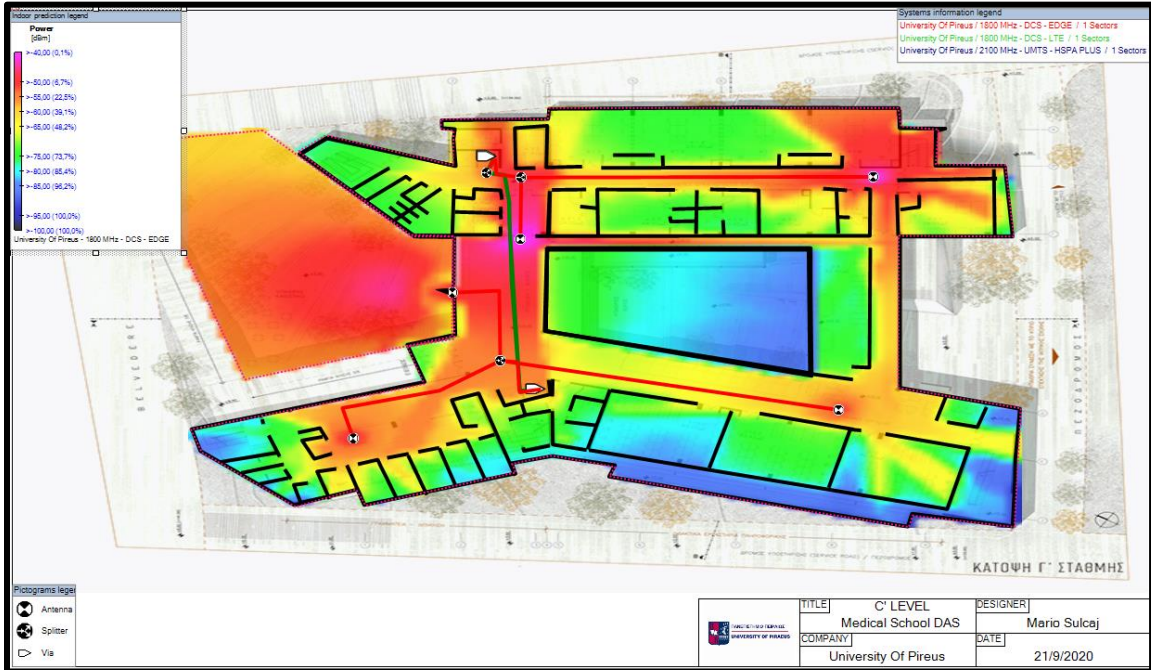
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια τα επίπεδα του σήματος σε κάθε όροφο. Μάλιστα ο σχεδιαστής μπορεί να μετακινήσει τον κόρσορα του υπολογιστή πάνω στην κάτοψη, σε οποιοδήποτε σημείο και να δει την ισχύ (στάθμη) για όλες τις τεχνολογίες. Μάλιστα η στάθμη αυτή απεικονίζεται και χρωματικά.



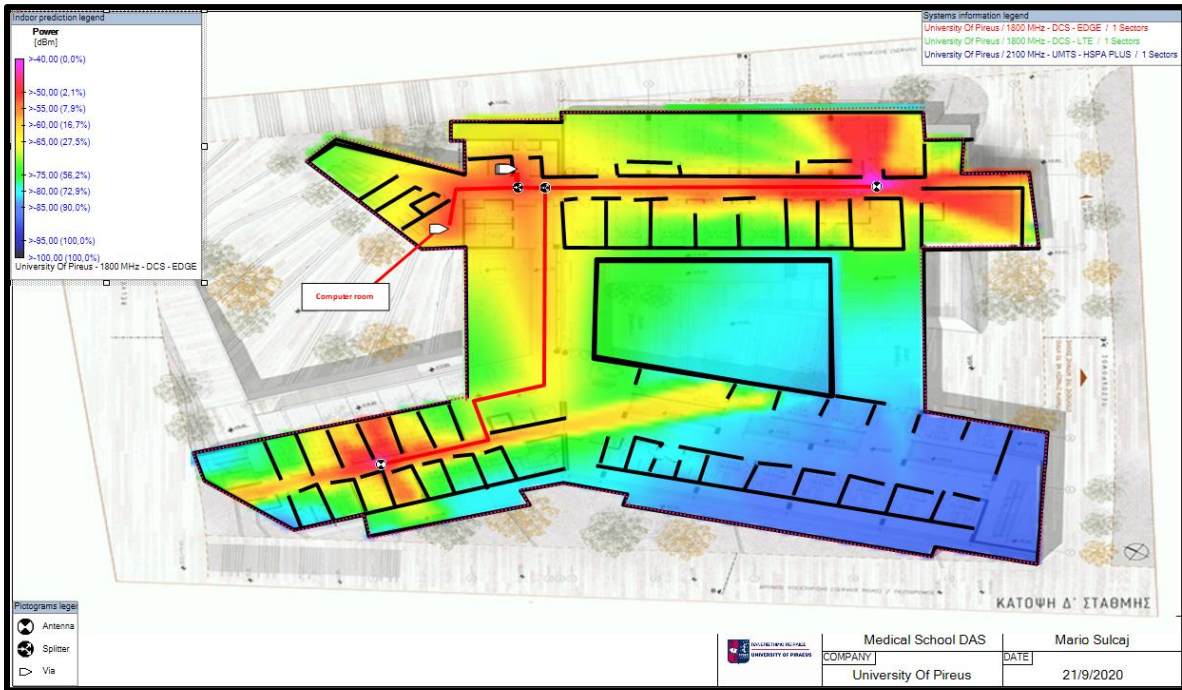
Εικόνα 7.11: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του σήματος κατά μήκος του επιπέδου (Α' επίπεδο).



Εικόνα 7.12: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του σήματος κατά μήκος του επιπέδου (Β' επίπεδο).



Εικόνα 7.13: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του σήματος κατά μήκος του επιπέδου (Γ' επίπεδο).

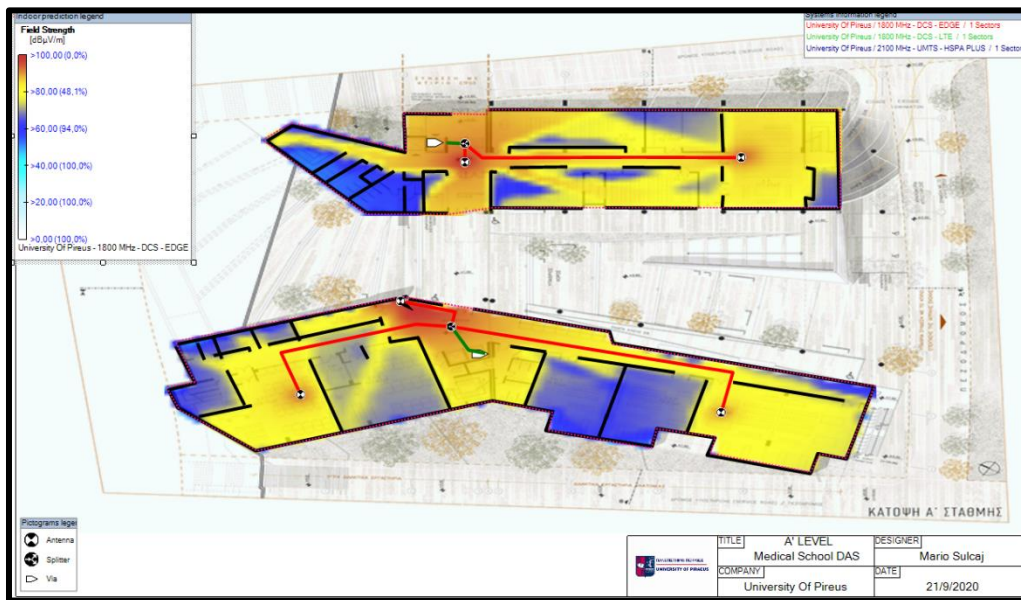


Εικόνα 7.14: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του σήματος κατά μήκος του επιπέδου (Δ' επίπεδο).



### Υπολογισμός ηλεκτρομαγνητικού φορτίου

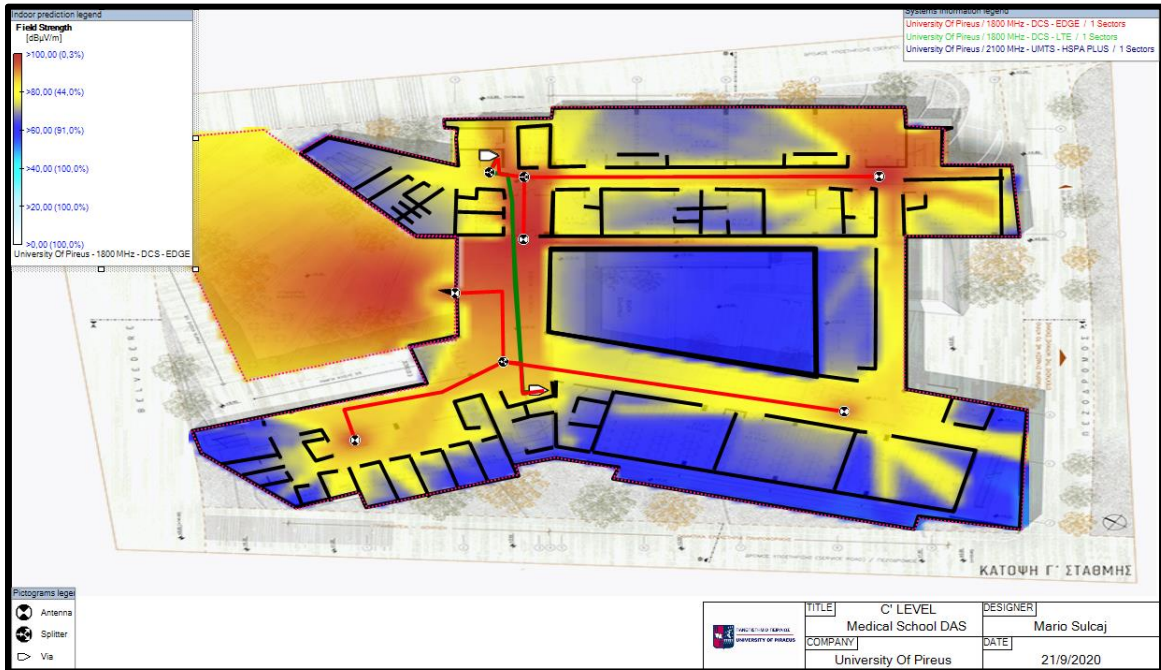
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό είναι σε θέση να υπολογίσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στον χώρο σχεδίασης. Για να μπορούν οι χρήστες να είναι ασφαλείς από τα υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας, τέτοιοι σχεδιασμοί είναι απαραίτητοι. Πολλές φορές μια ειδική επιτροπή έρχεται στον χώρο του DAS (αφού έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες εγκατάστασης) και διενεργούν μερικές μετρήσεις για να διαπιστωθεί αν τα ποσοστά ηλεκτρομαγνητικού φορτίου είναι στα επιθυμητά όρια.



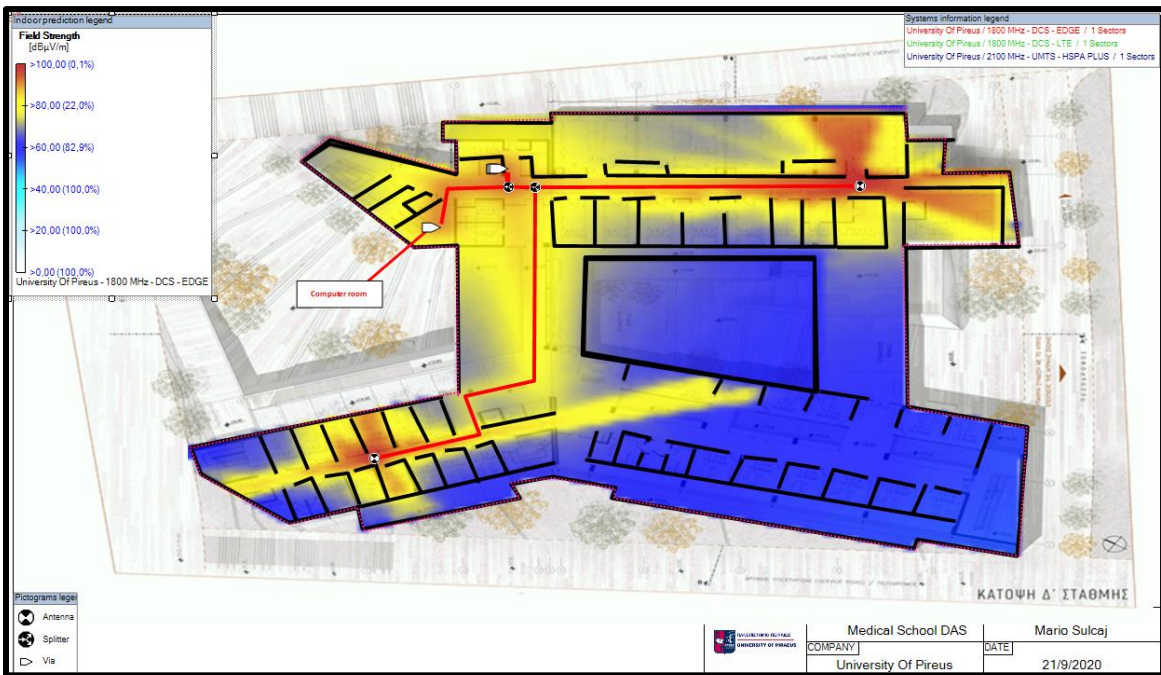
Εικόνα 7.15: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού φορτίου (Α' επίπεδο).



Εικόνα 7.16: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού φορτίου (Β' επίπεδο).



Εικόνα 7.17: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού φορτίου (Γ' επίπεδο).



Εικόνα 7.18: Χρωματική απεικόνιση στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού φορτίου (Δ' επίπεδο).

## Υπολογισμός μέγιστου ρυθμού μετάδοσης

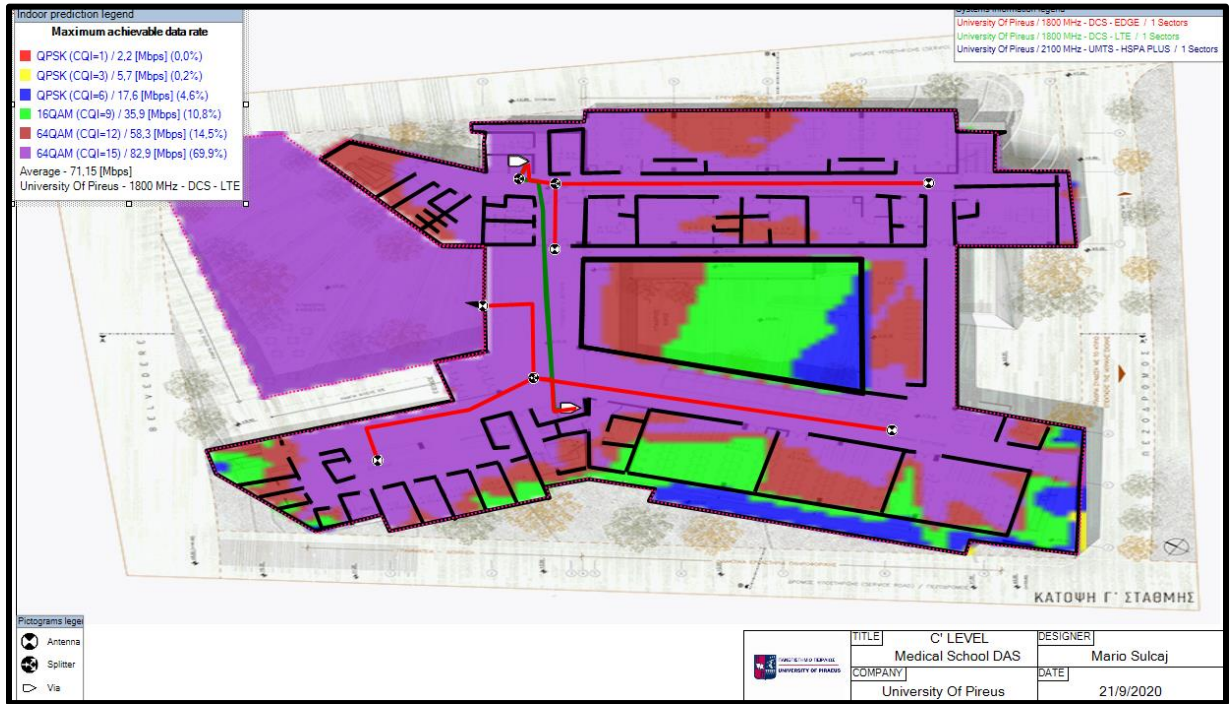
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό είναι σε θέση να υπολογίσει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο κτήριο. Γνωρίζοντας αυτή την παράμετρο, ο σχεδιαστής μπορεί να τροποποιήσει την σχεδίαση έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι των μέγιστων ρυθμών μετάδοσης. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται από τον πάροχο. Στην συνέχεια ακολουθούν οι υπολογισμοί μέγιστου ρυθμού μετάδοσης για το 4G. Φυσικά μπορούν να γίνουν οι ίδιοι υπολογισμοί για το 2G και 3G.



Εικόνα 7.19: Χρωματική απεικόνιση μέγιστου ρυθμού μετάδοσης 4G (Α' επίπεδο).



Εικόνα 7.20: Χρωματική απεικόνιση μέγιστου ρυθμού μετάδοσης 4G (Β' επίπεδο).



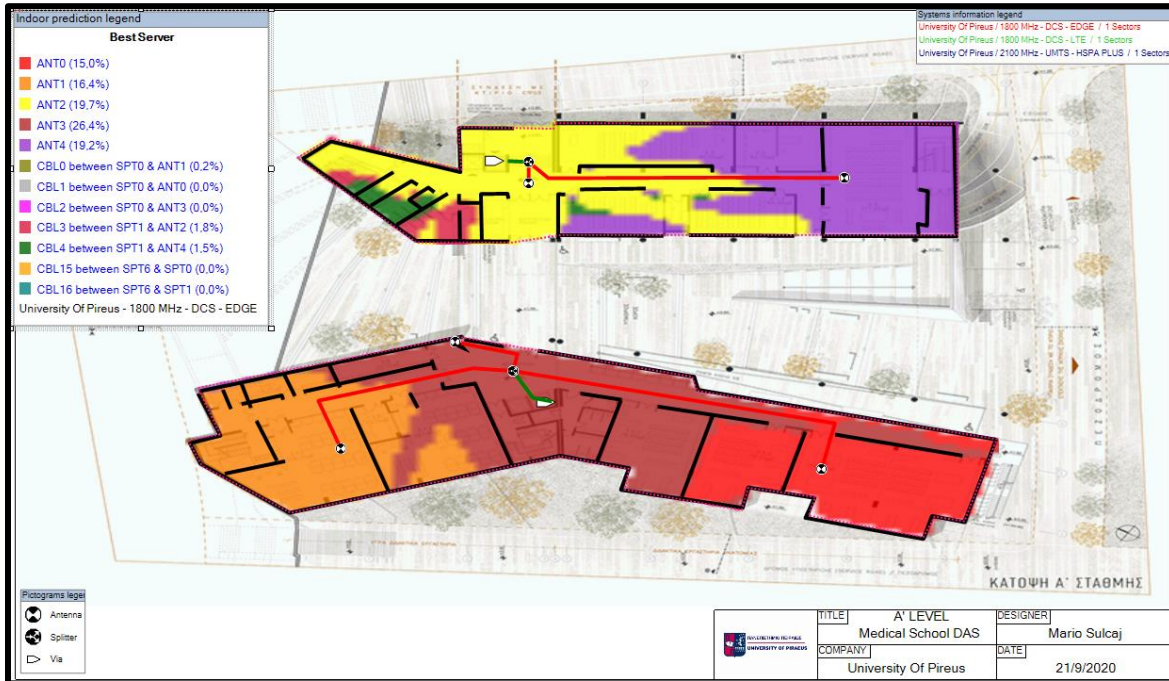
Εικόνα 7.21: Χρωματική απεικόνιση μέγιστου ρυθμού μετάδοσης 4G (Γ' επίπεδο).



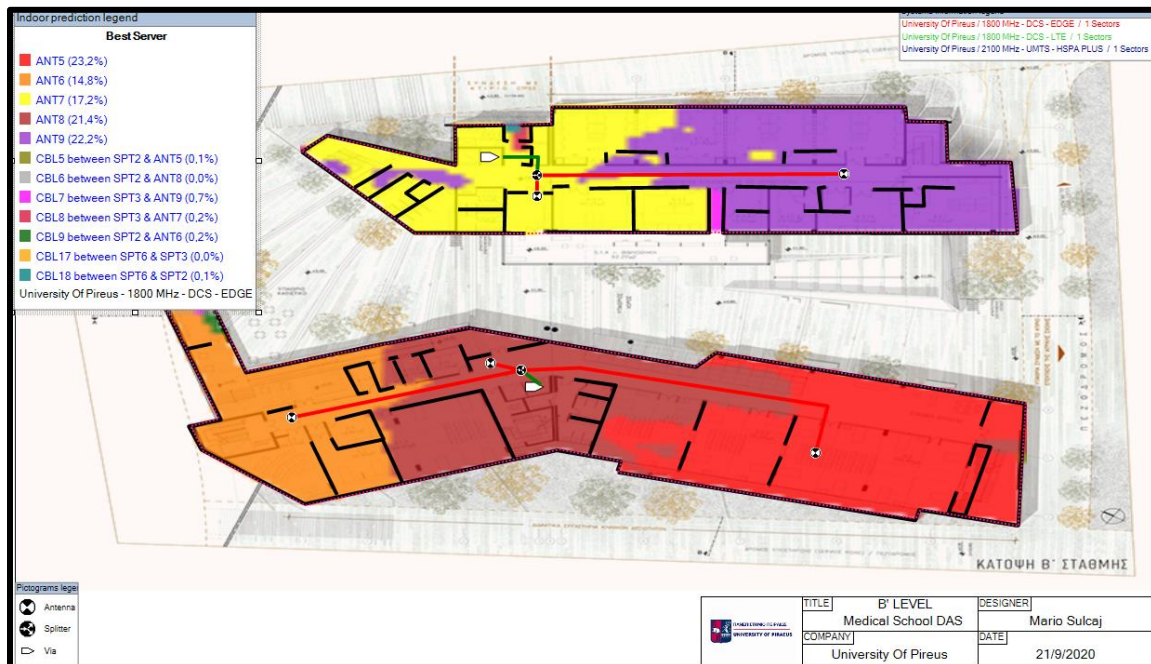
Εικόνα 7.22: Χρωματική απεικόνιση μέγιστου ρυθμού μετάδοσης 4G (Δ' επίπεδο).

## Υπολογισμός της καλύτερης κεραίας εξυπηρέτησης

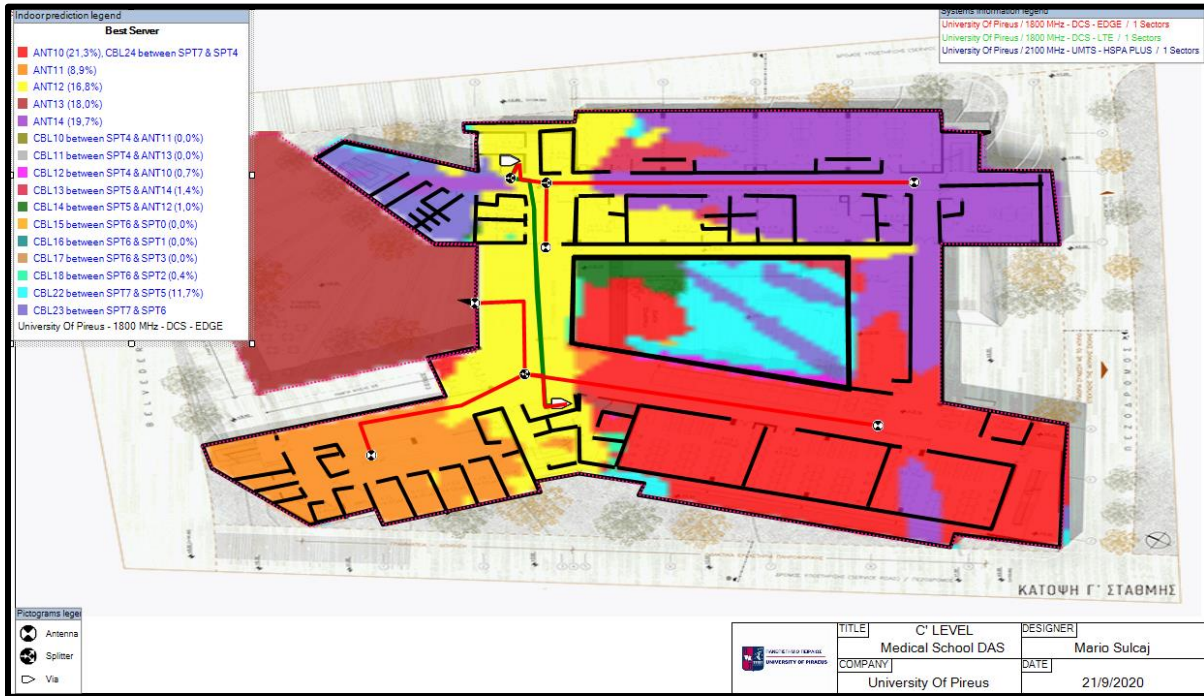
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό είναι σε θέση να υπολογίσει για κάθε σημείο του επιπέδου την κεραία που θα το εξυπηρετήσει. Έτσι ο σχεδιαστής μπορεί και γνωρίζει την υποπεριοχή κάλυψης της κεραίας.



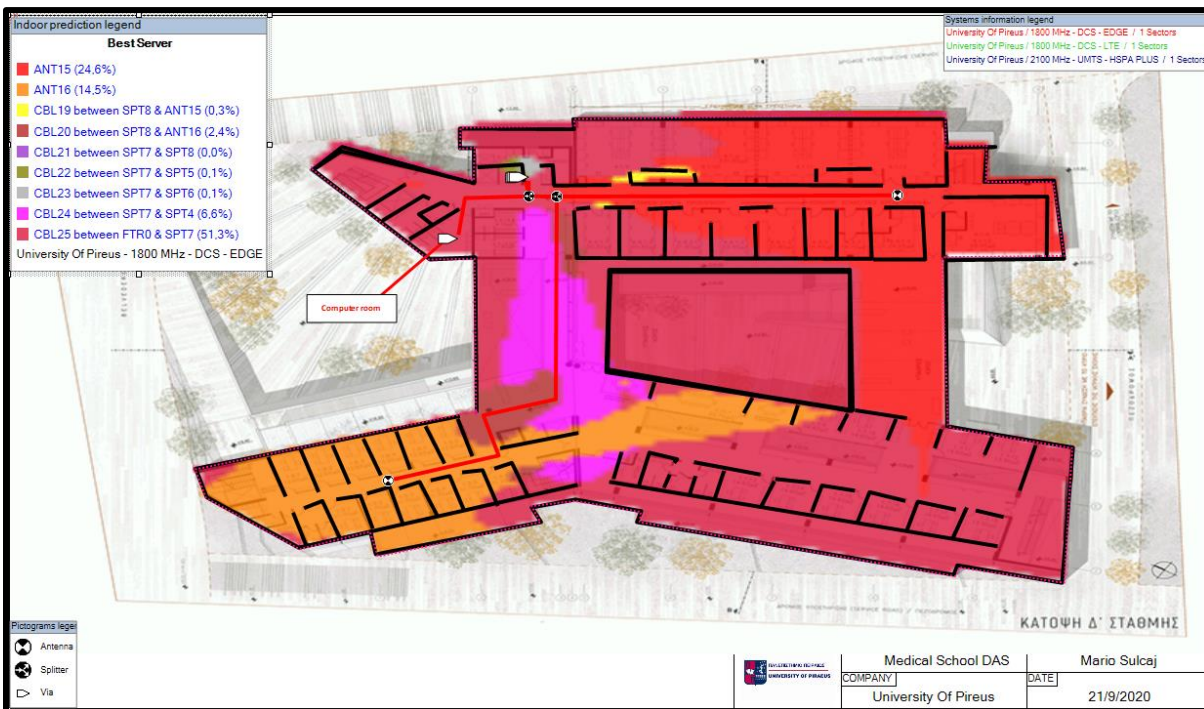
**Εικόνα 7.23:** Χρωματική απεικόνιση της καλύτερης κεραίας εξυπηρέτησης (Α' επίπεδο).



**Εικόνα 7.24:** Χρωματική απεικόνιση της καλύτερης κεραίας εξυπηρέτησης (Β' επίπεδο).



Εικόνα 7.25: Χρωματική απεικόνιση της καλύτερης κεραιάς εξυπηρέτησης (Γ' επίπεδο).



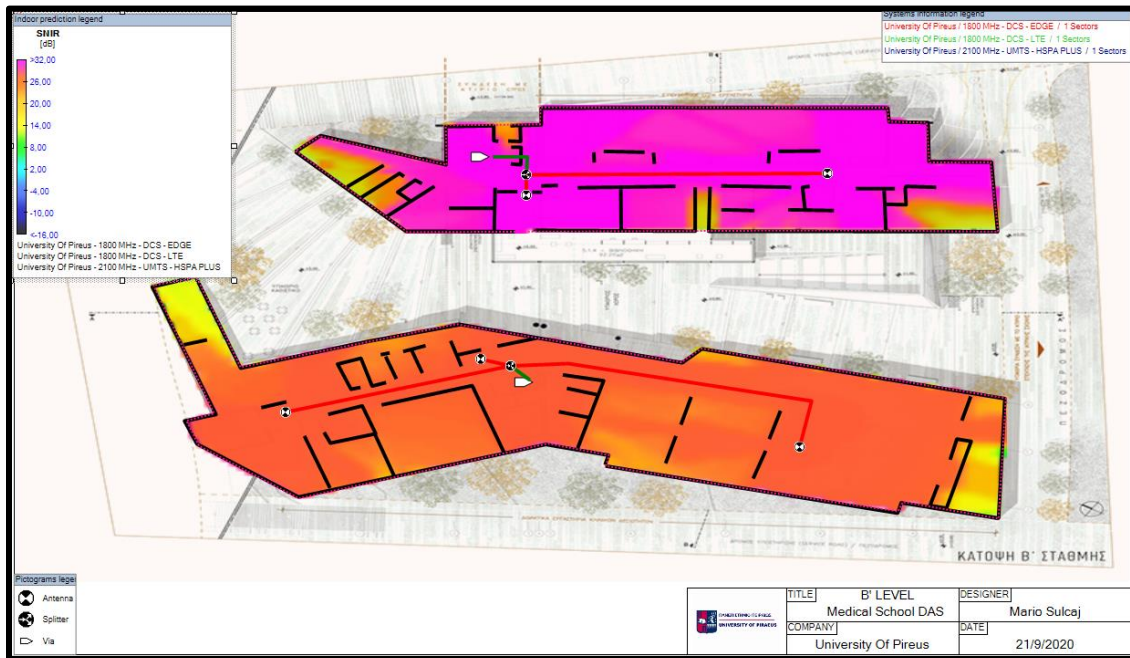
Εικόνα 7.26: Χρωματική απεικόνιση της καλύτερης κεραιάς εξυπηρέτησης (Δ' επίπεδο).

## Υπολογισμός του SNR

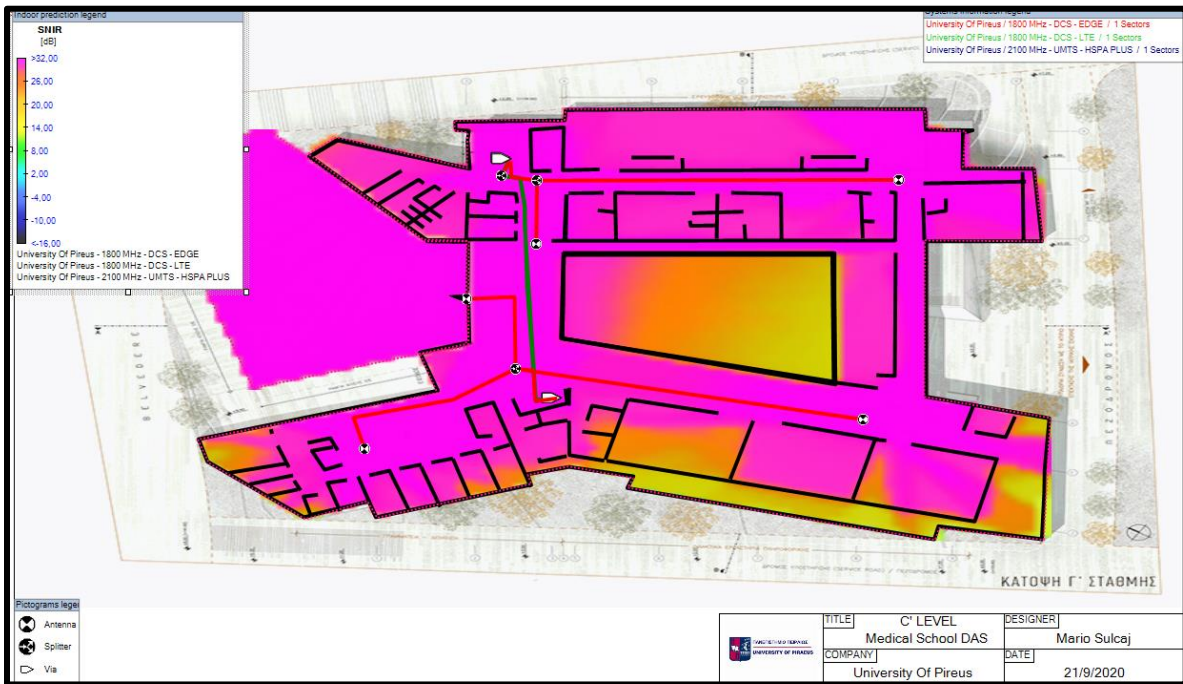
Το ειδικό σχεδιαστικό λογισμικό είναι σε θέση να υπολογίσει για κάθε σημείο του επιπέδου το SNR. Στην συνέχεια απεικονίζεται το SNR και στα τέσσερα επίπεδα του κτηρίου ενδιαφέροντος.



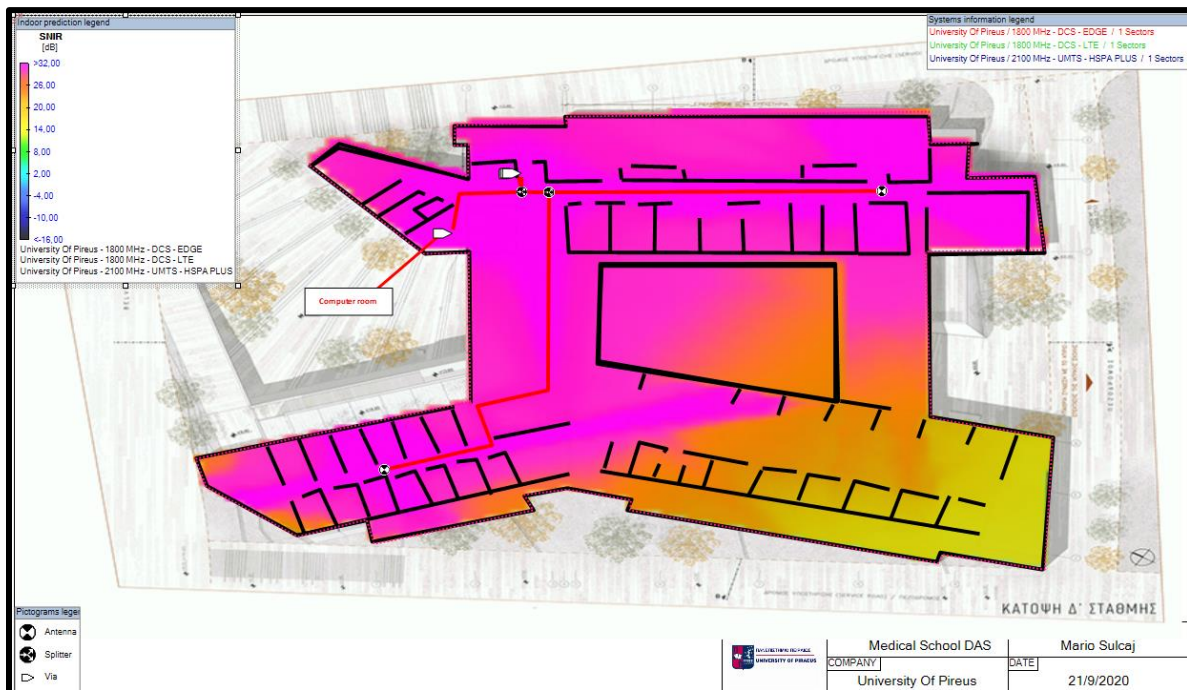
Εικόνα 7.27: Χρωματική απεικόνιση SNR (Α' επίπεδο).



Εικόνα 7.28: Χρωματική απεικόνιση SNR (Β' επίπεδο).



Εικόνα 7.29: Χρωματική απεικόνιση SNR (Γ' επίπεδο).



Εικόνα 7.30: Χρωματική απεικόνιση SNR (Δ' επίπεδο).





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] S.Sesia, I.Toufik and M.Baker, "LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice". 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69716-0.
- [2] J.Hågstrand, P.Karlsson,O.Silverplats, "Proof of Concept Implementation of UMTS Long Term Evolution". Luleå University of Technology, 2007.
- [3] Gessese Mengistu Kebede, Oladele Olayinka Paul, "Performance Evaluation of LTE Downlink with MIMO Techniques". Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, November, 2010.
- [4] Albert Serra Pagès, "A Long Term Evolution Link Level Simulator". Universitat Politècnica de Catalunya, February,2009.
- [5] F.Belloni, " Fading Models". Helsinki University of Technology, November, 2004.
- [6] Motorola, white paper, "Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview". 2007.
- [7] Ericsson, white paper "Long Term Evolution (LTE): an introduction" , October, 2007..
- [8] A.Hamza, "Long Term Evolution (LTE) - A Tutorial". Simon Fraser University, October, 2009.
- [9] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG "Introduction to MIMO - Application Note". München, 2009.
- [10] C. Mehlhrrer, M. Wrulich, J. C. Ikuno, D. Bosanska, and M. Rupp, "Simulating the Long Term Evolution Physical Layer", 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009), Glasgow, Scotland, 2009.
- [11] Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering, " Link Level Simulator Documentation, v1.3r620". Vienna University of Technology, Austria, February,2010.
- [12] J.G.Proakis, M.Salehi, "Συστήματα Τηλεπικοινωνιών". Μετάφραση - Επιμέλεια: Κ.Καρούμπαλος, Ε.Ζέρβας, Σ.Καραμπογιάς, Ε. Σαγκριώτης, Έκδοση Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, 2002. ISBN:960-8313-04-X.
- [13] Tshiteya Dikamba, "Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE)". Delft University of Technology, March,2011.
- [14] Μπερμπερίδης Κ., "Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες-Δισδιάστατες Κυματομορφές Σήματος". Βοηθητικές Διαφάνειες, Πατρα 2012.
- [15] Μπερμπερίδης Κ., "Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες-Θεωρία Πληροφορίας: Χωρητικότητα Καναλιού". Βοηθητικές Διαφάνειες, Πατρα 2012.
- [16] Airgo Networks, Bermai, Broadcom, Conexant, STMicroelectronics, Texas Instruments, "WWiSE IEEE 802.11n Proposal". August, 2004.
- [17] Signal-to-noise ratio-Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to\\_noise\\_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to_noise_ratio)
- [18] SINR-Wikipedia, the free encyclopedia - <http://en.wikipedia.org/wiki/SINR>

- 
- [19] Additive White Gaussian noise-Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/Additive\\_white\\_Gaussian\\_noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise)
- [20] LTE (telecommunication)-Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecommunication\)](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))
- [21] LTE, Long Term Evolution, Technology, 4G Americas - <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=249>
- [22] Long Term Evolution (LTE) Tutorials - <http://www.eventhelix.com/lte/lte-tutorials.htm>
- [23] LTE Whitepaper - <http://www.scribd.com/doc/20786641/LTE-Whitepaper>
- [24] Rayleigh multipath channel model - <http://www.dsplog.com/2008/07/14/rayleigh-multipath-channel/>
- [25] QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) - <http://www.tech-faq.com/qpsk.html>
- [26] Quadrature amplitude modulation - Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation)
- [27] Choosing between open- and closed- loop MIMO in BTS systems - <http://embedded-computing.com/article-id/?3973>
- [28] LTE Network Infrastructure and Elements- lteencyclopedia - <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-network-infrastructure-and-elements>
- [29] Fundamentals of LTE > Physical Layer Procedures and Scheduling > Channel Quality Indicator (CQI) Feedback - Pg .: Safari Books Online - <http://my.safaribooksonline.com/book/electrical-engineering/communications-engineering/9780137033638/physical-layer-procedures-and-scheduling/ch09lev1sec2>
- [30] User Equipment-Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/User\\_equipment](http://en.wikipedia.org/wiki/User_equipment)
- [31] Throughput -Wikipedia, the free encyclopedia - <http://en.wikipedia.org/wiki/Throughput>
- [32] Hybrid Automatic Repeat reQuest-Wikipedia, the free encyclopedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_automatic\\_repeat\\_request](http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_automatic_repeat_request)
- [33] LTE\_Link\_Level\_1.3\_r620 - 4shared.com download free-1 - [http://search.4shared.com/q/1/LTE\\_Link\\_Level\\_1.3\\_r620](http://search.4shared.com/q/1/LTE_Link_Level_1.3_r620)
- [34] Indoor Planning, A Practical Guide, Moltren Tolstrap, Willey
- [35] Υλικό από πτυχιακές και μελέτες συναδέλφων φοιτητών
- [36] Υλικό από [www.ibwave.com](http://www.ibwave.com)



