



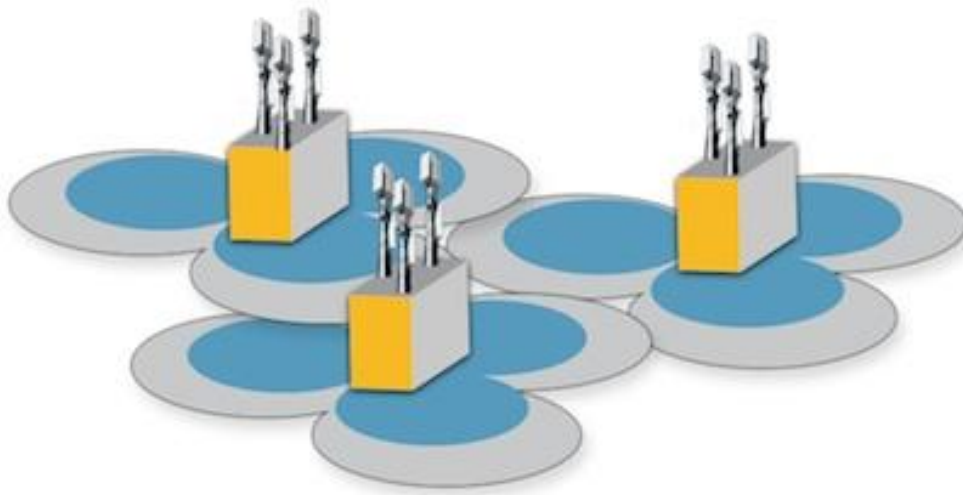
**Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων**  
**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογίου**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



### **Σχεδιασμός Δικτύου LTE σε Αστικό Περιβάλλον**



**Της Φοιτήτριας**

**Αγγελίνας Γκιώνη**

**Αρ. Μητρώου: 1171**

**Επιβλέπων καθηγητής**

**Δρ. Λούβρος Σπυρίδων**

**Επίκουρος Καθηγητής**

## ΑΦΙΕΡΩΣΗ

*Το παρόν σύγγραμμα αφιερώνεται στην οικογένεια μου.....*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

*Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τους γονείς μου για όλη την αμέριστη βοήθεια τους, την ηθική αλλά και οικονομική στήριξη τους, την υπομονή τους αλλά και τις θυσίες που έκαναν όλα αυτά τα χρόνια.*

*Η συγγραφέας θεωρεί ότι χρωστά ευγνωμοσύνη*

- *στην εταιρεία **Cosmote** η οποία με βοήθησε στα πλαίσια της πρακτικής μου εργασίας να εφαρμόσω τις θεωρητικές γνώσεις των σπουδών μου και να αποκτήσω τις ικανότητες της σχεδίασης κυτταρικών δικτύων.....*
- *Στο τμήμα **Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων & Δικτύων του ΤΕΙ Μεσολογγίου** για την παροχή όλων των χρησίμων θεωρητικών εφοδίων στην μελλοντική της επαγγελματική πορεία.....*

*Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω διάφορους ανθρώπους τους οποίους συνάντησα στην ζωή μου ως φοιτήτρια, συνεργάστηκα και με βοήθησαν ώστε να έχω την τιμή να μπορώ να συγγράψω επιτυχώς αυτήν την **Πτοχιακή Διατριβή**:*

*Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. **Λούβρο Σπυρίδωνα**, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος, για την ουσιαστική βοήθεια και την τεχνική καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσης Πτοχιακής Διατριβής.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει βασιστεί σε επιστημονικές εργασίες της διεθνούς βιβλιογραφίας καθώς και σε εκπαιδευτικά εγχειρίδια της εταιρείας Ericsson. Η αποτύπωση των παραπάνω πληροφοριών αποτελεί την προσπάθεια της συγγραφέως να:

- Εξηγήσει με λεπτομέρειες την λειτουργία του Δικτύου LTE στην διεπαφή αέρα
- Να δώσει τεχνικές λεπτομέρειες οι οποίες αφορούν τον φυσικό επίπεδο στην διεπαφή του αέρα (Uu interface) με έμφαση στην τεχνολογία OFDMA
- Να σκιαγραφήσει λεπτομερώς τις διεργασίες του MAC επιπέδου όπου λειτουργεί ο MAC Scheduler ο οποίος και ρυθμίζει την τελική ρυθμαπόδοση της επικοινωνίας
- Να περιγράψει λεπτομερώς τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ένας σχεδιαστής δικτύου ώστε να μπορέσει να σχεδιάσει την κυτταρική κάλυψη επιτυχώς σε ένα Broadband Wireless Access Network όπως το δίκτυο LTE
- Να παρουσιάσει μία λεπτομερή εφαρμογή των παραπάνω ιδεών στον σχεδιασμό μίας περιοχής της Ελλάδος, της παλαιάς πόλεως της Κερκύρας, όπου έχει η συγγράφουσα την τιμή να κατάγεται

Η συγγραφέας θεωρεί ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία αποτελεί μία επιστημονικά θεμελιωμένη εργασία σχεδιασμού του ράδιο δικτύου LTE. Εντούτοις πολλά θέματα δεν έχουν αναφερθεί στην παρούσα εργασία λόγω έκτασης χώρου.

Τέλος η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει εφαλτήριο για άλλες παρόμοιες εργασίες σε Πανεπιστήμια και ΤΕΙ της χώρας ή του εξωτερικού, καθώς θα μπορούσε να επεκταθεί στην μελέτη περαιτέρω τεχνικών παραμέτρων οι οποίες θα μπορούσαν να προκύψουν από προσομοιώσεις ή πραγματικές μετρήσεις δικτύου.

## Περιεχόμενα

1.1 Ιστορική Αναδρομή .....	7
1.2 Το δίκτυο προσβάσεως LTE – Μία εισαγωγική προσέγγιση. ....	11
1.2.1 LTE - Απαιτήσεις ( <i>design requirements – standard’s demands</i> ) .....	12
1.2.2 LTE radio interface .....	13
2.1 Radio Interface Structure – Signaling perspective .....	17
2.2 Το φυσικό επίπεδο (physical layer) της διεπαφής αέρα δικτύου LTE .....	18
2.2.1 Γενικές Πληροφορίες.....	18
2.2.2 Ερμηνεία των παραμέτρων του OFDM .....	21
2.2.3 Βασικές αρχές διαμόρφωσης OFDM.....	31
3.1 Βασικές Ιδέες Σχεδιασμού του Ράδιο Δίκτυο LTE .....	39
3.2 Σύνομη Περιγραφή Λειτουργίας MAC Scheduler.....	43
3.3 Πρακτική Εκτίμηση Ρυθμαπόδοσης δικτύου LTE – Μία προσεγγιστική αντιμετώπιση βασισμένη στο OFDM grid. ....	56
3.3.1 Αριθμός διαθέσιμων RE’s για user data PDSCH channel στην κατηγορία των οκτώ high data rate subframes. ....	57
3.3.2 Αριθμός διαθέσιμων RE’s για user data PDSCH channel στην ειδική κατηγορία του subframe #5.....	62
3.3.3 Αριθμός διαθέσιμων RE’s για user data PDSCH channel στην ειδική κατηγορία του subframe #0.....	65
3.3.4 Εφαρμογή – εκτίμηση μεγίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. ....	69
3.3.5 Εφαρμογή – εκτίμηση ελαχίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο downlink. Η περίπτωση του downlink cell edge user. ....	73
3.3.6 Εφαρμογή – εκτίμηση ελαχίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο uplink. Η περίπτωση του uplink cell edge user. ....	84
3.3.7 Εφαρμογή – εκτίμηση καθυστέρησης (Round trip time ή delay) μετάδοσης δεδομένων στο uplink. Η περίπτωση του uplink cell edge user. ....	87
4.1 Εισαγωγικά Σχόλια – πρακτικός σχεδιασμός Ράδιο Δικτύου LTE .....	95
4.2 Σχεδιαστικά στάδια – Uplink scenario .....	99
4.2.1 Απαιτήσεις και Περιορισμοί του πελάτη (operator determined restrictions).....	99

4.2.2 Uplink bit rate per RB (RRB,UL) & επιθυμητός σηματοθορυβικός λόγος $\gamma_{\text{target}}$ .....	100
4.2.3 Το αναμενόμενο φορτίο του κυττάρου (expected cell load) $Q_{UL}$ .....	103
4.2.4 Το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης παρεμβολής πάνω από το υπόβαθρο θορύβου $B_{IUL}$ (Interference margin above Noise Floor). .....	104
4.2.5 Ευαισθησία δέκτη (ENodeB Receiver uplink sensitivity) $S_{eNodeB}$ .....	106
4.2.6 Υπολογισμός μεγίστης απώλειας ισχύος (maximum uplink path loss $L_{pmax}$ ) .....	107
4.2.7 Υπολογισμός μεγέθους κυττάρου (estimated cell range) $cell_{\text{range}}$ .....	111
4.3 Σχεδιαστικά στάδια – Downlink scenario.....	112
4.3.1 Υπολογισμός μεγίστης εξασθένησης σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ ).....	112
4.3.2 Εκτίμηση της παρεμβολής πάνω από τον θόρυβο υποβάθρου στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (Downlink Interference rise estimation above Noise Floor) $B_{IDL}$ .....	114
4.3.3 Υπολογισμός μεγίστης εξασθένησης σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ ).....	117
4.3.3.1 Downlink cell edge SINR ( $\gamma$ ) .....	117
4.3.3.2 Semi-empirical parameters in DL.....	118
4.3.3.3 Εκτιμώμενη Ρυθμαπόδοση στην κάτω ζεύξη στα άκρα του κυττάρου (Downlink Cell Edge Throughput) ( $T_{DL,edge}$ ) .....	119
5.1 Σχεδιασμός Δικτύου – Εφαρμογή .....	121
5.2 Σχεδιασμός κυτταρικής κάλυψης - Πλατεία Κερκύρας.....	125
5.3 Παλαιά Πόλη Κερκύρας.....	130

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ LTE



### 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Ξεκινώντας την ιστορική αναδρομή από τα πλέον πρώιμα στάδια της τεχνολογίας θα λέγαμε ότι η τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε αμέσως μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, με τις πρώτες προσπάθειες των Σουηδών, Φιλανδών (Nordic team) και Αμερικανών που ουσιαστικά βασιζόταν στην τεχνολογία του ραδιοφώνου [1]. Η αρχική χρήση της κινητής επικοινωνίας εγκαινιάσθηκε στην Σουηδία το 1946 αστυνομικά οχήματα όταν δύο ραδιόφωνα χρησιμοποιήθηκαν για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ήταν σε θέση να κάνουν 6 τηλεφωνήματα πριν η μπαταρία του αυτοκινήτου να αποξηρανθεί. Εν συνεχεία το 1947 γεννιέται η ιδέα του κινητού τηλεφώνου, όταν οι επιστήμονες της AT&T (American Telephone & Telegraph) συνειδητοποιούν ότι ένας πομπός μικρής εμβέλειας μπορεί να μεταμορφωθεί σε πομπό μεγάλης εμβέλειας συνδέοντας πολλά κύτταρα ενός τοπικού δικτύου. Έτσι το 1950 διαδίδονται τα τηλέφωνα στο αυτοκίνητο και το 1954 ο επιχειρηματίας Larrabee πραγματοποιεί μια κλήση από το τηλέφωνο της λιμουζίνας του. Επί της ουσίας το 1967 το κινητό τηλέφωνο ήταν διαθέσιμο, ωστόσο, ο χρήστης δεν είχε την δυνατότητα μεταγωγής της κλήσης του σε άλλο κύτταρο (αν έκανε μια τηλεφωνική κλήση, έπρεπε να μείνει μέσα στην ίδια περιοχή κάλυψης (κύτταρο). Αυτό το πρόβλημα λύθηκε το 1970 από έναν μηχανικό της Bell Labs, τον Amos Edward Joel, με την εισαγωγή του αλγορίθμου μεταγωγής (handoff ή handover). Το 1971 η AT&T υπέβαλε αίτηση στην FCC για έγκριση, ανάπτυξης υπηρεσιών κυψέλης. Χρειάστηκαν περισσότερα από 10 χρόνια για τη χορήγησή της που δόθηκε τελικά το 1982. Εντούτοις η 3<sup>η</sup> Απριλίου 1973 θεωρείται η ληξιαρχική ημερομηνία «γέννησής» της κινητής τηλεφωνίας, όταν ο δόκτωρ Μάρτιν Κούπερ της «Μοτορόλα», περπατώντας σ' ένα δρόμο της Νέας Υόρκης ήξερε ότι έγραφε ιστορία. Στα χέρια του κρατούσε μια συσκευή που έμοιαζε με φορητό ασύρματο. Είχε ύψος 25 εκατοστά και βάρος 900 γραμμάρια. Ήταν το πρώτο σύγχρονο κινητό τηλέφωνο με τον κωδικό MotorolaDynaTAC. Σχημάτισε τον αριθμό του βασικού ανταγωνιστή του, Τζόελ Ένγκελ, που δούλευε για λογαριασμό της Bell Labs. «Γεια σου Τζο, σου μιλάω από ένα αληθινό κινητό τηλέφωνο» του είπε. Η Bell πήρε όμως τη ρεβάνς το 1978, κατασκευάζοντας το πρώτο δοκιμαστικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, που ήταν αναγκαίο για την εξέλιξη και

την εμπορική εκμετάλλευση του κινητού. Έτσι το 1979 αρχίζει η λειτουργία του πρώτου εμπορικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας στο Τόκιο.

.....και εδώ ξεκινάει η σύγχρονη ιστορία της κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς (1G) περιλαμβάνουν συστήματα όπως το NMT (Nordic Mobile Telephony), AMPS (Advanced Mobile Phone Service) και TACS (Total Access Communication System) τα οποία έχουν ως κοινό την μετάδοση της φωνής με αναλογικές τεχνικές προσβάσεως χρησιμοποιώντας διαμοιρασμό φάσματος FDMA (Frequency Division Multiple Access). Αναφορικά δίδεται η πληροφορία ότι το NMT αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 και λειτούργησε για πρώτη φορά το 1981.

Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) περιλαμβάνουν συστήματα όπως το GSM (Global System for Mobile Communication), D-AMPS (Dual-mode AMPS), PDC (Personal Digital Communications) και IS-95. Η καινοτομία σε αυτά τα συστήματα ήταν η υποστήριξη ταυτόχρονα δύο διαφορετικών υπηρεσιών circuit switched, φωνής και δεδομένων, χρησιμοποιώντας τεχνικές προσβάσεως με διαμοιρασμό χρόνου, TDMA ή χρησιμοποίηση κωδικών, CDMA. Το GSM ξεκίνησε το 1982 και υλοποιήθηκε το 1991. Επομένως το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Το D-AMPS είναι και αυτό ένα ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Περιγράφεται στο Διεθνές Πρότυπο IS-54 και στο διάδοχο του IS-136. Σχεδιάστηκε για να συνυπάρχει με το AMPS, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια κυψέλη κινητά τηλέφωνα τόσο πρώτης όσο και δεύτερης γενιάς. Χρησιμοποιεί τα ίδια κανάλια των 30 kHz όπως το AMPS και στις δύο συχνότητες, οπότε ένα κανάλι μπορεί να είναι αναλογικό και τα γειτονικά του να είναι ψηφιακά. Το σύστημα PDC είναι μια τεχνολογία δεύτερης γενιάς που χρησιμοποιείται στην ψηφιακή κυτταρική επικοινωνία στην Ιαπωνία. Λειτουργεί στις ζώνες των 800MHz και των 1,500MHz, κάνοντας πολύ αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Εξέλιξη της τεχνολογίας 2G είναι το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων GPRS (General Packet Radio Service), όπου συχνά αναφέρεται ως 2,5G, και επιπλέον το EDGE (Enhanced Data rates for GSM and TDMA Evolution), το οποίο αναφέρεται και ως 2,75G. Το GPRS επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων (data communications) βάσει τεχνικών packet switching μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM. Το EDGE επιτρέπει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με πλήρη συμβατότητα προς τις προηγούμενες τεχνολογίες δικτύων κινητής τηλεφωνίας (backwards compatibility), λειτουργώντας εντέλει ως επέκταση του GSM. Βελτιώνει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης ανά ράδιο-κανάλι, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση χωρητικότητας και απόδοσης σε σχέση με μία συμβατική διασύνδεση GSM/GPRS. Με την εξέλιξή του ως Evolved EDGE (εξελιγμένο EDGE), προσφέρει υπηρεσίες με μεγαλύτερη ρυθμική απόδοση και καλλίτερη ποιότητα υπηρεσίας αναφορικά με τα λάθη στο ασύρματο κανάλι.

Το 1986 η ITU (International Telecommunication Union) ξεκίνησε να επεξεργάζεται το πρότυπο IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000 MHz), το οποίο αποτέλεσε και το βασικό πρότυπο για κάθε δίκτυο τρίτης γενιάς (3G). Το 1992, η World Administrative Radio Conference (WARC) καταχώρησε τις μπάντες ραδιοσυχνοτήτων 1885-2025 και 2110-2200 MHz ως παγκόσμιο φάσμα για το 3G σύστημα. Τον Ιανουάριο του 1998, η Telecommunications Standards Institute (ETSI) μετά από συμφωνία επέλεξε ως



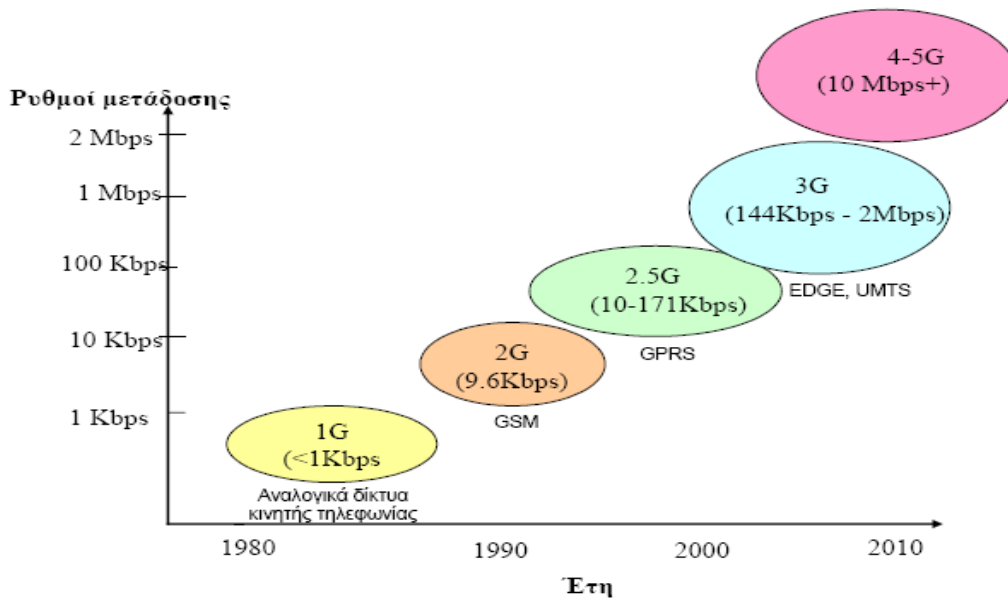
μεθόδους πολλαπλής πρόσβασης τα WCDMA (Wide Band Code Division Multiple Access) και TD-CDMA (Time Division- Code Division Multiple Access) για τις καταστάσεις FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex) της UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), αντίστοιχα. Ο όρος UMTS χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για τα 3G συστήματα. Τα 3G προωθήθηκαν εμπορικά το 2001 στην Ιαπωνία και το 2003 στην Ευρώπη.

Αλλά τι είναι εντέλει η 3GPP;; Η 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) είναι μια συνεργασία των αντιστοίχων οργανισμών τηλεπικοινωνιών παγκοσμίως, με απώτερο σκοπό την δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς με τυποποιημένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Οι προδιαγραφές του 3GPP, βασίζονται σε μια εξέλιξη των προδιαγραφών του συστήματος GSM. Η συνεργασία αυτή έφερε σε επικοινωνία έναν αριθμό από οργανισμούς τηλεπικοινωνιακών προτύπων, όπως η ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), CCSA (China Communications Standards Association), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), TTA (Telecommunications Technology Association), και TTC (Telecommunication Technology Committee).

Η εξέλιξη του δικτύου 3G καλείται HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) και HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Το HSDPA ορίζεται στην έκδοση (Release 5) - 2002) και το HSUPA ορίζεται στη έκδοση (Release 6) - 2004). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται στο downlink στα 14 Mbps και στο uplink στα 5,76 Mbps. Τα HSDPA και HSUPA αναφέρονται ως HSxPA (High Speed Packet Access). Το HSUPA καλείται επίσης και EUL (Enhanced Uplink) στην διεθνή βιβλιογραφία.

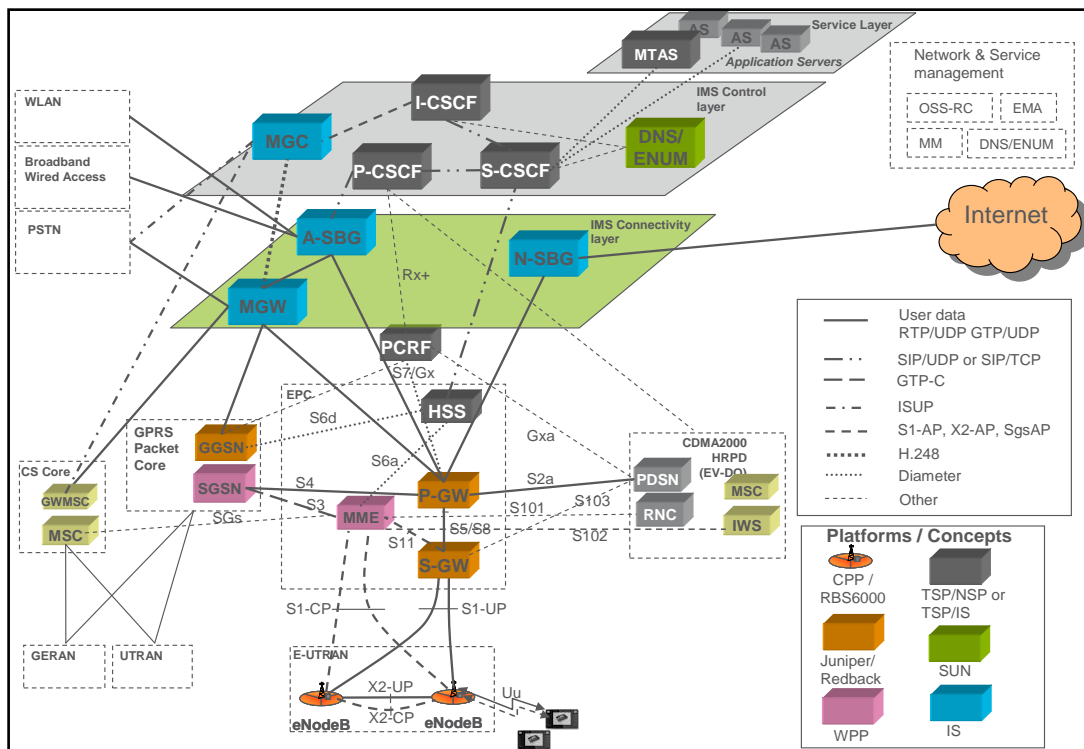
Το επόμενο βήμα για την εξέλιξη των δικτύων τρίτης γενιάς καλείται HSPA evolution ή HSPA+, ορίζεται στη έκδοση 7 και 8. Η έκδοση 7 περιείχε την πρώτη εργασία πάνω στο LTE/SAE με την ολοκλήρωση των μελετών και τις περαιτέρω βελτιώσεις που έγιναν στο HSPA, όπως η κατερχόμενη (downlink) σύνδεση MIMO, 64 QAM στην κατερχόμενη ζεύξη και 16 QAM στη ανερχόμενη (uplink) ζεύξη. Η έκδοση 8 συνεχίζει να εξελίσσεται με την προσθήκη τεχνικών χαρακτηριστικών όπως το dual cell HSDPA και διαμορφώσεις 64QAM με χρήση τεχνικών 2x2 MIMO. Η κύρια εργασία της έκδοσης 8 είναι το δίκτυο LTE, το οποίο θα τροποποιηθεί με τις εκδόσεις 10, 11 & 12 αποκαλούμενο ως LTE-Advanced, μία υποψήφια τεχνολογία, γνωστή και ως 4G. Το σχήμα 1.1 συνοψίζει εν συντομία την ιστορία των κυψελωτών τεχνολογιών.

Έτσι τον Σεπτέμβριο του 2007 η οικογένεια της 3GPP επεκτάθηκε με ακόμα ένα μέλος, την E-UTRAN (Evolved UTRAN). Πάνω από 50 εταιρίες και ινστιτούτα έρευνας πήραν μέρος στην μεγαλύτερη προσπάθεια ένωσης προτύπων για να οριστεί η νέα παγκόσμια ασύρματη πρόσβαση και η τεχνολογία του εξελισσόμενου πυρήνα δικτύου. Η 3GPP δημιούργησε επομένως ομάδες σε δύο διακριτά αντικείμενα εργασίας, το LTE (Long Term Evolution) και το SAE (System Architecture Evolution). Το LTE στοχεύει στην εξέλιξη του ασύρματου δικτύου (radio access network), ενώ το SAE στοχεύει στην εξέλιξη του δικτύου κορμού (core network). Επειδή το LTE είναι η εξέλιξη του UMTS, τα δομικά μέρη της αρχιτεκτονικής του LTE ονομάζονται Evolved UTRA (E-UTRA) και Evolved UTRAN (E-UTRAN). Αυτοί είναι οι επίσημοι όροι για να περιγράψουν το δίκτυο ασυρμάτου προσβάσεως RAN (Radio Access Network).



Σχήμα 1.1: Χρονολογική Αναδρομή

Η κεντρική ιδέα της 3GPP είναι να αναπτυχθεί μία ενιαία δικτυακή τοπολογία κορμού (core network architecture) η οποία να περικλείει όλα τα υπάρχοντα δίκτυα πρόσβασης (Radio Access Networks GSM/GPRS, WCDMA, HSPA, LTE) και να επιτρέπει στους χρήστες να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε οποιαδήποτε υπηρεσία από οποιαδήποτε συσκευή και δίκτυο πρόσβασης.



Σχήμα 1.2. Συνδυασμένη Αρχιτεκτονική τεχνολογιών LTE, 3G & 2G.

Στο σχήμα 1.2 [2] φαίνεται αυτή η αρχιτεκτονική. Κάθε πάροχος εξοπλισμού (3GPP vendor Ericsson, Nokia, Huawei, etc) θα πρέπει να προσφέρει την τεχνολογική δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσίας σεκάθε χώρα να δομήσουν μία τέτοια αρχιτεκτονική προσέγγιση δικτύου.

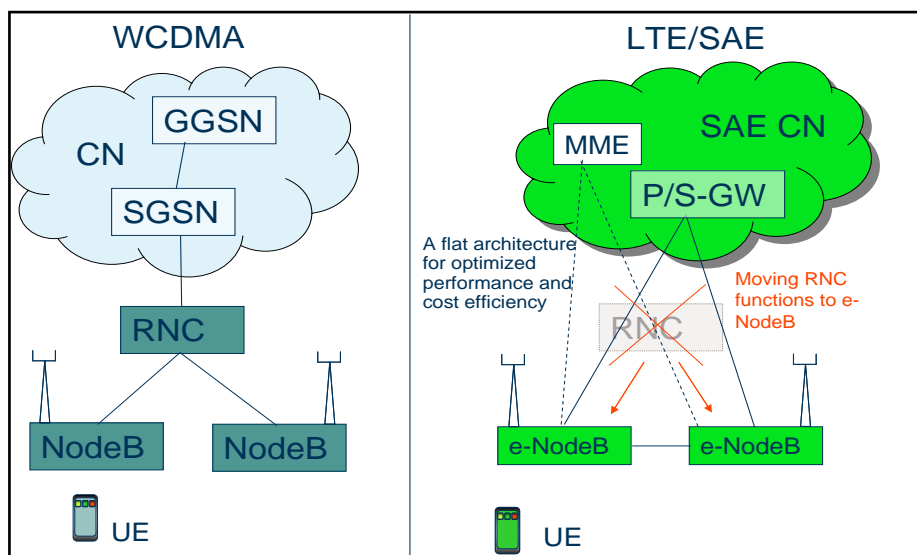
Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι το δίκτυο ασυρμάτου προσβάσεως LTE, βάσει προδιαγραφών, έχει απαιτήσεις απόδοσης που στηρίζονται στις πλέον προχωρημένες τεχνολογίες του φυσικού επιπέδου όπως την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και τα κεραιο-συστήματα πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου (MIMO). Περισσότερα για αυτά θα αναφέρουμε στο δεύτερο κεφάλαιο *“Η διεπαφή αέρα του δικτύου LTE”*.

## 1.2 Το δίκτυο προσβάσεως LTE – Μία εισαγωγική προσέγγιση.

Η κίνηση δεδομένων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς λόγω της αυξανόμενης ζήτησης υπηρεσιών δεδομένων υψηλών ταχυτήτων (broadband IP based data services) και του περιεχομένου υπηρεσιών (content of service) που σχετίζεται με την αυξημένη λειτουργικότητα των φορητών τερματικών (UE). Για να διασφαλιστεί η ποιότητα του δικτύου λόγω της αυξανόμενης κίνησης, υπάρχει μία συνεχής αυξανόμενη ανάγκη για χρήση κατάλληλης τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας η οποία να μπορεί να κάνει αποτελεσματική χρήση των περιορισμένων πόρων συχνοτήτων σε θορυβώδη περιβάλλοντα ασυρμάτου μεταδόσεως (noise, interference, multipath, fading). Επίσης για να παρέχει στους χρήστες εύκολη πρόσβαση σε μία ευρεία ποικιλία εφαρμογών στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, είναι απαραίτητο να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (throughput optimization) ταυτόχρονα με την παροχή ελαχίστης καθυστέρησης (round trip time delay) για ευαίσθητες υπηρεσίες όπως φωνή ή video. Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην εξέλιξη του δικτύου WCDMA/HSxPA και την ανάπτυξη της τεχνολογίας LTE (Long Term Evolution). Το LTE είναι λοιπόν ένα δίκτυο μετάδοσης δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται συνεχώς με καινούργιες εκδόσεις προδιαγραφών (specification releases) από τον οργανισμό προτύπων 3GPP. Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Η βασικότερη καινοτομία είναι ότι, σε αντίθεση με τις προηγούμενες εκδόσεις δικτύων δεδομένων ασυρμάτου προσβάσεως (GPRS/EDGE, WCDMA, HSxPA), υποστηρίζει μόνο packet switched υπηρεσίες σε αντίθεση με το circuit-switched μοντέλο προηγούμενων κυψελωδών συστημάτων όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.2. Αυτό σημαίνει ότι οι παραδοσιακές Circuit Switched (CS) υπηρεσίες (voice, video, cs-data) θα εξυπηρετούνται από από IP υπηρεσίες (VoIP, IP video streaming, PS data). Ο στόχος του LTE είναι να αυξήσει την χωρητικότητα και την ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με την χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος.

Το πρότυπο LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στην κάτω ζεύξη (downlink) της τάξης των 300-400 Mbps (μόνο με την χρήση τεχνολογίας MIMO 4x4, 64 QAM modulation scheme, και Turbo coding) και στην άνω ζεύξη (uplink) μέχρι και 75-100 Mbps. Το υποστηριζόμενο εύρος ζώνης (Bandwidth) του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1,4 έως τα 20 MHz, και υποστηρίζονται τόσο

οι τεχνικές duplex επικοινωνίας FDD και TDD. Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μία απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής βασισμένη στην τεχνολογία δικτύου μετάδοσης TCP/IP ethernet, το επονομαζόμενο και Evolved Packet Core (EPC) [3], το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει την διαθέσιμη αρχιτεκτονική του GPRS Core Network όπως και να υποστηρίζει την συμβατότητα μετάδοσης τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου( GSM,UMTS, CDMA2000), σχήμα 1.3



Σχήμα 1.3: απλοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου

### 1.2.1 LTE - Απαιτήσεις (design requirements – standard's demands)

Η απόδοση του δικτύου LTE, όπως ορίζεται στην 3GPP standards & specifications -Release 8, πρέπει να πληρεί ορισμένες απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας (Qos) και την υφιστάμενη καθυστέρηση (Round Trip Time RTT delay). Αυτό φαίνεται να είναι αρκετά εύκολο να επιτευχθεί λόγω της απλοποιημένης αρχιτεκτονικής του δικτύου του σχήματος 1.3. Πράγματι εφόσον έχουμε λιγότερες διεπαφές, μετά την αφαίρεση του RNC switch και την μεταφορά του MAC scheduler με τις HARQ retransmissions στο LTE eNodeB, έχουμε λιγότερη καθυστέρηση επεξεργασίας δεδομένων και πακέτων από τα επίπεδα σηματοδότησης RLC/MAC καθώς και γρηγορότερη αναμετάδοση βεβλαμμένων πακέτων (retransmission of error-corrupted MAC packets). Αυτό καλείται μονό-επίπεδη αρχιτεκτονική (Flat architecture).

Επίσης, η E-UTRAN αρχιτεκτονική θα πρέπει να μειώσει το κόστος της μελλοντικής επέκτασης και υλοποίησης του δικτύου. Αναμένεται ότι η μείωση του αριθμού των κόμβων και των διεπαφών συμβάλλει σε αυτόν τον γενικό στόχο. Πράγματι, για να μπορέσουν οι vendors να πείσουν τους παρόχους υπηρεσιών (operators, π.χ. Cosmote) να επενδύσουν και να εγκαταστήσουν υπηρεσίες μέσω του δικτύου LTE, θα πρέπει η επένδυση να είναι:

- όσο το δυνατόν λιγότερο κοστοβόρα (cost reduction)

- με ταυτόχρονη βραχυπρόθεσμη απόσβεση των εξόδων εγκατάστασης και μετάβασης στην νέα τεχνολογία (short term revenue).

Επιπλέον η E-UTRA θα πρέπει να υποστηρίζει πάσης φύσεως και αιτίας στιγμιαία αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης σε ώρες αιχμής (peak data rates). Ο υποστηριζόμενος ρυθμός μετάδοσης στην αιχμή θα πρέπει να δύναται να κλιμακώνεται και να προσαρμόζεται ανάλογα με το μέγεθος της κατανομής του φάσματος. Οι μέγιστες ταχύτητες δεδομένων στο UE εξαρτώνται από τον αριθμό των κεραιών εκπομπής και λήψης (τεχνολογία MIMO). Οι στόχοι που έχουν καθοριστεί για μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης (peak data rates) στο downlink και uplink (σε ότι αφορά το UE) περιλαμβάνουν:

- Downlink capability: 2 κεραιές λήψης στο UE

- Uplink capability: 1 κεραιά εκπομπής στο UE

Για το λόγο αυτό, το σύστημα πρέπει να υποστηρίζει στο downlink στιγμιαίο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 100Mbps σε 20 MHz φάσματος κάτω ζεύξης (5 bps / Hz) και 50Mbps σε 20 MHz φάσματος άνω ζεύξης (2,5 bps / Hz) για τεχνικές λύσεις χωρίς τεχνολογία MIMO, δηλαδή με μία κεραιά εκπομπής και μία κεραιά λήψης. Στην περίπτωση δε που το φάσμα κατά την διάρκεια της μετάδοσης αποδίδεται από τον MAC scheduler στο downlink και uplink, δεν χρειάζεται να αποδίδεται ισοτρόπως και συμμετρικώς, επομένως το δίκτυο δεν χρειάζεται να υποστηρίξει τις παραπάνω τιμές ταυτόχρονα. Στο μέλλον προβλέπεται η μετάβαση σε ταυτόχρονη uplink/downlink 4 x 4 MIMO λύση.

Η καθυστέρηση στο επίπεδο ελέγχου πρέπει να είναι εν γένει μικρότερη από 100ms. Στην περίπτωση που η φορητή συσκευή UE είναι συνδεδεμένη η τιμή αυτή αφορά την καθυστέρηση Round Trip Time και κυμαίνεται αναλόγως την υπηρεσία. Στην περίπτωση που η φορητή συσκευή είναι σε idle mode και ο χρήστης προσπαθεί να συνδεθεί στο δίκτυο αυτή η καθυστέρηση ορίζεται ως ο χρόνος μετάβασης από την ECM-IDLE στην κατάσταση ECM-CONNECTED mode. Όλα αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4

### 1.2.2 LTE radio interface

Η διεπαφή αέρα (radio interface) στο LTE έχει αναπτυχθεί από την 3GPP σύμφωνα με αυστηρές απαιτήσεις προσαρμογής στην αποδοτική χρήση του φάσματος (spectrum flexibility & efficiency), το κόστος κλπ. Η διεπαφή αέρα στο downlink του δικτύου προσβάσεως LTE βασίζεται σε τεχνικές πολλαπλής προσβάσεως OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), ενώ στο uplink στην τεχνική SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Αυτές οι τεχνικές είναι κατάλληλες για την ευέλικτη και λειτουργική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Αυτό επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να αναπτύξουν και να υλοποιήσουν δίκτυα LTE σε διαφορετικές frequency bands και διαθέσιμο εύρος ζώνης (available bandwidths).

Το OFDM αποδεικνύεται μαθηματικώς ότι εμφανίζει πολύ καλή απόδοση (ελάττωση παρεμβολής και ιδιαίτερα της διασυμβολικής παρεμβολής InterSymbol Interference ISI) σε περιβάλλοντα με έντονο το φαινόμενο των πολύ-οδεύσεων (multipath) και της χρονικής

διασποράς (time dispersion). Αυτό συμβαίνει διότι η μεταδιδόμενη πληροφορία κατανέμεται σε πολλές υποφέρουσες, επομένως μικραίνει ο ρυθμός μετάδοσης ανά υποφέρουσα και αυξάνεται η περίοδος ενός bit. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI).

Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

Σχήμα 1.4: LTE Targets

Η τεχνική SC-FDMA υλοποιείται με παρόμοιο τρόπο όπως η τεχνική OFDM και καλείται επίσης DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread – OFDM). Η δομή της στο πεδίο του χρόνου είναι παρόμοια τόσο στο downlink όσο και στο uplink. Το SC-FDMA έχει πολύ χαμηλό PAPR (Peak to Average Power Ratio) σε σύγκριση με το OFDM. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για την επιλογή της SC-FDMA στο uplink καθώς ο ενισχυτής ισχύος στο UE μπορεί να κατασκευαστεί σε πολύ χαμηλότερο κόστος.

Η μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο προσβάσεως του LTE βασίζεται σε χρονικά πλαίσια ((TTI)Transmission Time Interval) με διάρκεια 1ms σε αντίθεση με την τεχνική HSDPA την 2 ms και της R99 WCDMA των 10 ms. Το ελαττωμένο TTI μειώνει τον χρόνο του scheduler και την καθυστέρηση μετάδοσης πληροφορίας στο radio interface, η οποία καθυστέρηση είναι ένα από τα βασικά προβλήματα στην ανάπτυξη του LTE. Λόγο της τεχνικής του SC-FDMA στο uplink ο MAC scheduler κάθε 1 ms αποδίδει διαφορετικό αριθμό υποφερουσών ανά χρήστη παρουσιάζοντας λειτουργικά σαφή φασματικό διαχωρισμό, κάτι το οποίο καλείται intra-cell orthogonality. Η μόνη αναμενόμενη παρεμβολή είναι από γειτονικά κύτταρα τα οποία λειτουργούν στην ίδια frequency band και των οποίων ο MAC scheduler αποδίδει σε άλλον χρήστη την ίδια χρονική στιγμή των TTI = 1 ms τον ίδιο αριθμό από υποφέρουσες, κάτι που καλείται inter-cell interference. Όπως και να έχει αυτή η παρεμβολή διαχέεται χρονικά και πιθανοκρατικά με συνέπεια την ελάχιστη δυνατή αναμενόμενη παρεμβολή. Αυτό αποτελεί και το σαφές πλεονέκτημα του δικτύου προσβάσεως LTE έναντι του δικτύου WCDMA/HSPA, διασφαλίζοντας την δυνατότητα χρήσης της ελαχίστης ισχύος εκπομπής και

την απουσία ανάγκης ιδιαίτερου power control algorithm. Αντιθέτως στο δίκτυο WCDMA/HSPA εφόσον η αναμενόμενη παρεμβολή είναι κυρίως intra-cell interference χρειάζεται ένας πολύ ισχυρός και πολύπλοκος μηχανισμός power controlm αυξάνοντας την πολυπλοκότητα της λειτουργίας του δικτύου καθώς και της βελτιστοποίησης του.

Με απώτερο σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας του φάσματος, της χωρητικότητας και πάνω από όλα του υποστηριζόμενου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, στις προδιαγραφές της 3GPP έχει προβλεφθεί η χρήση τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών MIMO. Με την χρήση πολλαπλών κεραιών MIMO και με την χρήση εξελιγμένων τεχνολογιών επεξεργασίας σήματος το ράδιο-κανάλι μπορεί να διαχωριστεί σε πολλά φυσικά επίπεδα (antenna levels) ή φυσικά κανάλια δεδομένων (data pipes). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως και τέσσερα επίπεδα (τεχνολογία MIMO 4x4). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε έως και τέσσερις φορές υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων για ένα προκαθορισμένο εύρος ζώνης. Στο σχήμα 1.5 και 1.6 απεικονίζονται οι ζώνες συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε E-UTRAN συστήματα [3].

FDD Frequency Bands										
Band	"Identifier"	UL [MHz]	DL [MHz]	1.4	3	5	10	15	20	Duplex
1	IMT Core Band	1920 – 1980	2110 – 2170			•	•	•	•	190
2	PCS 1900	1850 – 1910	1930 - 1990	•	•	•	•	•	•	80
3	GSM 1800	1710 – 1785	1805 – 1880	•	•	•	•	•	•	95
4	AWS (US & other)	1710 – 1755	2110 - 2155	•	•	•	•	•	•	400
5	850	824 – 849	869 – 894	•	•	•	•			45
6	850 (Japan #1)	830 – 840	875 – 885			•	•			45
7	IMT Extension	2500 – 2570	2620 – 2690			•	•	•	•	120
8	GSM 900	880 – 915	925 – 960	•	•	•	•			45
9	1700 (Japan)	1750 – 1785	1845 -1880			•	•	•	•	95
10	3G Americas	1710 – 1770	2110 – 2170			•	•	•	•	400
11	1500 (Japan #1)	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9			•	•	•	•	48
12	US 700	698 – 716	728 - 746	•	•	•	•			30
13	US 700	777 - 787	746 - 756	•	•	•	•			-31
14	US 700	788 - 798	758 - 768	•	•	•	•			-30
15,16	Reserved	-	-							
17	US 700	704 - 716	734 - 746			•	•			30
18	850 (Japan #2)	815 – 830	860 - 875			•	•	•		45
19	850 (Japan #3)	830 - 845	875 - 890			•	•	•		45
20	Digital Dividend	832 – 862	791 - 821			•	•	•	•	-41
21	1500 (Japan #2)	1447.9 – 1462.9	1495.9 – 1510.9			•	•	•		48

• Valid channel bandwidths for the different frequency bands

Σχήμα 1.5: Λειτουργικές μπάντες (Operating Bands) - LTE FDD

TDD Frequency Bands								
Band	"Identifier"	Frequencies [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
33	TDD 2000	1900 – 1920			•	•	•	•
34	TDD 2000	2010 – 2025			•	•	•	
35	TDD 1900	1850 – 1910	•	•	•	•	•	•
36	TDD 1900	1930 – 1990	•	•	•	•	•	•
37	PCS Center Gap	1910 – 1930			•	•	•	•
38	IMT Extension Center Gap	2570 – 2620			•	•	•	•
39	China TDD	1880 – 1920			•	•	•	•
40	2.3 TDD	2300 – 2400			•	•	•	•

Σχήμα 1.6: Operating Bands - LTE TDD

Στο σχήμα 1.7 απεικονίζονται οι πέντε διαφορετικές UE κατηγορίες κατά 3GPP όπως έχουν ορισθεί για το LTE.

Category	1	2	3	4	5
DL peak rate	10	50	100	150	300
UL peak rate	5	25	50	50	75
Max DL mod	64QAM				
Max UL mod	16QAM				64QAM
Layers for spatial mux.	1	2			4

Σχήμα 1.7: UE Categories

## Αναφορές

[1] <http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr/ekdiloseis0809/tilepikoinonies/mobile.html>

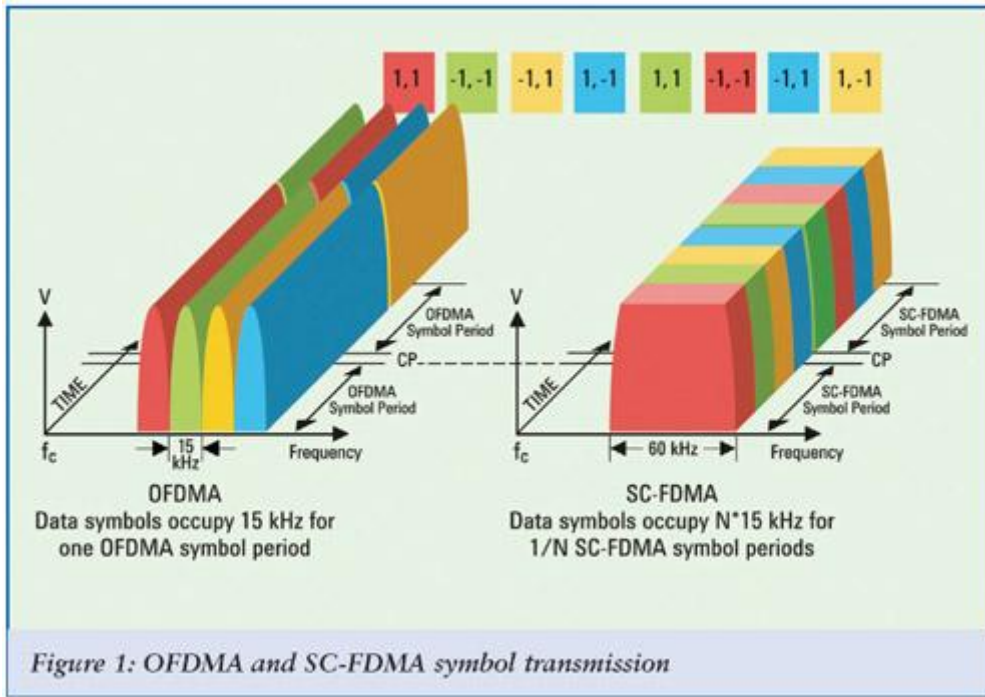
[2] <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/3390/1/Kiriazis.pdf>

[3] Ericsson course "LTE/SAE System Overview", LZT123 8828 R1A



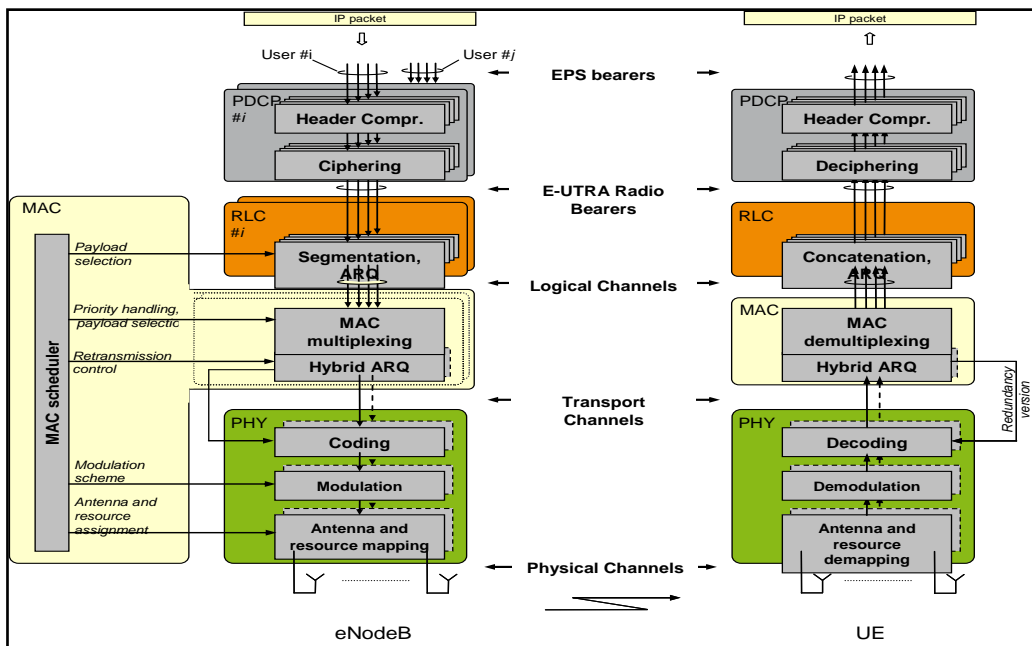
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ - ΔΙΚΤΥΟ LTE



### 2.1 Radio Interface Structure – Signaling perspective

Η διεπαφή αέρα είναι δομημένη σε μία πολύ-επίπεδη στοίβα πρωτοκόλλων (protocol stack) η οποία και παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

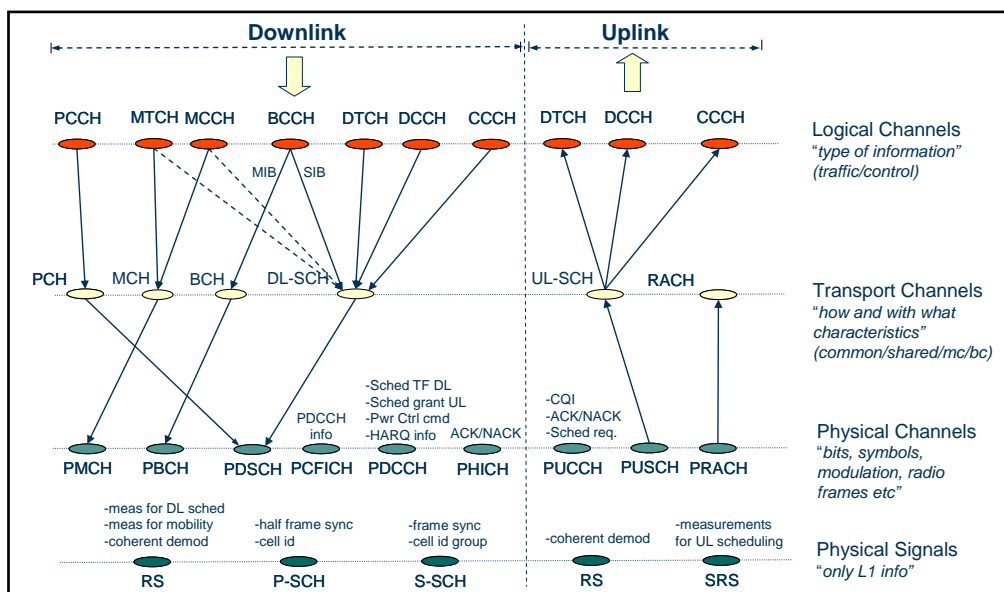


Σχήμα 2.1 Στοίβα πρωτοκόλλων διεπαφής αέρα δικτύου LTE

Στο σχήμα 2.1 η αριστερή στοίβα αναφέρεται στην μεταφορά μηνυμάτων σηματοδότησης (control plane) ενώ η δεξιά στοίβα αναφέρεται στην μεταφορά πακέτων δεδομένων - πληροφορίας του χρήστη (user plane). Τα πρωτόκολλα τα οποία και αναλαμβάνουν να εκτελέσουν τις απαιτούμενες λειτουργίες στην διεπαφή αέρα είναι: PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Protocol), MAC (Medium Access Control) και το φυσικό επίπεδο. Για την αποστολή μηνυμάτων σηματοδότησης layer 3 χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RRC (Radio Resource Control), το οποίο και μεταφέρει μηνύματα NAS (Non Access Stratum) πάνω από την διεπαφή αέρα.

Το PDCP πρωτόκολλο εκτελεί συμπίεση Robust Header Compression (ROHC). Το RLC πρωτόκολλο δημιουργεί τα λεγόμενα λογικά κανάλια (logical channels) και εκτελεί κατάτμηση μηνυμάτων (segmentation), μεταφορά πληροφορίας αλληλουχίας μηνυμάτων (sequence delivery process) και επαναμετάδοση βεβλαμμένων μηνυμάτων (retransmission). Το MAC πρωτόκολλο αντιστοιχεί τα λογικά κανάλια στα κανάλια μεταφοράς (mapping of logical channels to transport channels) και είναι υπεύθυνο για την διαδικασία Hybrid ARQ (HARQ) και την λειτουργία του scheduler. Το φυσικό επίπεδο αντιστοιχεί το κανάλι μεταφοράς πάνω σε ένα φυσικό κανάλι και εκτελεί κωδικοποίηση καναλιού, διαμόρφωση κτλ.

Το σχήμα 2.2 απεικονίζει την αντιστοίχιση των καναλιών.



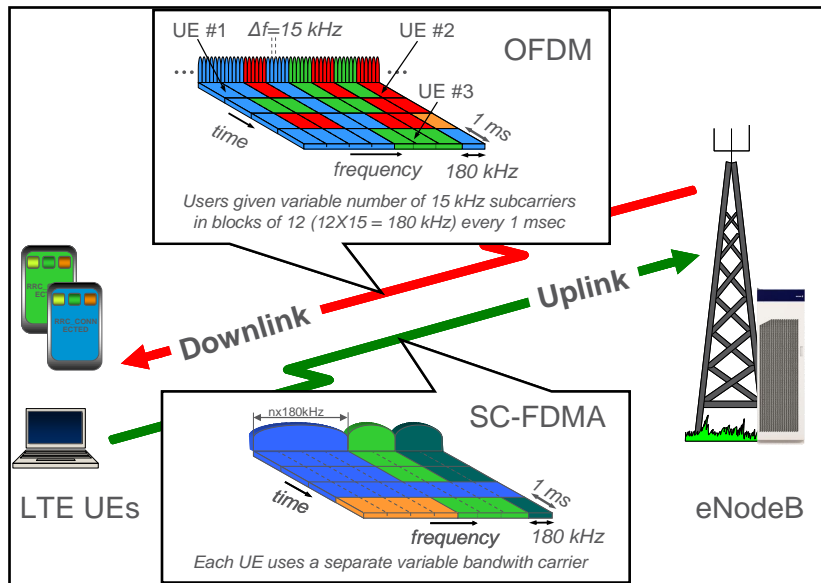
Σχήμα 2.2 Αντιστοίχιση καναλιών διεπαφής αέρα δικτύου LTE

## 2.2 Το φυσικό επίπεδο (physical layer) της διεπαφής αέρα δικτύου LTE

### 2.2.1 Γενικές Πληροφορίες

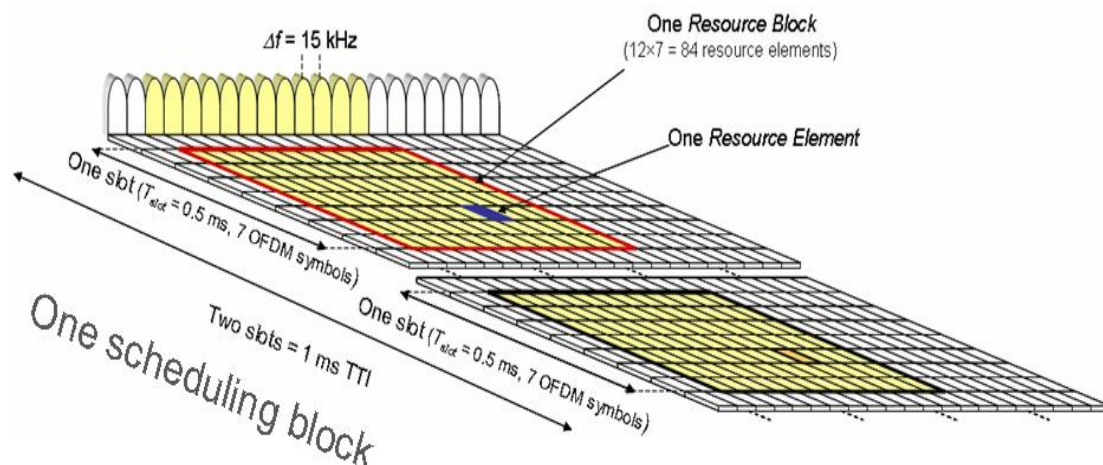
Η 3GPP έχει επιλέξει ως τεχνική πολλαπλής πρόσβασης στην διεπαφή αέρος (Air Interface) για την κατερχόμενη ζεύξη (eNodeB to UE) την Ορθογώνια Πολυπλεξία Διάρθρωσης

Συχνότητας (OFDM), ενώ για την ανερχόμενη ζεύξη (UE to eNodeB) την Πολλαπλή Πρόσβαση διαίρεσης Συχνότητας με ένα Φέρον (SC-FDMA) όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.3. Και οι δύο αυτές τεχνικές πρόσβασης υποστηρίζουν ένα μεταβλητό εύρος ζώνης (flexible bandwidth) και ως εκ τούτου επιτρέπουν την ανάπτυξη και υλοποίηση της τεχνολογίας LTE σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη με χρήση διαφορετικών εύρων συχνοτήτων (frequency bandwidth) και μεταβλητό εύρος ζώνης.



Σχήμα 2.3 LTE air interface

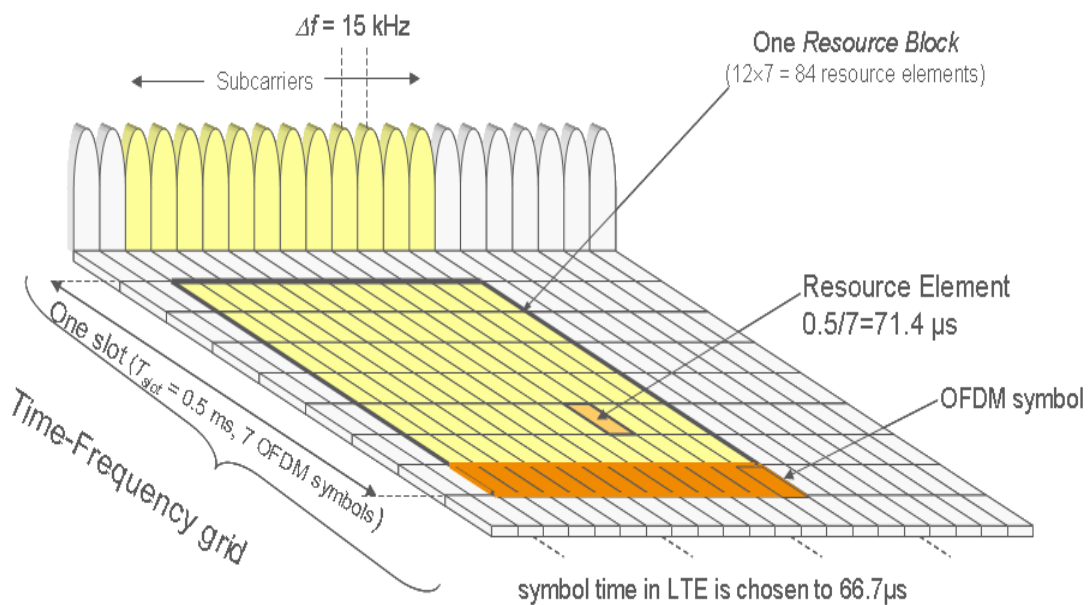
Στην downlink ζεύξη του LTE η πρόσβαση με την χρήση της τεχνολογίας OFDM υλοποιείται με ένα πλέγμα χρόνου-συχνότητας όπου τα φυσικά κανάλια (physical channels) απεικονίζονται πριν ενισχυθούν και μεταδοθούν στον αέρα. Ο άξονας των συχνοτήτων χωρίζεται σε ομάδες των 12 υποφερουσών (subcarriers) και η κάθε υποφέρουσα καταλαμβάνει εύρος φάσματος 15 KHz, επί συνόλω επομένως 12 υποφέρουσες  $\times$  15 KHz = 180 KHz. Αυτό ονομάζεται Physical Radio Block (PRB).



Σχήμα 2.4 Η δομή του πλαισίου χρόνου-συχνότητας του OFDM στο LTE air interface

Ο άξονας του χρόνου χωρίζεται σε χρονικές περιόδους μετάδοσης πληροφορίας (Time Transmission Intervals, TTI) διάρκειας 1 ms. Επιπλέον ο άξονας του χρόνου χωρίζεται σε δύο χρονοθυρίδες (timeslots) διάρκειας 0,5 ms, όπου ο χρόνος του 1 ms που καταλαμβάνουν οι δύο χρονοθυρίδες ονομάζεται και subframe. Επομένως ο συνδυασμός ενός PRB σε χρονική διάρκεια μίας χρονοθυρίδας ονομάζεται Resource Block (RB), ενώ ο συνδυασμός ενός PRB σε χρονική διάρκεια ενός TTI ή ενός subframe ονομάζεται Schedule Block (SB) διότι αυτός είναι ο φυσικός πόρος τον οποίον ο MAC Scheduler αποδίδει σε χρήστες κάθε 1 ms. Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η δομή του πλέγματος χρόνου-συχνότητας.

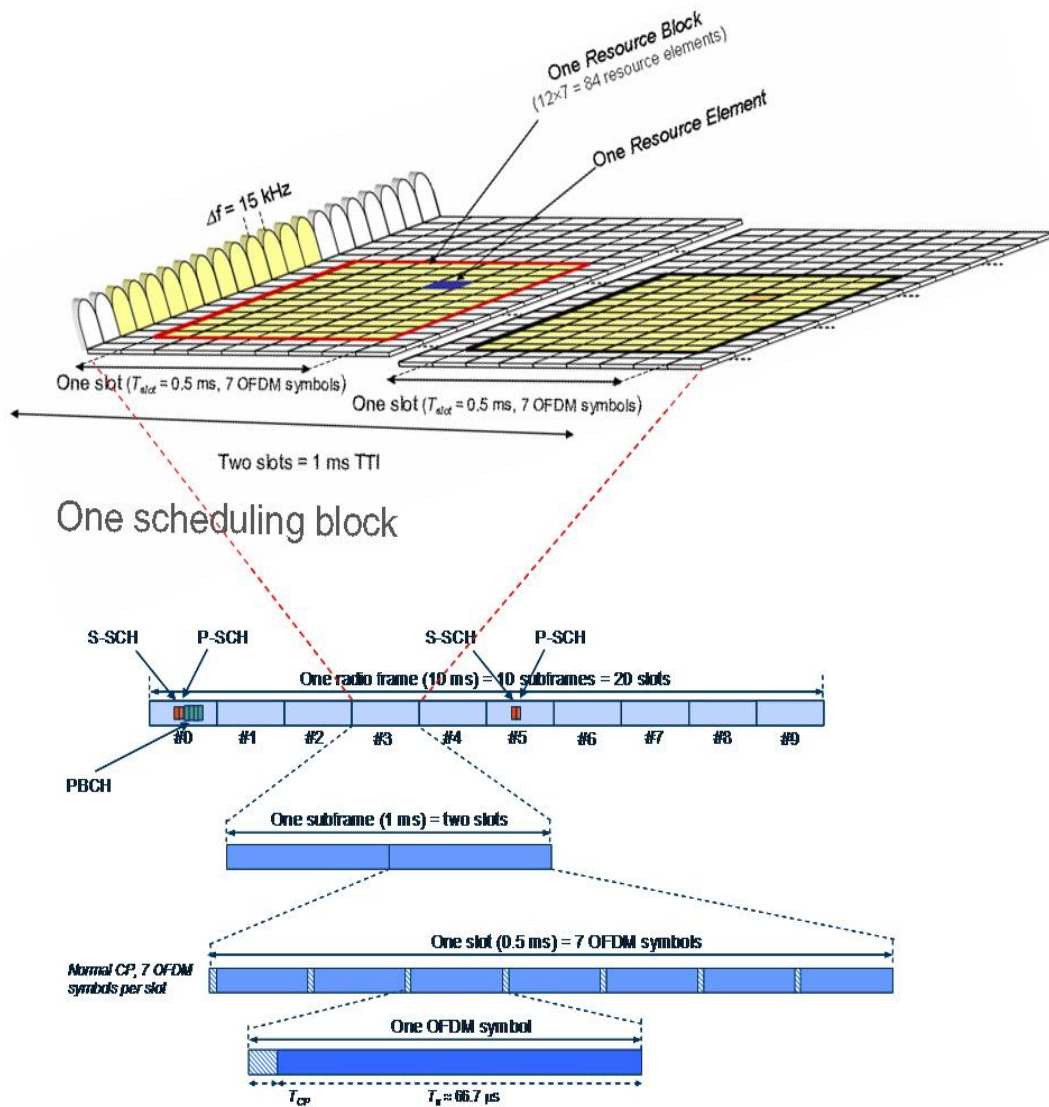
Προχωρώντας την ανάλυση μας περαιτέρω στο πεδίο του χρόνου μπορούμε να αναφερθούμε αναλυτικότερα στην δομή ενός TTI. Πράγματι αναλύοντας την δομή βλέπουμε ότι κάθε χρονοθυρίδα των 0,5 ms αποτελείται από περαιτέρω επτά OFDM symbols διάρκειας  $0,5 \text{ ms} / 7 = 71,5 \mu\text{s}$  από τα οποία τα 66,7  $\mu\text{s}$  είναι πληροφορία χρήστη και τα υπολοιπούμενα 4.8  $\mu\text{s}$  είναι αυτό που ονομάζουμε cyclic prefix (CP). Αυτή η διάτμηση στον χρόνο χρειάζεται όπως θα δούμε και παρακάτω για την υλοποίηση της διαμόρφωσης OFDM. Αυτή η δομή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5



Σχήμα 2.5 Η δομή του OFDM symbol στο LTE air interface

Η δομή ενός subcarrier 15 KHz στον χρόνο των 66,7  $\mu\text{s}$  ονομάζεται Resource Element στο πλαίσιο χρόνου-φάσματος. Τέλος αναλύοντας το πεδίο του χρόνου στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας χρειαζόμαστε να αυξήσουμε τον χρόνο από TTI = 1 ms στα 10 ms ώστε να μπορέσουμε να έχουμε χρονική πολυπλεξία των λογικών καναλιών BCCH και των σημάτων στο φυσικό πεδίο (signals on physical layer) P-SCH και S-SCH κατά την μετάδοσή τους στο downlink, όπως τα ορίσαμε στο σχήμα 2.2. Δημιουργείται επομένως μία χρονική δομή, η οποία διαρκεί 10 ms και περιλαμβάνει ουσιαστικά δέκα συνεχόμενα subframes, η οποία και καλείται Radio Frame. Σε ένα τέτοιο Radio Frame στο subframe #0 αποστέλουμε σε συγκεκριμένο αριθμό από Resource blocks και OFDM symbols το φυσικό κανάλι PBCH καθώς και τα δύο signals P-SCH και S-SCH, ενώ στο subframe #5 αποστέλουμε σε

συγκεκριμένο αριθμό από Resource blocks και OFDM symbols μόνο τα δύο signals P-SCH και S-SCH. Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται αυτή η χρονική διάτμηση περισσότερο επεξηγηματικά.



- PBCH sent in subframe #0, slot 1, symbol 0-3 over 4 consecutive radio frames (40 ms)
- SCH sent in subframe #0 and #5, slot 0 and 10, symbol 5-6 (4-5 in case of extended CP)

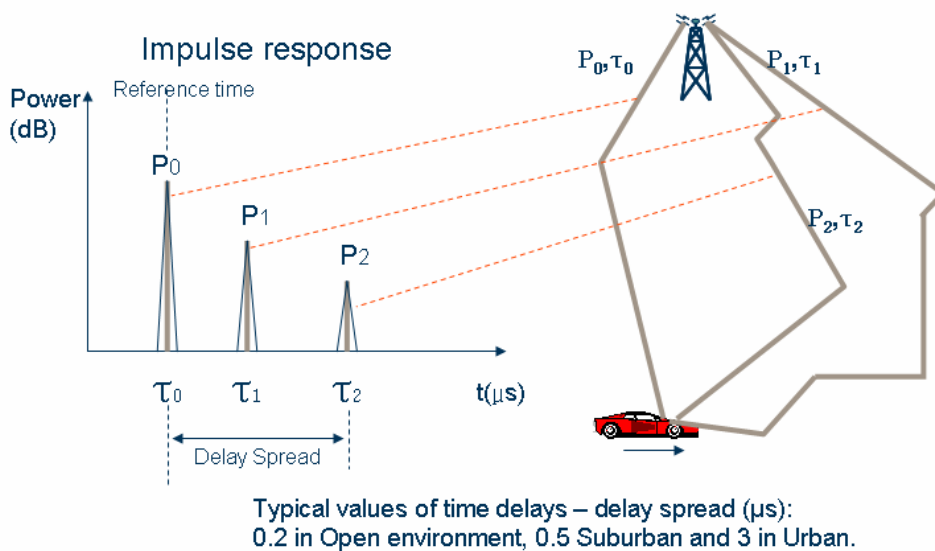
Σχήμα 2.6 Η δομή στο πεδίο του χρόνου ενός Radio Frame

### 2.2.2 Ερμηνεία των παραμέτρων του OFDM

Η επιλογή των παραμέτρων του OFDM ακολουθεί βασικές αρχές της θεωρίας τηλεπικοινωνιών και των ασυρμάτων δικτύων. Πράγματι παρακολουθώντας τα standards της 3GPP λοιπόν έχουμε τις ακόλουθες δεσμεύσεις:

1. Η φασματική απόσταση OFDM subcarrier spacing  $\Delta f$  – coherent channel bandwidth

Η φασματική απόσταση  $\Delta f$  θα πρέπει να είναι τόσο μικρή ώστε η χρονική περίοδος ενός OFDM resource element  $T_u = 1/\Delta f = 66,7 \mu s$  να είναι μεγαλύτερη από την χρονική διάχυση του καναλιού μετάδοσης (radio channel), δηλαδή  $T_u \gg$  time dispersion. Αλλά τι είναι η χρονική διάχυση (time dispersion) σε ένα ασύρματο κανάλι; Από την θεωρία των ασυρμάτων επικοινωνιών γνωρίζουμε ότι μπορούμε να μετρήσουμε την χρονική συμπεριφορά ενός καναλιού το οποίο εμφανίζει φαινόμενα πολύ-όδευσης (multipath), μετρώντας στην ουσία την χρονική καθυστέρηση των διαφορετικών μονοπατιών διάδοσης το οποίο ονομάζουμε delay spread. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζεται το φαινόμενο της πολυόδευσης μαζί με την κρουστική απόκριση του καναλιού. Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε μεταξύ της κεραίας του eNodeB και της κεραίας της φορητής μονάδος UE τρία μονοπάτια με χρονική καθυστέρηση  $\tau_0, \tau_1,$  και  $\tau_2$  αντιστοίχως (όπου ο χρόνος άφιξης του συντομότερου μονοπατιού  $\tau_0$  θεωρείται και το σημείο αναφοράς στην μέτρηση) και ισχύ λήψης αντιστοίχως  $P_0 > P_1 > P_2$  καθώς θεωρούμε ότι εφόσον το μονοπάτι διανύει μεγαλύτερο διάστημα θα έχει και μεγαλύτερη απόσβεση (path loss).



Σχήμα 2.7 Delay spread και Time dispersion

Η delay spread μετριέται ως ακολούθως:

$$\sigma_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum \tau^2 P_\tau}{\sum P_\tau} - \left( \frac{\sum \tau P_\tau}{\sum P_\tau} \right)^2}$$

Όπου  $\tau$  είναι η χρονική καθυστέρηση κάθε διαφορετικού μονοπατιού και  $P_\tau$  είναι η ισχύς λήψης κάθε μονοπατιού. Τυπικές τιμές delay spread ύστερα από μετρήσεις για το δίκτυο LTE είναι 0,2  $\mu s$  σε αγροτικές περιοχές, 0,5  $\mu s$  σε ημιαστικές προαστιακές περιοχές και 3  $\mu s$  σε αστικές περιοχές. **Πράγματι η περίοδος ενός OFDM resource element  $T_u = 1/\Delta f = 66,7 \mu s$  είναι σαφώς μεγαλύτερη του delay spread !!!**

Αυτό που δεν έχουμε ακόμη απαντήσει είναι γιατί θα πρέπει εν τέλει η περίοδος ενός OFDM resource element να είναι σαφώς μεγαλύτερη του delay spread;; ποιο φυσικό φαινόμενο θέτει τέτοιον περιορισμό; Η απάντηση είναι σαφής και προέρχεται από μία ιδιότητα του ασυρμάτου καναλιού η οποία καλείται coherent bandwidth  $B_c$ , το οποίο και δηλώνει πόσο η συμπεριφορά του ασύρματου καναλιού στην μετάδοση πληροφορίας εξαρτάται από την συχνότητα, με άλλα λόγια πόσο ευαίσθητη είναι η συμπεριφορά ενός καναλιού σε διαφορετικές συχνότητες. Για να το βρούμε αυτό σαφώς θα πρέπει να έχουμε ένα μοντέλο του ασύρματου καναλιού στον χρόνο, αυτό που ονομάζουμε κρουστική απόκριση, και εν συνεχεία να πάρουμε τον μετασχηματισμό Fourier ώστε να βρούμε την συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού  $H(f)$ . Κατά μέσο όρο η συμπεριφορά του coherence bandwidth (η μέση απόκριση της συνάρτησης μεταφοράς) μπορεί να υπολογιστεί από την αντίστροφη συνάρτηση του delay spread, δηλαδή  $B_c = 1/\sigma_{rms}$ . Εάν το εύρος φάσματος  $BW$  της πληροφορίας που μεταδίδουμε είναι μικρότερο από το coherence bandwidth  $B_c > BW$ , τότε όλο το bandwidth που μεταδίδουμε θα πέφτει σε μία περιοχή της απόκρισης καναλιού που οι διακυμάνσεις θα είναι μικρές και επομένως μπορούμε να το θεωρήσουμε ως επίπεδο (flat frequency response) με συνέπεια το φάσμα μετάδοσης της πληροφορίας μας να επιδέχεται επίπεδη απόκριση, άρα και την ελάχιστη παραμόρφωση. Σε μία τέτοια περίπτωση ο μοναδικός λόγος να έχουμε σφάλματα στην μετάδοση (εξαιρώντας την παρεμβολή) είναι το multipath fading το οποίο είναι και πιθανοκρατικό, επομένως μόνο η τεχνική του frequency hopping ή της Tx Diversity μπορεί να ελαττώσει τέτοια σφάλματα. Από την άλλη εάν το εύρος φάσματος της πληροφορίας που μεταδίδουμε είναι μεγαλύτερο από το coherence bandwidth  $B_c < BW$ , τότε όλο το bandwidth που μεταδίδουμε θα πέφτει σε μία περιοχή της απόκρισης καναλιού που οι διακυμάνσεις θα είναι μεγάλες (φαινόμενα που οφείλονται στην διασυμβολική παρεμβολή (ISI)) και επομένως το φάσμα μετάδοσης της πληροφορίας μας να επιδέχεται διαφορετικές αποσβέσεις/ενισχύσεις σε διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων, άρα μεγάλη παραμόρφωση. Σε μία τέτοια περίπτωση θα χρειαζόμασταν σίγουρα έναν εξισωτή καναλιού (channel equalizer) ώστε να εξισορροπήσει στο μέγιστο δυνατό ποσοστό τις παραμορφώσεις και εν συνεχεία ισχυρές τεχνικές κωδικοποίησης καναλιού (FEC, Turbo coding etc) ώστε να μπορούμε να διορθώσουμε τα αναμενόμενα σφάλματα στην λήψη. Προφανώς ως επιπλέον βοήθεια θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική του frequency hopping ή της Tx Diversity ώστε να ελαττώσουμε περαιτέρω τέτοια σφάλματα. Στο ακόλουθο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται η παρούσα ιδέα.

Επομένως πως συνδέεται η περίοδος ενός OFDM resource element με την περίοδο του delay spread και το coherence bandwidth και γιατί θα πρέπει η περίοδος ενός OFDM resource element να είναι σαφώς μεγαλύτερη του delay spread; Μα είναι απλό. Για να έχουμε λυτόν μετάδοση πληροφορίας (subcarrier bandwidth) χωρίς παραμόρφωση θα πρέπει να ισχύει το ακόλουθο:

$$\text{Coherence Bandwidth } B_c > \text{transmitted bandwidth (subcarrier bandwidth } \Delta f)$$

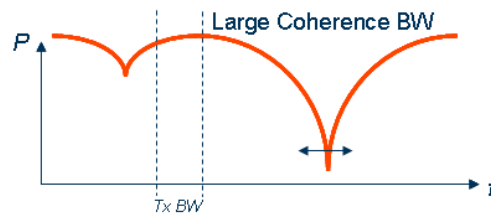
Και εφόσον το αντίστροφο του coherence bandwidth είναι το delay spread εξ' ορισμού, αλλά και το αντίστροφο του subcarrier bandwidth  $\Delta f$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης τότε:

$$1/\text{Coherence Bandwidth } B_c < 1/\Delta f \rightarrow \text{Delay Spread } \sigma_{\text{rms}} < \text{symbol time } T_u$$

Επομένως η επιλογή του subcarrier bandwidth  $\Delta f = 15$  KHz διασφαλίζει ότι το coherent bandwidth είναι μεγαλύτερο του transmitted bandwidth ή ότι η περίοδος του συμβόλου πληροφορίας  $T_u$  είναι μεγαλύτερη από το τυπικό delay spread !!!!

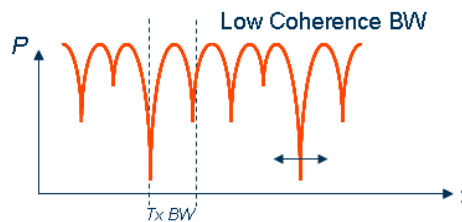
■ **Coherence BW > Tx BW:**

- The transmission experiences almost flat fading
- Only frequency hopping and/or Antenna diversity (Tx & Rx diversity, beamforming, SM) can reduce and even exploit the fading



■ **Coherence BW < Tx BW:**

- FEC can reduce the errors caused by fading
- Frequency hopping and/or Antenna diversity (Tx & Rx diversity, beamforming, SM) can further reduce and exploit the fading



Σχήμα 2.8 Coherent Bandwidth & channel characteristics

2. Η φασματική απόσταση OFDM subcarrier spacing  $\Delta f$  – coherent channel time.

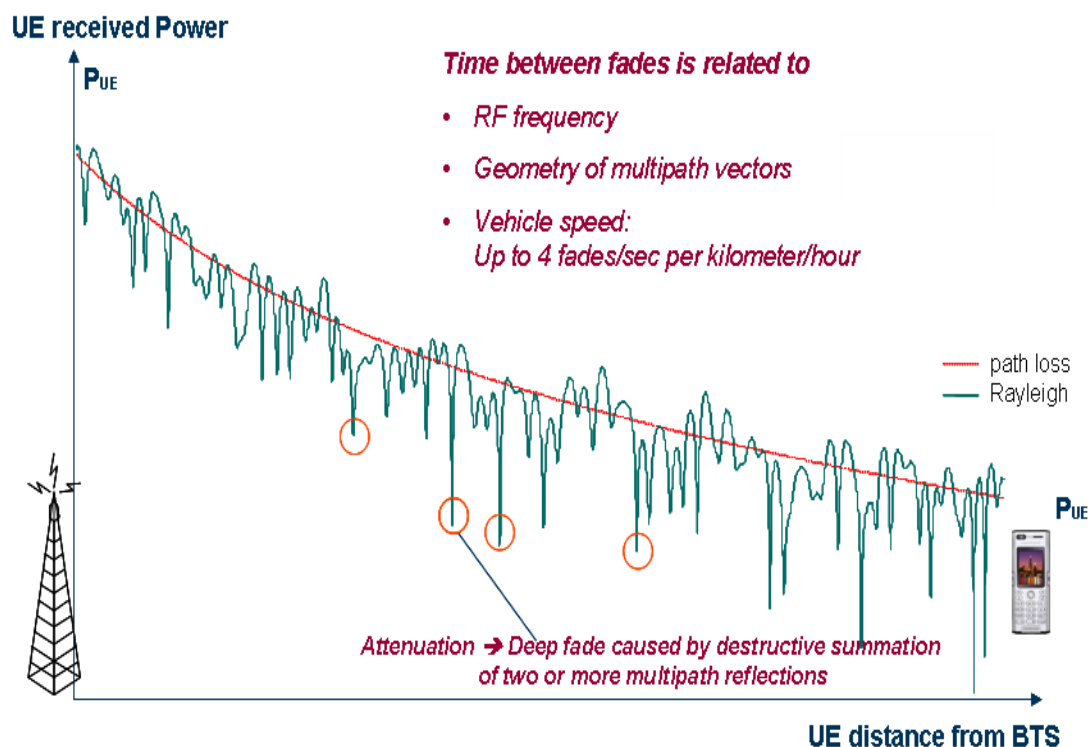
Στην προηγούμενη ανάλυση μας εξηγήσαμε ότι το coherent bandwidth είναι μεγαλύτερο του transmitted bandwidth και επιλέξαμε την τιμή  $\Delta f = 15$  KHz η οποία και αντιστοίχως διασφαλίζει ότι η περίοδος του συμβόλου πληροφορίας  $T_u$  είναι μεγαλύτερη από το τυπικό delay spread. Αυτό που δεν εξηγήσαμε όμως είναι γιατί να είναι 15 KHz και όχι μεγαλύτερο ή μικρότερο μέσα στα πλαίσια της ανισότητας Coherence Bandwidth  $B_c >$  transmitted bandwidth (subcarrier bandwidth  $\Delta f$ ). Επομένως θα πρέπει να υπάρχει και κάποιος άλλος λόγος ή περιορισμός ο οποίος θα περιορίζει την επιλογή του  $\Delta f$  στο άνω όριο, δηλαδή:

$$\text{Coherence Bandwidth } B_c > \text{transmitted bandwidth (subcarrier bandwidth } \Delta f) > ???$$

Αυτό θα μας το υπολογίσει μία άλλη ιδιότητα του ασύρματου καναλιού η οποία και ονομάζεται coherence time. Αλλά για να εξηγήσουμε τι είναι το coherence time θα πρέπει πρώτα να πάμε μερικά βήματα πίσω στην θεωρία ασυρμάτων επικοινωνιών και καναλιών. Εν γένει όταν σχεδιάζουμε Frequency Division Duplex (FDD) συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούμε διαφορετικές συχνότητες ή εύρος φάσματος στο uplink και στο downlink.

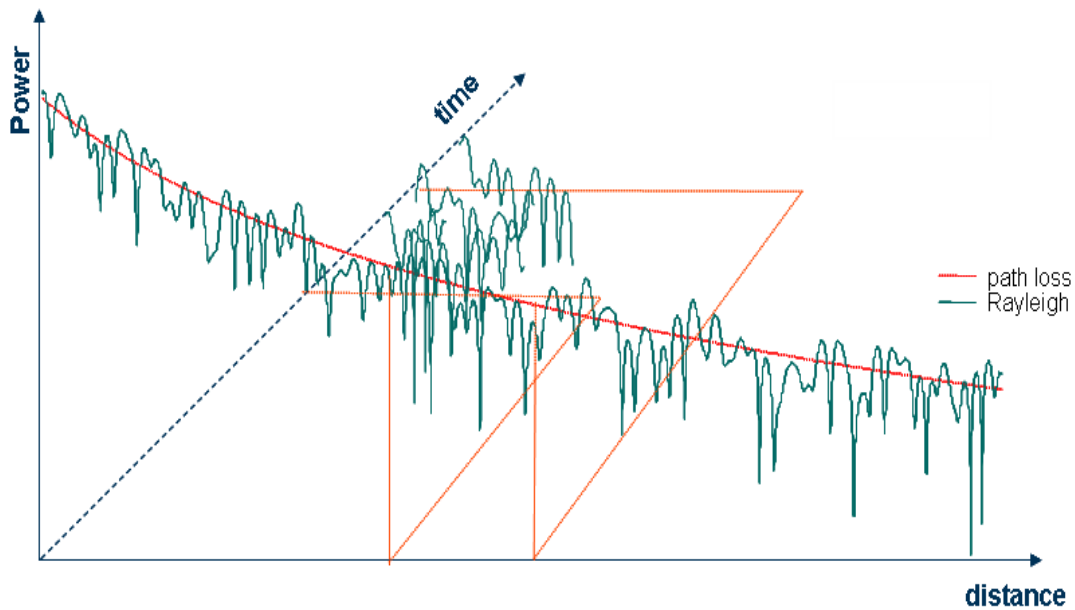


Αυτό ξέρουμε ότι θα επιφέρει εν γένει διαφορετικές συμπεριφορές στο ασύρματο κανάλι του uplink και downlink εφόσον φαινόμενα όπως delay spread και multipath fading εξαρτώνται από την συχνότητα επικοινωνίας. Στο σχήμα 2.9 παρουσιάζουμε την αυξομείωση της ισχύος λήψης ενός δέκτη σε σχέση με την απόσταση από τον πομπό λόγω του φαινομένου των πολυοδεύσεων Rayleigh Fading στο ασύρματο κανάλι. Παρατηρώντας το σχήμα 2.9 βλέπουμε ότι εάν δεν υπήρχαν οι πολυοδεύσεις και τα φαινόμενα κατακρύμνησης ισχύος (signal strength fading drops) θα είχαμε μία εκθετική πτώση της ισχύος στον δέκτη της φορητής συσκευής UE η οποία και αποτυπώνεται με την κόκκινη γραμμή στο διάγραμμα. Εφόσον όμως δεν είμαστε σε ιδανικά περιβάλλοντα διάδοσης έχουμε τις πιθανοκρατικές κατακρυμνήσεις ισχύος οι οποίες αποτυπώνονται στο διάγραμμα με την πράσινη αυξομειούμενη γραμμή. Παρατηρούμε τις απότομες κατακρυμνήσεις οι οποίες έχουν σημειωθεί με κόκκινο κύκλο στο διάγραμμα. Οφείλονται σε φαινόμενα καταστροφικής συμβολής των κυμάτων λήψης στην κεραία λόγω των πολλών δρόμων επικοινωνίας (multiple paths). Σε τέτοιες περιπτώσεις λοιπόν αναμένουμε να έχουμε πολύ χαμηλό πηλίκιο ισχύος λήψης προς θόρυβο/παρεμβολή (Signal to Interference and Noise ratio  $SINR = S/(I+N)$ ) με συνέπεια την αύξηση των σφαλμάτων στην επικοινωνία (BER).



Σχήμα 2.9 Multipath fading & communication QoS degradation

Το σχήμα 2.9 δεν είναι σωστό διότι δεν αποτυπώνει ούτε την συχνότητα ούτε τον χρόνο. Στην πραγματικότητα ένα καλλίτερο σχήμα θα ήταν το σχήμα 2.10 όπου αποτυπώνεται σε τρισδιάστατο διάγραμμα η συμπεριφορά του καναλιού ως προς την ισχύ λήψης σε σχέση με την απόσταση από τον πομπό και τον χρόνο.

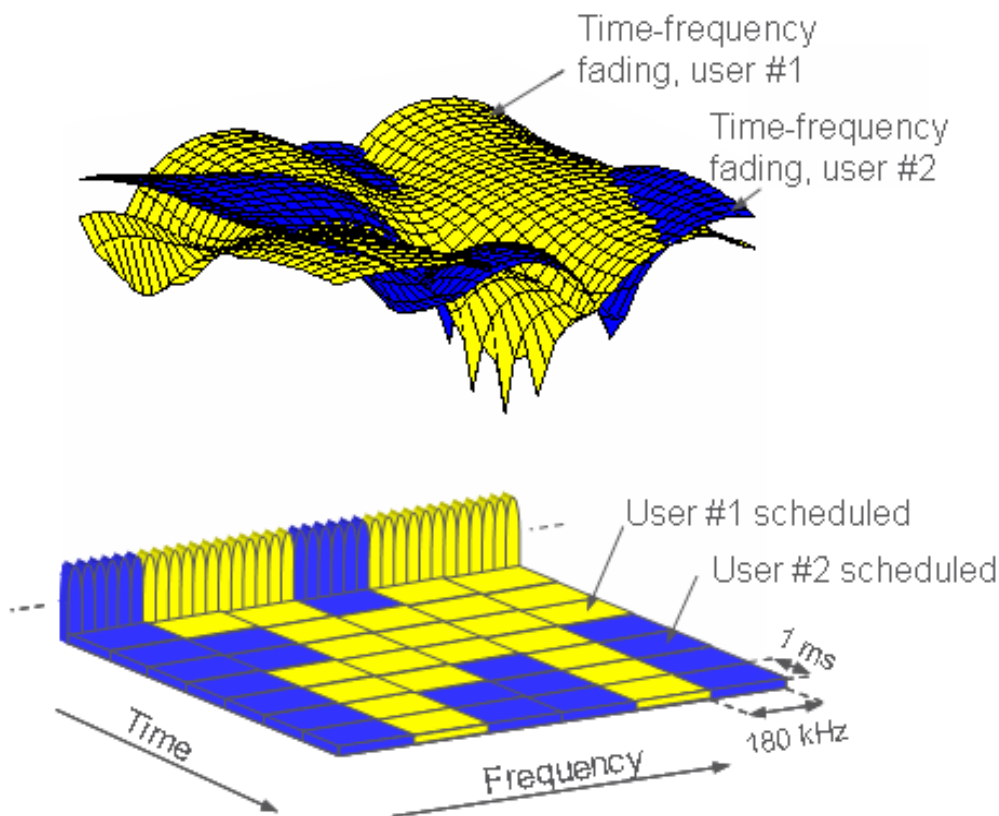


Σχήμα 2.10 Multipath fading και χρονική μεταβολή

Σε ένα τέτοιο διάγραμμα θα φαινόταν καθαρά ότι η συμπεριφορά που παρατηρούμε στο σχήμα 2.9 είναι στην ουσία μία φωτογραφική ακαριαία χρονική στιγμή, δηλαδή σαν κάποιος σε κάποια χρονική στιγμή να πήρε ένα χρονικό δείγμα (φωτογραφία) και να το αποτύπωσε. Εντούτοις η συμπεριφορά αλλάζει με τον χρόνο, κάτι το οποίο κάνει την μελέτη περισσότερο δύσκολη.

Το φαινόμενο των fading drops είναι επίσης και συνάρτηση της συχνότητας, το οποίο σημαίνει ότι θα συναντήσουμε διαφορετική συμπεριφορά σε διαφορετικές συχνότητες επικοινωνίας. Αν θα θέλαμε να αποτυπώσουμε και την συχνότητα στο σχήμα 2.10 θα ήταν αδύνατον διότι θα θέλαμε ένα τετραδιάστατο διάγραμμα, αλλά δυστυχώς ζούμε σε τρισδιάστατο χωρο!! Επομένως θα μπορούσαμε να δείξουμε ένα τέτοιο διάγραμμα μεταβολής της ισχύος συναρτήσει του χρόνου και της συχνότητας θεωρώντας στατική την απόσταση από τον πομπό (BTS). Δηλαδή ωσάν να είχαμε έναν παρατηρητή σταθερά σε μία συγκεκριμένη απόσταση από τον πομπό και να μετρούσε στον χρόνο και στην συχνότητα την ισχύ λήψης. Αυτό είναι το σχήμα 2.11 για το δίκτυο LTE σε διαφορετικά Physical Radio Blocks του OFDM. Φαίνεται καθαρά η αυξομείωση της ισχύος λόγω fading drops στον χρόνο και στην συχνότητα.

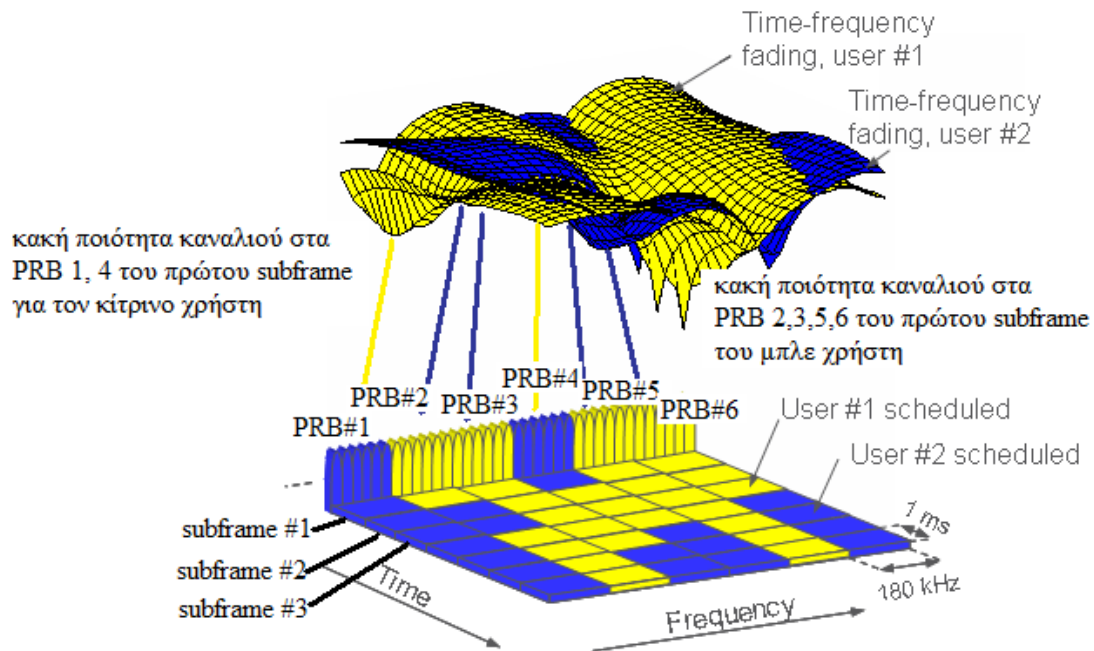
Στο σχήμα 2.11 έχουμε ένα παράδειγμα με δύο διαφορετικούς χρήστες (μπλέ και κίτρινος) στους οποίους κάθε ένα subframe 1 ms στον άξονα των χρόνων έχει αποδοθεί από τον MAC scheduler ένας αριθμός από PRB. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνεται απλώς η απεικόνιση του πλαισίου χρόνου-συχνότητας χωρίς να παρουσιάζεται η ισχύς. Εντούτοις στο πάνω μέρος του διαγράμματος φαίνεται η αυξομείωση της ισχύος. Εφόσον κάθε χρήστης εκ των δύο βρίσκεται σε διαφορετική απόσταση από την κεραία του BTS έχει διαφορετική συμπεριφορά στο κανάλι του. Επομένως κοιτώντας την κίτρινη επιφάνεια βλέπουμε ότι στο πρώτο subframe έχει πολύ κακή ισχύ λήψης στα PRB # 1,4 ενώ πολύ καλή ισχύ λήψης στα PRB #2,3,5,6.



Σχήμα 2.11 Multipath fading vs. Time and Frequency

Επομένως ο MAC scheduler ο οποίος και έχει κάνει αντιστοίχως την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του καναλιού (channel estimation) χρησιμοποιώντας αναφορές μετρήσεων (CSI (channel Status Indication) feedback reports) από την κίτρινη φορητή συσκευή UE θα αποδώσει στον κίτρινο χρήστη τα PRB #2,3,5,6. Αντιστοίχως ο μπλέ χρήστης έχει στο πρώτο subframe έχει πολύ κακή ισχύ λήψης στα PRB # 2,3,5,6 ενώ πολύ καλή ισχύ λήψης στα PRB #1, 4. Επομένως ο MAC scheduler ο οποίος και έχει κάνει αντιστοίχως την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του καναλιού χρησιμοποιώντας αναφορές μετρήσεων από την μπλε φορητή συσκευή UE θα αποδώσει στον μπλέ χρήστη τα PRB #1, 4. Αυτή η ανάλυση μπορεί να συνεχιστεί και στα επόμενα subframes, σχήμα 2.12 και πραγματοποιείται κάθε ένα subframe από τον MAC scheduler παράλληλα για όλους τους συνδεδεμένους χρήστες στο BTS !!!! με κόστος βέβαια σε υπολογιστική ισχύ...

Η όλη μελέτη του φαινομένου fading είναι πιθανοκρατική και απαιτεί χρήση μαθηματικών μοντέλων στατιστικής, κάτι το οποίο δεν μελετάται σε αυτό το σύγγραμμα. Εντούτοις για τους σχεδιαστές δικτύων μπορούμε να δώσουμε κάποιες λεπτομέρειες σχετικά με τον αναμενόμενο μέσο αριθμό κατακρυμνήσεων ισχύος (average fading drops) που θα υποστεί μία ασύρματη ζεύξη στην περίπτωση που ο συνδρομητής κινείται. Έχει βρεθεί από μετρήσεις (drive tests) ότι κατά μέσο όρο μία φορητή συσκευή θα υποστεί τέσσερα fading drops ανά δευτερόλεπτο και ανά χιλιόμετρο την ώρα ταχύτητα. Επομένως ο μέσος αναμενόμενος αριθμός από fading drops εξαρτάται από την συχνότητα, από τον χρόνο και από την ταχύτητα του χρήστη.



Σχήμα 2.12 Multipath fading & MAC Scheduling

Επομένως όταν σχεδιάζουμε την κάλυψη και την ρυθμαπόδοση (throughput) ενός cell θα πρέπει ΠΑΝΤΑ να λαμβάνουμε υπόψιν το είδος των συνδρομητών (πεζοί, κινούμενη με μικρή ταχύτητα 50 Km/h ή κινούμενοι με μεγάλη ταχύτητα >100 Km/h). Ειδικά λοιπόν σε μεγάλες ταχύτητες έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου της ολίσθησης συχνότητας (Doppler shift) η οποία και οδηγεί σε προβλήματα στην λήψη των φίλτρων τα οποία είναι σχεδιασμένα να λαμβάνουν σε ένα bandpass συγκεκριμένο εύρος φάσματος. Η οποιαδήποτε ολίσθηση θα οδηγήσει σε παραμόρφωση του σήματος λήψης και επομένως σε BER....

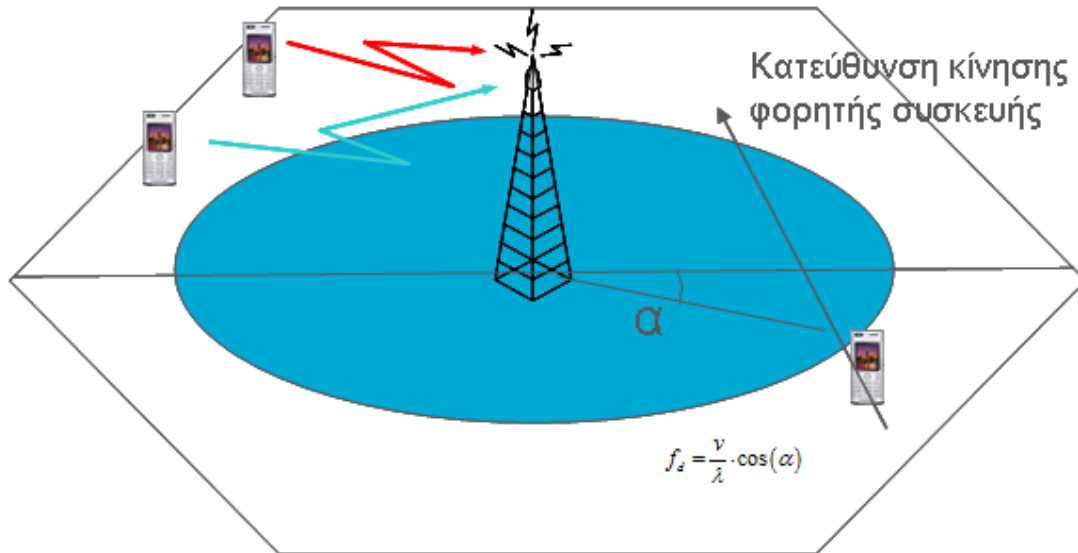
Η ολίσθηση στην συχνότητα δίδεται από την Φυσική με τον τύπο:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos \alpha$$

Όπου  $v$  η ταχύτητα της φορητής συσκευής,  $\lambda$  το μήκος κύματος της συχνότητας επικοινωνίας ( $\lambda = c/f$ ) και τέλος  $\alpha$  ή γωνία προσβολής της κατεύθυνσης κίνησης της φορητής συσκευής σε σχέση με την θέση του σταθμού βάσης, σχήμα 2.13.

Η αναμενόμενη παραμόρφωση στο σήμα λήψης που θα εμφανίσει αυτή η ολίσθηση θα πρέπει να αποφευχθεί πάσει θυσία. Στην ουσία μπορούμε να δούμε αυτήν την παραμόρφωση ως την χρονική εξάρτηση της μεταβολής της απόκρισης του ασυρμάτου καναλιού στην ισχύ λήψης του σήματος 2.10. Αυτήν την χρονική εξάρτηση της απόκρισης του καναλιού ονομάζουμε coherence time channel response  $T_c$  και κατά μέσο όρο μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση  $T_c = 1/f_d$ . Επομένως εάν έχουμε μεγάλη χρονική τιμή στο coherence time του καναλιού τότε έχουμε μικρή Doppler shift και αναμένουμε μικρές χρονικές διακυμάνσεις της απόκρισης του καναλιού (θεωρούμε το κανάλι να έχει περίπου επίπεδη χρονική απόκριση με καλή προσέγγιση και μικρές διακυμάνσεις). Επομένως εάν

θέλουμε να έχουμε πάντα και υπό οιοσδήποτε ταχύτητες κίνησης της φορητής μονάδος την ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση στο σήμα μας θα πρέπει η χρονική περίοδος του OFDM συμβόλου  $T_u$  να είναι σαφώς κατά πολύ μικρότερη του coherence time channel response!!!!



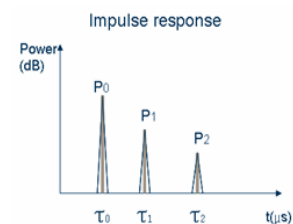
Σχήμα 2.13 Doppler Shift

Συνοψίζοντας επομένως έχουμε τους ακόλουθους περιορισμούς, σχήμα 2.14. Η περίοδος του συμβόλου της πληροφορίας θα πρέπει να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του delay spread και ταυτόχρονα κατά πολύ μικρότερη του coherence time channel response, δηλαδή  $\sigma_{rms} \ll T_u \ll T_c$ .

### Design Implementation Characteristics

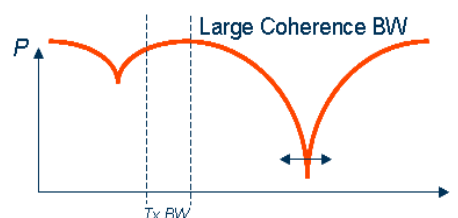
- Symbol time should be long enough in order to experience flat fading

$$T_{bit} \gg \tau_{delay}$$



- Symbol time should at the same time not exceed the coherence time of the channel.

Doppler Shift:  $T_{bit} \ll T_c$



- Feedback from the terminal must be quick and fresh enough so that the radio channel properties have not changed too much when the signal is transmitted.

Σχήμα 2.14 Περιορισμοί στον σχεδιασμό του  $\Delta f$  subcarrier spacing

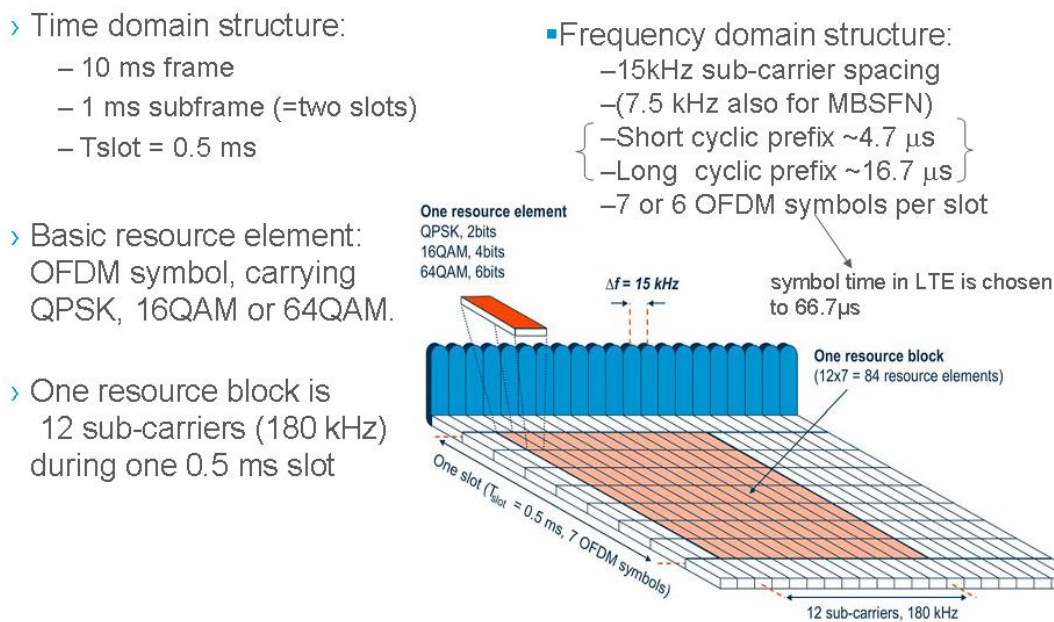
Αν αντιστρέψουμε αυτήν την σχέση θα έχουμε την ακόλουθη αλληλουχία:

$$1/\sigma_{rms} \gg 1/T_u \gg 1/T_c \rightarrow f_d \ll \Delta f \ll B_c$$

Για τυπικές τιμές φορητής συσκευής με ταχύτητα 150 Km/h (συνδρομητής σε αυτοκινητόδρομο ή τρένο) με γωνία προσβολής  $30^\circ$  σε συχνότητα λειτουργία 2,6 GHz σε αστικό περιβάλλον κέντρου πόλεως με μέγιστη delay spread 3  $\mu$ s θα έχουμε αντιστοίχως  $f_d = 314$  Hz και  $B_c = 333$  KHz, επομένως θα πρέπει να ισχύει  $314$  Hz  $\ll \Delta f \ll 333$  KHz το οποίο και ισχύει προφανώς για subcarrier  $\Delta f = 15$  KHz !!!!

3. Η φασματική απόσταση OFDM subcarrier spacing  $\Delta f$  – διαθέσιμο φάσμα 20 MHz.

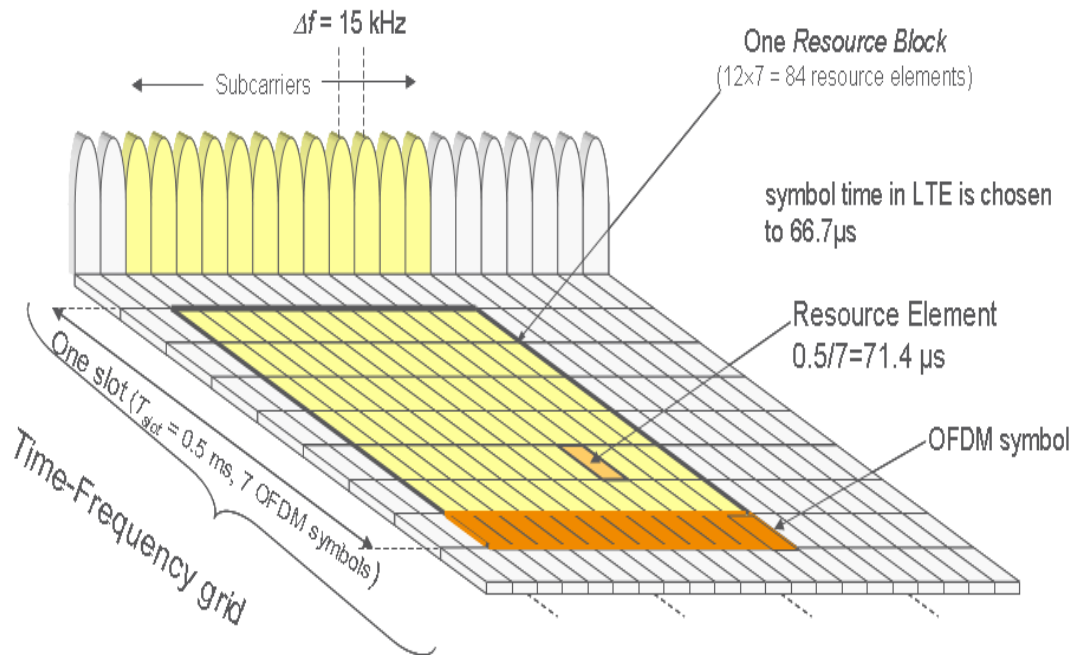
Τέλος θα πρέπει να δούμε και το διαθέσιμο φάσμα που έχουμε ώστε να δώσουμε ικανοποιητικό αριθμό από Physical Radio Blocks στο φάσμα των 20 MHz. Πράγματι αν έχουμε  $\Delta f = 180$  KHz έχουμε διαθέσιμα  $20$  MHz /  $180$  KHz = 112 PRB. Υπολογίζοντας και ένα ποσοστό 10% guard band για την εύρυθμη λειτουργία των φίλτρων στα άκρα του φάσματος θα έχουμε εν τέλει διαθέσιμα  $112$  PRB -  $112$  PRB x 0,1 guard band = 100 PRBs. Αυτά θα πρέπει να είναι ικανά να μας δώσουν ρυθμούς μετάδοσης στα 100 Mbps χωρίς τεχνολογία MIMO και 400 Mbps με MIMO 4x4 spatial multiplexing. Αυτό είναι κάτι που θα υπολογίσουμε στο ακόλουθο κεφάλαιο 3 της πτυχιακής εργασίας.



Σχήμα 2.15 Παράμετροι του OFDM πλαισίου χρόνου-συχνότητας στο δίκτυο LTE

Συνοψίζοντας στο σχήμα 2.15, παρουσιάζουμε την δομή του OFDM πλαισίου στον χρόνο και την συχνότητα με όλες τις παραμέτρους που έχουμε μέχρι τώρα συζητήσει και στο σχήμα 2.16 δίδουμε αναλυτικά τα δομικά στοιχεία του OFDM time-frequency grid. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ένα resource element (το οποίο αντιστοιχεί σε έναν subcarrier  $\Delta f = 15$  KHz σε χρονική περίοδο ενός OFDM symbol 66,67  $\mu$ s) περιέχει πληροφορία (user bits ή

signaling bits) η οποία μπορεί να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές διαμορφώσεις όπως QPSK, 16QAM ή 64QAM.



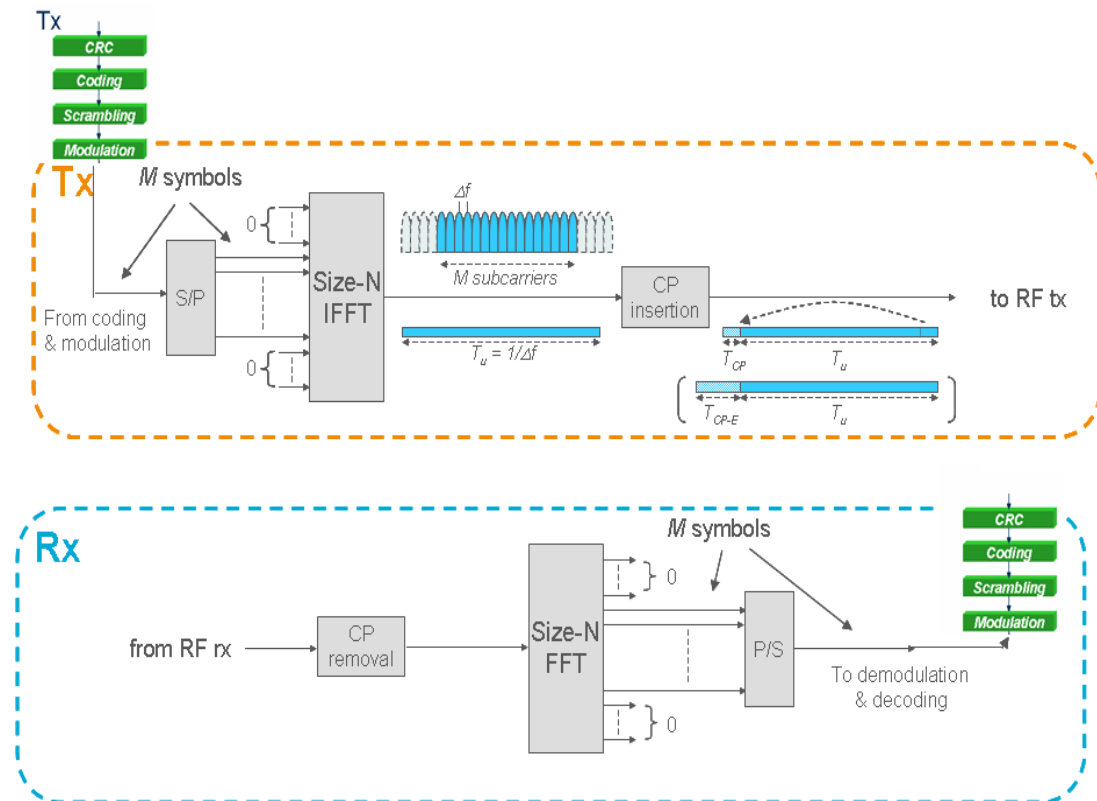
Σχήμα 2.16 Δομικά στοιχεία του OFDM πλαισίου χρόνου-συχνότητας στο δίκτυο LTE

### 2.2.3 Βασικές αρχές διαμόρφωσης OFDM

Για να μπορέσουμε να απεικονίσουμε την πληροφορία υπό μορφή πακέτων που έρχεται από τα πρωτόκολλα RLC/MAC της διεπαφής αέρα θα πρέπει να εφαρμόσουμε κατ' αρχάς error protection (Turbo FEC coding) και error detection (CRC coding), εν συνεχεία να διαμορφώσουμε την πληροφορία καταλλήλως (QPSK, 16QAM, 64 QAM) και εν τέλει να την στείλουμε στην μονάδα διαμόρφωσης OFDM προς κατάλληλη επεξεργασία. Στο σχήμα 2.17 παρουσιάζεται αυτή η διαδικασία.

Στην μονάδα διαμόρφωσης OFDM τα δεδομένα θα περάσουν από έναν Serial to Parallel S/P converter και θα διαμορφώσουν συνολικά 12 subcarriers με εύρος 15 KHz έκαστος ώστε να δημιουργηθεί ένα 180 KHz PRB. Αυτοί οι subcarriers θα επεξεργαστούν καταλλήλως σε μία μονάδα Inverse Fast Fourier Transform και θα δημιουργηθεί ένα χρονικό σήμα (OFDM symbol) με φάσμα 180 KHz και χρονικό εύρος  $T_u = 1/\Delta f = 66,67 \mu s$  και εν συνεχεία θα προστεθεί ο επιθυμητός Cyclic Prefix (CP) ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής (Intersymbol Interference, ISI) στον μέγιστο βαθμό. Επομένως καταλήγουμε σε ένα σήμα το οποίο έχει φάσμα 180 KHz και χρονικό εύρος  $T_u + CP = 1/\Delta f + CP = 66,67 \mu s + 4,7 \mu s = 71,4 \mu s$ , δηλαδή ένα OFDM symbols, σχήμα 2.16. Αυτό θα επαναληφθεί παράλληλα 7 φορές ώστε να δημιουργηθούν παράλληλα στον χρόνο 7 OFDM symbols, δηλαδή ένα timeslot των  $7 \times 71,4 \mu s = 0,5 ms$ . Εν συνεχεία άλλη μία τέτοια μονάδα των 0,5 ms θα δημιουργηθεί παράλληλα χρονικά και έτσι έχουμε δομήσει το χρονικό πλαίσιο των δύο timeslots, δηλαδή του ενός subframe στα 1 ms διάρκεια. Επομένως σε

χρονικό διάστημα 1 ms έχουμε δομήσει το πλαίσιο στον χρόνο – συχνότητα το οποίο και αποκαλέσαμε Resource Block. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 2.18:

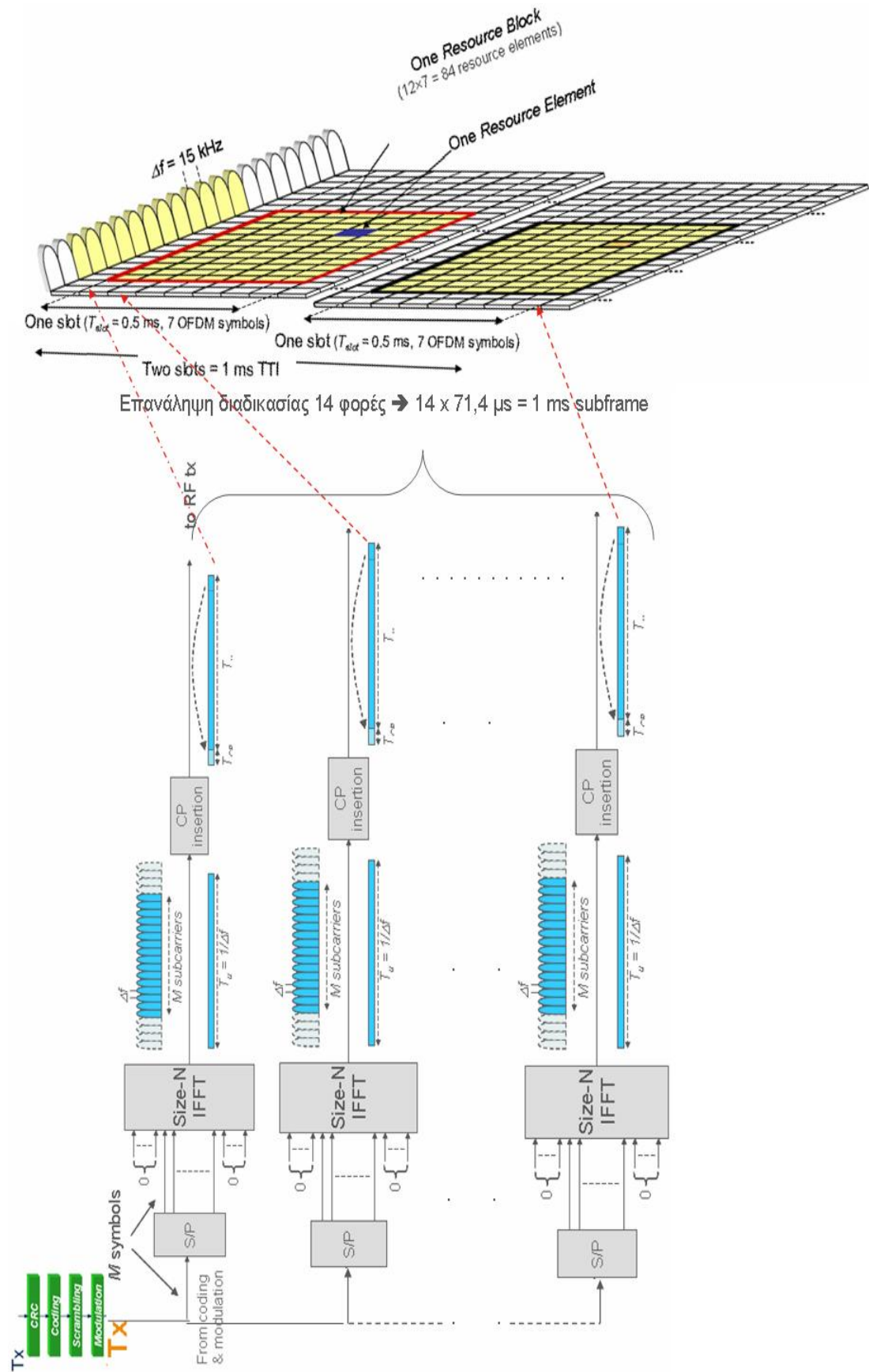


Σχήμα 2.17 Διαδικασία επεξεργασίας RLC/MAC πακέτων στο φυσικό επίπεδο του LTE

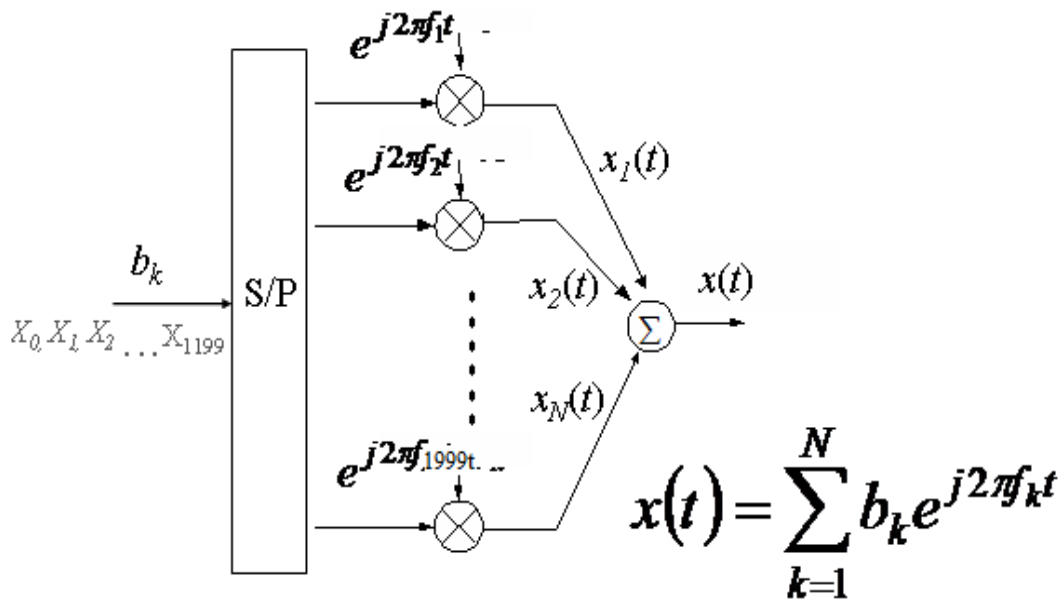
Η διαδικασία της διαμόρφωσης OFDM περιλαμβάνει την επεξεργασία με τον διακριτό αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier (IFFT) η οποία και παρουσιάζεται ακολούθως. Επί της ουσίας **1200 διαμορφωμένα** (QPSK, 16QAM ή 64QAM) **σύμβολα** ( $X_0, X_1, \dots, X_{1199}$ ), τα οποία αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως complex modulated symbols και τα οποία είναι αναλογικές κυματομορφές οι οποίες περιλαμβάνουν 2 bits / symbol (διαμόρφωση QPSK) ή 4 bits / symbol (διαμόρφωση 16QAM) ή 6 bits / symbol (διαμόρφωση 64QAM) αντιστοίχως, εισέρχονται στο serial to parallel converter και δημιουργούνται έτσι  $N = 1200$  παράλληλα μονοπάτια προς επεξεργασία. Το ερώτημα είναι γιατί χρειαζόμαστε 1200 complex modulated symbols; Η απάντηση είναι απλή: το μέγιστο εύρος φάσματος του δικτύου LTE είναι 20 MHz και αν αφαιρέσουμε το 10% του guard band έχουμε 100 PRB, επομένως θα έχουμε στα 20 MHz φάσμα  $100 \text{ PRB} \times 12 \text{ subcarriers/PRB} = 1200 \text{ subcarriers!!!}$  Άρα χρειαζόμαστε να δημιουργήσουμε 1200 διαφορετικούς subcarriers!!! Το κάθε διαμορφωμένο λοιπόν σύμβολο  $X_n, n = 1, 2, \dots, 1200$ , στα παράλληλα μονοπάτια διαρκεί περίοδο  $T_s = 1/\Delta f = 66,67 \mu\text{s}$  και θα πρέπει να διαμορφώσει ένα φέρον σε κάθε κεντρική συχνότητα εκ των 1200 PRB των 20 MHz.

Στο σχήμα 2.19 παρουσιάζεται η διαδικασία της διαμόρφωσης.





Σχήμα 2.18 Αναλυτική παρουσίαση δημιουργίας του Resource Block time frequency grid



Σχήμα 2.19 Αναλυτική παρουσίαση διαμόρφωσης 1200 subcarrierw, φάσμα 15 KHz έκαστος

Κάθε ένα από τα 1200 complex modulated symbols διαρκεί επομένως 66,67  $\mu$ s όπως είπαμε προηγουμένως και παραλλήλως όλα αυτά διαμορφώνουν 1200 φέρουσες. Άρα παραλλήλως στο φάσμα δημιουργούμε ένα OFDM symbol των 66,67  $\mu$ s σε φασματική επέκταση 1200 subcarriers x 15 KHz = 20 MHz φάσμα!!! Αυτό φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 2.20

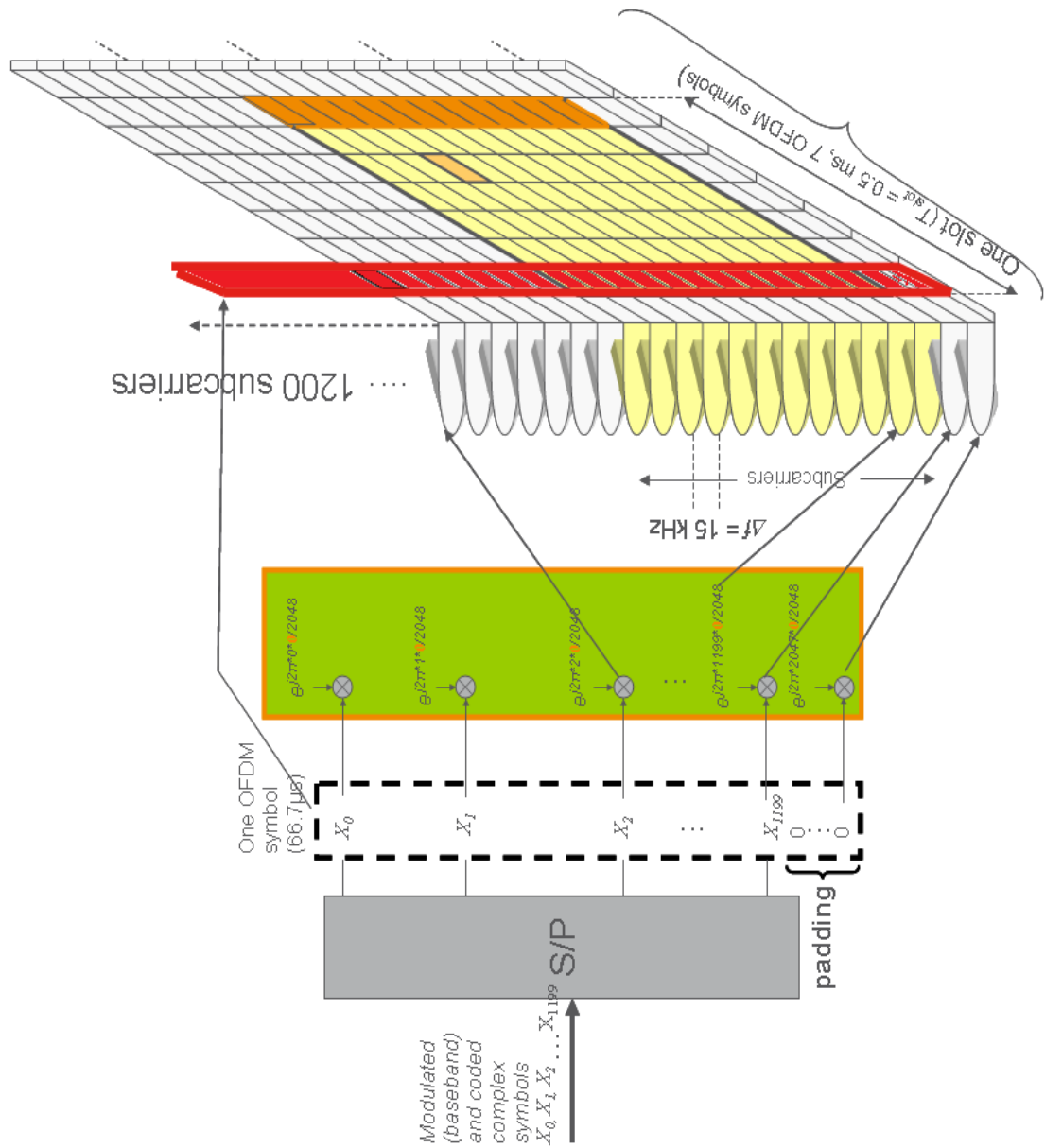
Ο φασματικός διαχωρισμός των subcarriers είναι 15 KHz, επομένως στον επεξεργαστή του ολοκληρωμένου OFDM signal processor microchip ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι  $f_s = 15000 \times N_{FFT} = 15000 \times 2^{11} = 30,72 \text{ MHz}$ , όπου έχουμε την εκτέλεση  $N_{FFT} = 2^{11} = 2048$  παράλληλων δειγματοληψιών για κάθε ένα εκ των 1200 OFDM συμβόλων ( $X_0, X_1, \dots, X_{1199}$ ) σε χρόνο  $T_s = 66,67 \mu$ s, και εν συνεχεία αθροίζονται ώστε να δημιουργήσουμε ένα σύνθετο διακριτό σήμα.

Το σήμα το οποίο δημιουργείται έχει την ακόλουθη μαθηματική έκφραση:

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{j2\pi kn}{N}}, n = 0 \dots N-1 \Rightarrow x_n = \frac{1}{2048} \sum_{k=0}^{2047} X_k e^{\frac{j2\pi kn}{2048}}, n = 0 \dots 2047$$

Όπου  $N = 2048$  δειγματοληψίες.

Το συνολικό σήμα που θα προκύψει σε χρόνο 66,67  $\mu$ s θα επεκταθεί χρονικά με το Cyclic Prefix και θα οδηγηθεί στον διαμορφωτή ώστε να σταλεί στον αέρα. Στο σχήμα 2.21 παρουσιάζεται η όλη διαδικασία.



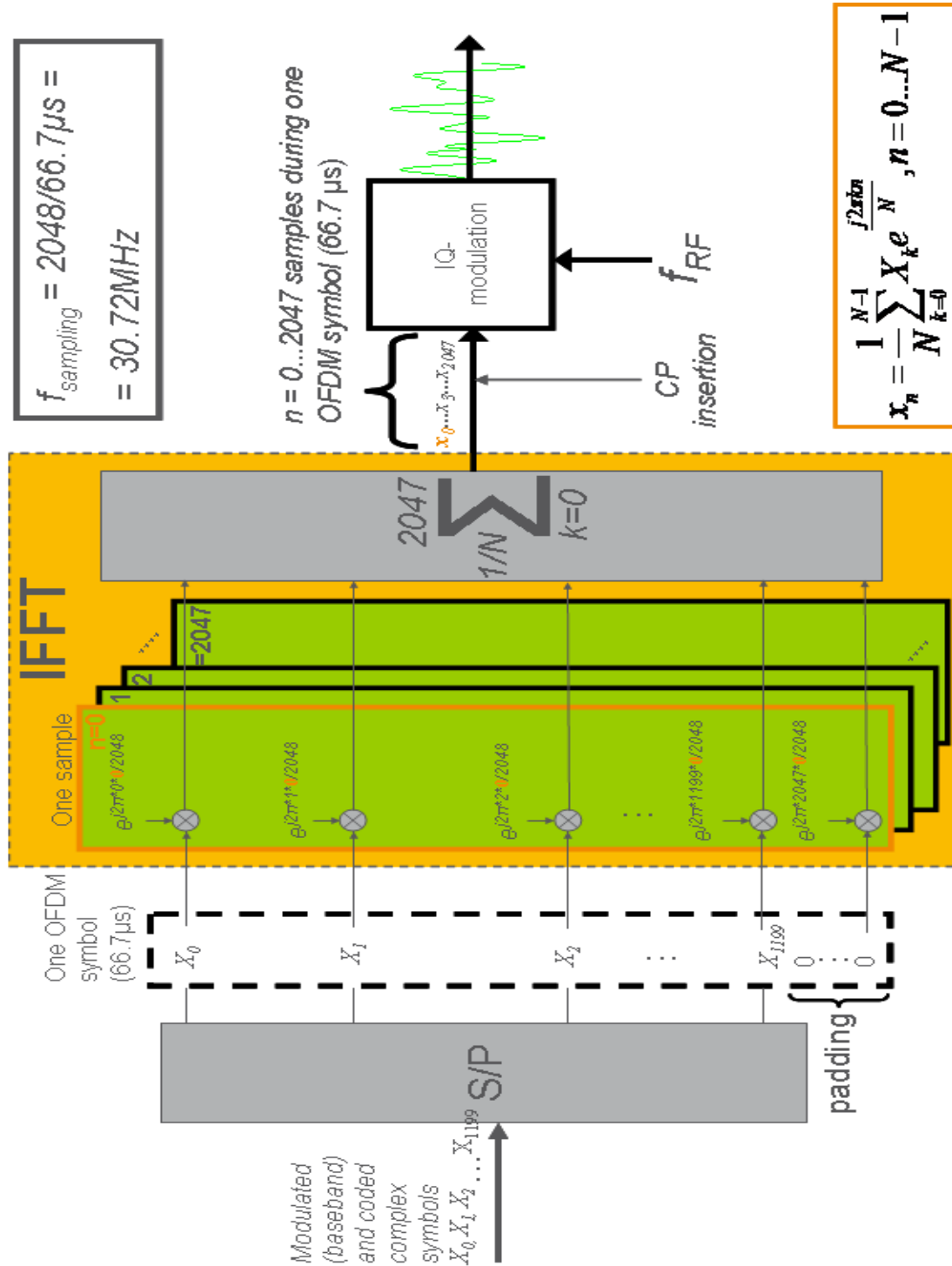
Σχήμα 2.20 Αναλυτική παρουσίαση δημιουργίας ενός OFDM symbol σε BW = 20 MHz

Τελειώνοντας την παρουσίαση αυτή θα πρέπει να εξηγήσουμε γιατί η όλη διαδικασία ονομάζεται Orthogonal Frequency Division Multiple access technique με έμφαση στην ορθογωνιότητα. Η σημασία της ορθογωνιότητας έγκειται στο γεγονός ότι όταν πάρω δείγματα του φασματικού σήματος κάθε subcarrier θα πρέπει να μην λαμβάνω καμία άλλη συνεισφορά από το φασματικό σήμα των υπολοίπων 1199. Αλλά πως μοιάζει το φάσμα ενός subcarrier. Στην ουσία είναι ένα truncated carrier του οποίου ο μετασχηματισμός Fourier είναι η sinc συνάρτηση. Στο σχήμα 2.22 παρουσιάζεται το φάσμα ενός subcarrier. Ορθογωνιότητα σημαίνει μαθηματικά:

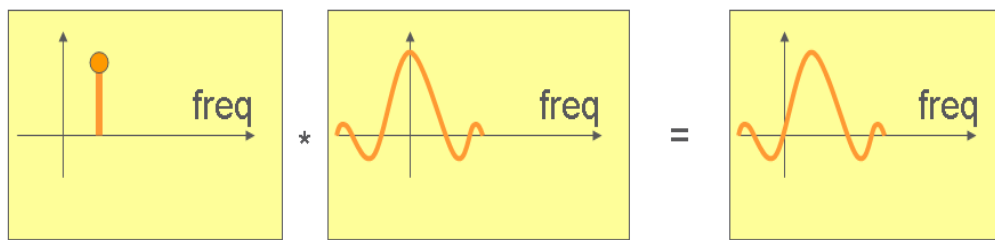
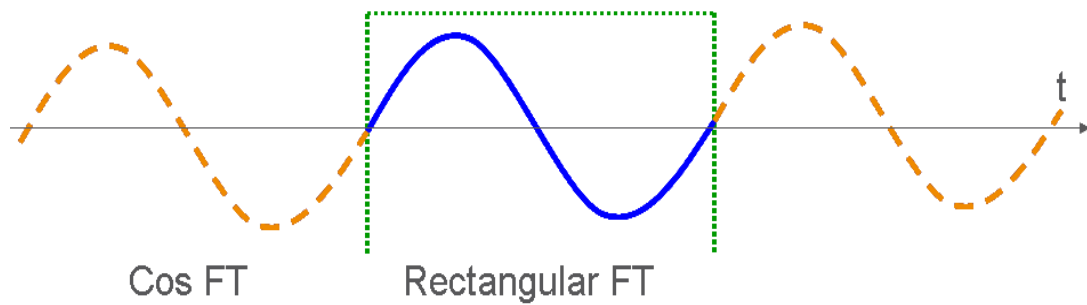
$$\int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2^*(t)dt = 0$$

Και επομένως για δύο τυχαία σήματα subcarriers θα έχω:

$$\gamma_{12} = \int_0^T x_1(t) \cdot x_2^*(t) dt = \int_0^T e^{j2\pi f_1 t} \cdot e^{j2\pi f_2 t} dt = \int_0^T e^{j2\pi (f_1 - f_2) t} dt = \frac{\sin \pi \Delta f T}{\pi \Delta f T} e^{j2\pi \Delta f T}$$

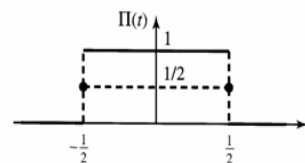


Σχήμα 2.21 Αναλυτική διαδικασία OFDM διαμόρφωσης σε BW = 20 MHz

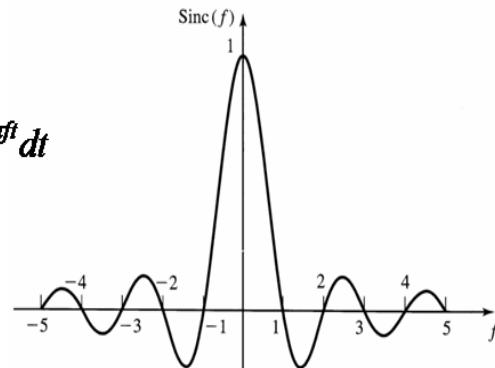


$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt = F[x(t)]$$

$$x_{\pm}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df = F^{-1}[x(f)]$$



$$\begin{aligned} F[\Pi(t)] &= \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(t)e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \Pi(t)e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \frac{1}{-j2\pi f} \left[ e^{-j\pi f} - e^{j\pi f} \right] \\ &= \frac{\sin(\pi f)}{\pi f} = \text{sinc}(f) \end{aligned}$$



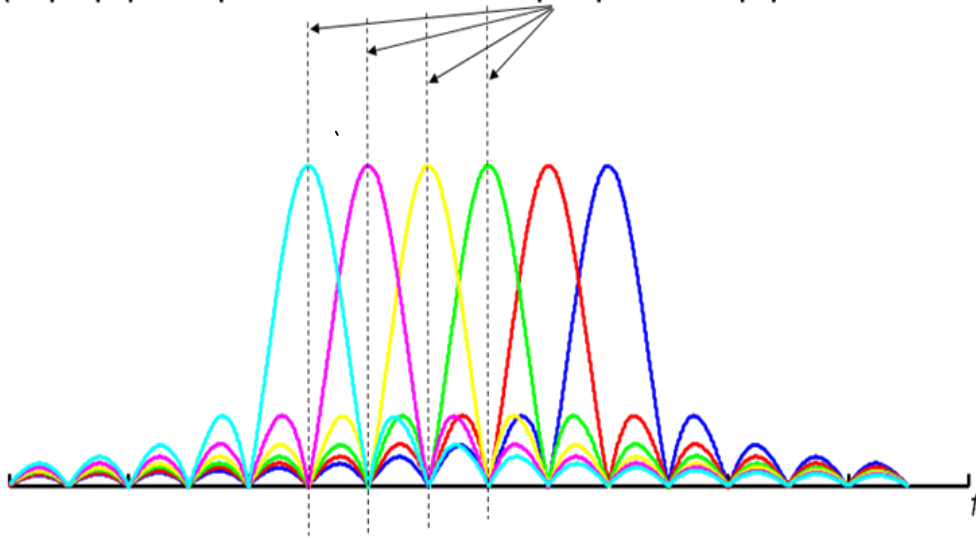
Σχήμα 2.22 Φασματική αναπαράσταση ενός subcarrier

Το κριτήριο ορθογωνιότητας είναι:

$$\gamma_{12} = 0 \Rightarrow \Delta f T = n \Rightarrow \Delta f = \frac{n}{T}, n = 1, 2, 3, \dots$$

Και επιλέγοντας  $n = 1$  θα έχω  $\Delta f = 1/T = 15 \text{ KHz}$ . Το συνολικό σήμα των 1200 subcarriers θα έχει φάσμα το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 2.23

Επιθυμούμε στο σημείο δειγματοληψίας κάθε φέροντος να έχουμε μηδενισμό των υπολοίπων φασματικών φερουσών



source



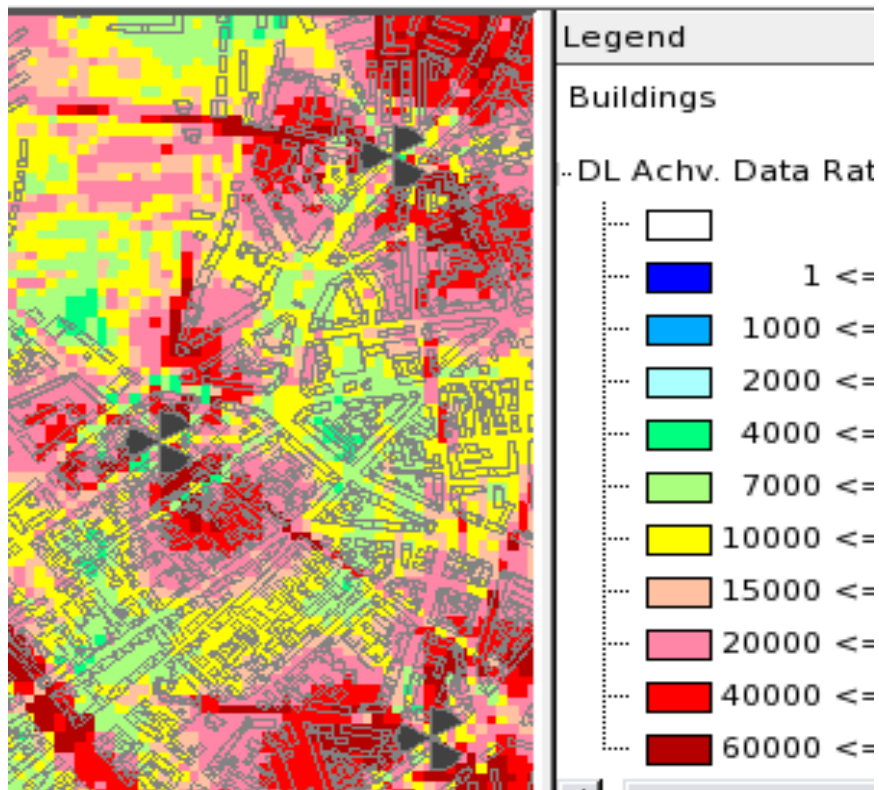
Σχήμα 2.23 Φασματική αναπαράσταση των 1200 subcarriers

### Αναφορές

- [1] Ericsson course "LTE/SAE System Overview", LZT123 8828 R1A
- [2] Ericsson course "LTE Air Interface", LZU1087897

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



#### 3.1 Βασικές Ιδέες Σχεδιασμού του Ράδιο Δίκτυο LTE

Ο σχεδιασμός του ράδιο δικτύου LTE, όπως και κάθε ράδιο δικτύου ενός ασυρμάτου δικτύου ευρείας ζώνης (broadband wireless networks HSPA, WiFi, WiMAX etc), επικεντρώνεται σε πέντε βασικές παραμέτρους:

- Την ράδιο κάλυψη μίας περιοχής ώστε να έχουμε ικανοποιητικό σήμα λήψης.

Αυτό είναι εφικτό με τον υπολογισμό της αρχικής ισχύος εκπομπής του πομπού του σταθμού βάσης, του tilt της κεραίας, της απολαβής - κέρδους (gain) της κεραίας, της συχνότητας επικοινωνίας και τέλος του καταλλήλου και ακριβούς μοντέλου απόσβεσης του καναλιού επικοινωνίας (pathloss model).

- την εκτίμηση της ρυθμαπόδοσης (Throughput) σε δύο περιπτώσεις:

**A.** στην χειρότερη περίπτωση η οποία είναι ένας χρήστης στα άκρα του κυττάρου (cell edge user). Αυτό είναι και το χειρότερο σημείο στην απόδοση ενός ευρυζωνικού ασυρμάτου δικτύου καθώς εκεί ο χρήστης θα έχει το χαμηλότερο σήμα λήψης λόγω pathloss και ταυτόχρονα την ισχυρότερη δια-κυτταρική παρεμβολή (intercell interference) από την κίνηση των γειτονικών κυττάρων. Επομένως αναμένεται οι χρήστης να αντιμετωπίσει καταστάσεις χαμηλού SINR. Δεχόμενοι ότι η αναμενόμενη ρυθμαπόδοση εξαρτάται καίρια από την λειτουργία του MAC scheduler και αναλογιζόμενοι ότι η λειτουργία του αλγόριθμου απόδοσης ράδιο πόρων (Physical Resource Blocks PRB) του MAC Scheduler βασίζεται στις συνθήκες του καναλιού επικοινωνίας (channel dependant scheduler) αντιλαμβανόμαστε ότι ένας χρήστης στα άκρα του κυττάρου με χαμηλό εν γένει SINR θα «τιμωρηθεί» από τον MAC Scheduler και θα του αποδοθούν οι ελάχιστοι δυνατοί πόροι (low scheduling weighting). Η συνέπεια θα είναι χαμηλή ρυθμαπόδοση και επομένως δυσαρεστημένοι χρήστες!!! Ο αναγνώστης και ο σχεδιαστής του δικτύου (Radio Planner) θα πρέπει να καταλάβει ότι το λογισμικό και η λειτουργία ενός MAC scheduler δεν είναι τυποποιημένη στα πρότυπα της 3GPP (non 3GPP standardized process) αλλά έχει αφεθεί στον σχεδιασμό της εκάστοτε εταιρείας παροχής εξοπλισμού (vendor specific solution). Αυτό αποτελεί και τον στρατηγικό σχεδιασμό κάθε vendor ο οποίος και διαφοροποιεί την απόδοση του εξοπλισμού του έναντι άλλων vendors σε ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Δυστυχώς για τους σχεδιαστές δικτύου ο αλγόριθμος λειτουργίας και απόδοσης ράδιο πόρων του MAC Scheduler είναι επτασφράγιστο μυστικό (top secret) του τμήματος Έρευνας& Τεχνολογίας (Research & Development, R&D) κάθε vendor και προφανώς δεν δίδεται ποτέ στην δημοσιότητα. Για τους σχεδιαστές δικτύου επομένως ο MAC Scheduler μοιάζει με ένα μαύρο κουτί του οποίου την λειτουργία δεν γνωρίζουμε αλλά μπορούμε μόνο να εκμαιεύσουμε με πειραματικές μετρήσεις (drive tests & real traffic trials) και curve fitting των αποτελεσμάτων. Εφόσον λοιπόν δεχόμαστε ότι ο αλγόριθμος λειτουργίας του MAC scheduler δεν δύναται να αλλάξει, η δουλειά ενός σχεδιαστή ασυρμάτου δικτύου είναι να προσπαθήσει να βελτιώσει τις εξωτερικές συνθήκες του δικτύου (παρεμβολή, κυτταρική κάλυψη, μέγεθος κυττάρου κτλπ) με απώτερο σκοπό βέβαια την βελτίωση της ρυθμαπόδοσης υπό δεδομένη λειτουργία MAC Scheduler.

Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι η ρυθμαπόδοση ενός χρήστη στα άκρα του κυττάρου (cell edge user throughput) αποτελεί στον σχεδιασμό του κυττάρου μία από τις βασικές περιοριστικές παραμέτρους (planning constraints, operator requirements) που πρέπει να λάβει υπόψιν του ο σχεδιαστής !!!

**B.** τον υπολογισμό του μέσου όρου της ρυθμαπόδοσης σε οποιαδήποτε απόσταση από τον σταθμό βάσης στα πλαίσια της κυτταρικής κάλυψης της γεωγραφικής περιοχής. Αυτό είναι επίσης πολύ βασικό εφόσον οι χρήστες δεν είναι στατικοί αλλά κινούνται, επομένως αναμένουμε με μεγάλη πιθανότητα να κινούνται και να βρίσκονται κατά την διάρκεια της προσφερόμενης υπηρεσίας οπουδήποτε στο κύτταρο. Αυτός ο υπολογισμός θα πρέπει να βασιστεί σε μοντέλα λειτουργίας του MAC scheduler, όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, και σε εκτιμήσεις της αναμενόμενης δια-κυτταρικής παρεμβολής σε οποιοδήποτε σημείο της κυτταρικής κάλυψης. Σε μία τέτοια περίπτωση ουσιαστικό δεν είναι τόσο το πηλίκo SINR του χρήστη όσο η χωρητικότητα του κυττάρου και η ευαισθησία



απόδοσης ράδιο πόρων από τον MAC scheduler σε διακυμάνσεις του φορτίου κίνησης στο κύτταρο.

- Η διασφάλιση - διαβεβαίωση ότι τα κανάλια σηματοδοσίας (συμπεριλαμβανομένων των broadcast channel BCCH, του καναλιού paging PCCH, των καναλιών σηματοδοσίας φυσικού επιπέδου layer 1 signaling channels PCFICH, PHICH PDCCH, και του καναλιού σηματοδοσίας φυσικού επιπέδου layer 1 signaling channels PUCCH) μπορούν και φθάνουν στον δέκτη στα/από τα άκρα του κυττάρου με ικανοποιητικό ηλιόκο SINR.

Η σημασία τους δίδεται ακολούθως. Το κανάλι BCCH αποτελεί τον πυλώνα της επιτυχούς λειτουργίας μίας φορητής συσκευής εντός κυτταρικής κάλυψης καθώς ενημερώνει την φορητή συσκευή με όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους ώστε να μπορέσει να εκτελέσει τις λειτουργίες της εντός κυττάρου (handovers, neighbours, cell selection/cell reselection, DRX, measurements and events etc). Βέβαια το κανάλι αυτό επαναλαμβάνει στον χρόνο την αποστολή των παραμέτρων αυτών περιοδικά, επομένως η αποτυχία ανάγνωσης κάποιας πληροφορίας σε περίοδο ενός subframe θα επαναληφθεί στο μέλλον, ελαττώνοντας κάπως την σημασία της σωστής ανάγνωσης και της απολύτου διαβεβαίωσης μέσω σχεδιασμού. Η διαβεβαίωση σωστής ανάγνωσης του καναλιού PCCH είναι περισσότερο σοβαρή καθόσον μέσω αυτού του καναλιού ενημερώνονται οι φορητές συσκευές για οιαδήποτε τερματιζόμενη υπηρεσία από το δίκτυο κορμού (mobile terminating session). Ενδεχόμενη αδυναμία ή αποτυχία ανάγνωσης αυτού του καναλιού σηματοδοσίας θα επιφέρει ενδεχομένως απώλεια απάντησης σε αίτημα σύνδεσης (dropped terminating call) επιβαρύνοντας τα στατιστικά στοιχεία απόδοσης του δικτύου (Network statistics & KPIs). Τα άλλα τρία downlink κανάλια σηματοδοσίας φυσικού επιπέδου είναι και τα σημαντικότερα και ο σχεδιαστής δικτύου θα πρέπει να επικεντρώσει τους υπολογισμούς του ώστε να διασφαλίσει την σωστή παράδοση τους και ανάγνωση τους στην φορητή συσκευή κάθε χρήστη στα άκρα του κυττάρου. Οι λόγοι είναι αρκετά προφανείς και δίδονται ακολούθως. Το κανάλι PCFICH περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το πόσα OFDM symbols δεσμεύονται στο φάσμα του κυττάρου για την αποστολή της πληροφορίας του καναλιού PDCCH. Το κανάλι PDCCH μεταφέρει καίριες πληροφορίες για την αποστολή και λήψη πακέτων δεδομένων στην φορητή συσκευή κάθε ένα subframe. Τέτοιες πληροφορίες είναι οι εντολές UL/DL scheduling, η δομή των MAC πακέτων (transport format selection) σχετικά με ποιο είδος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης έχει επιλεγεί από τον scheduler, εντολές power control και παράμετροι της διαδικασίας HARQ. Ενδεχόμενη συχνή αδυναμία ανάγνωσης ή απώλεια λήψης του καναλιού αυτού θα σήμαινε αδυναμία ενημέρωσης εάν έχουν αποδοθεί ράδιο πόροι στο uplink & downlink και με ποιες παραμέτρους με αποτέλεσμα την δραματική ελάττωση της ρυθμαπόδοσης του χρήστη. Το κανάλι PHICH μεταφέρει τις λίστες με τα πακέτα τα οποία ελήφθησαν βεβλαμμένα από τον δέκτη του σταθμού βάσης (ack/nack corrupted packet list) και τα οποία θα πρέπει να επαναποσταλούν. Ενδεχόμενη αδυναμία ανάγνωσης ή απώλεια αυτού του καναλιού θα σήμαινε μακροπρόθεσμα την καθυστέρηση στην αναμετάδοση βεβλαμμένων πακέτων και άρα την ελάττωση της ρυθμαπόδοσης του χρήστη. Τέλος στο uplink το κανάλι PUCCH είναι επίσης πάρα πολύ σημαντικό καθότι μεταφέρει λίστες με τα πακέτα τα οποία ελήφθησαν βεβλαμμένα από τον δέκτη της φορητής συσκευής (ack/nack corrupted packet list) και τα

οποία θα πρέπει να επαναποσταλούν, αιτήσεις στον MAC scheduler για άμεση απόδοση ράδιο πόρων (uplink scheduling requests) εφόσον ο buffer στην φορητή συσκευή έχει αρχίσει να γεμίζει, και τέλος την σημαντικότερη αναφορά ποιότητας καναλιού (Channel Quality Index) CQI. Ενδεχόμενη αδυναμία ανάγνωσης ή απώλεια αυτού του καναλιού θα σήμαινε ακολούθως: Για την μεν πληροφορία ack/nack την μακροπρόθεσμη καθυστέρηση στην αναμετάδοση βεβλαμμένων πακέτων στο uplink και άρα την ελάττωση της ρυθμαπόδοσης του χρήστη, για τις αιτήσεις άμεσης απόδοσης ράδιο πόρων (scheduling request) την καθυστέρηση απόκρισης του MAC scheduler με συνέπεια την υπερχειλίση του uplink data buffer και άρα την απώλεια IP πακέτων και μακροπροθέσμως την ελάττωση της ρυθμαπόδοσης του χρήστη, και τέλος όσο αναφορά την απώλεια λήψης ή ορθής ανάγνωσης αναφοράς ποιότητας καναλιού CQI τον αποπροσανατολισμό της διαδικασίας Channel Estimation του MAC scheduler και επομένως την λανθασμένη απόδοση ράδιο πόρων με λάθος modulation και coding....

- Η εκτίμηση της αναμενόμενης καθυστέρησης παροχής υπηρεσίας στην διεπαφή αέρα (air interface transmission delay).

Αυτό προσδιορίζεται σαφώς στις διαδικασίες τυποποίησης 3GPP για το αναμενόμενο QoS κάθε υπηρεσίας. Η αναμενόμενη αυτή καθυστέρηση μετάδοσης στον αέρα οφείλεται κατά κύριο λόγο στα αναμενόμενα σφάλματα (BER) των πακέτων μετάδοσης λόγω χαμηλού SINR με συνέπεια την αναμετάδοση των IP πακέτων δεδομένων υπηρεσίας. Ειδικά σε υπηρεσίες οι οποίες είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις (delay sensitive services), όπως η υπηρεσία VoIP και Video streaming, αυτή η παράμετρος αποτελεί μία από τις βασικότερες μετρικές ποιότητας (performance metric). Ο σχεδιαστής δικτύου θα πρέπει κατά τον σχεδιασμό να φροντίσει να εκτιμήσει και αυτήν την παράμετρο, ειδάλως δεν θα πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις ποιότητας απόδοσης (QoS & Performance metrics).

- Ο σχεδιασμός της χωρητικότητας του backhaul δικτύου μετάδοσης από τον σταθμό βάσης στο δίκτυο κορμού.

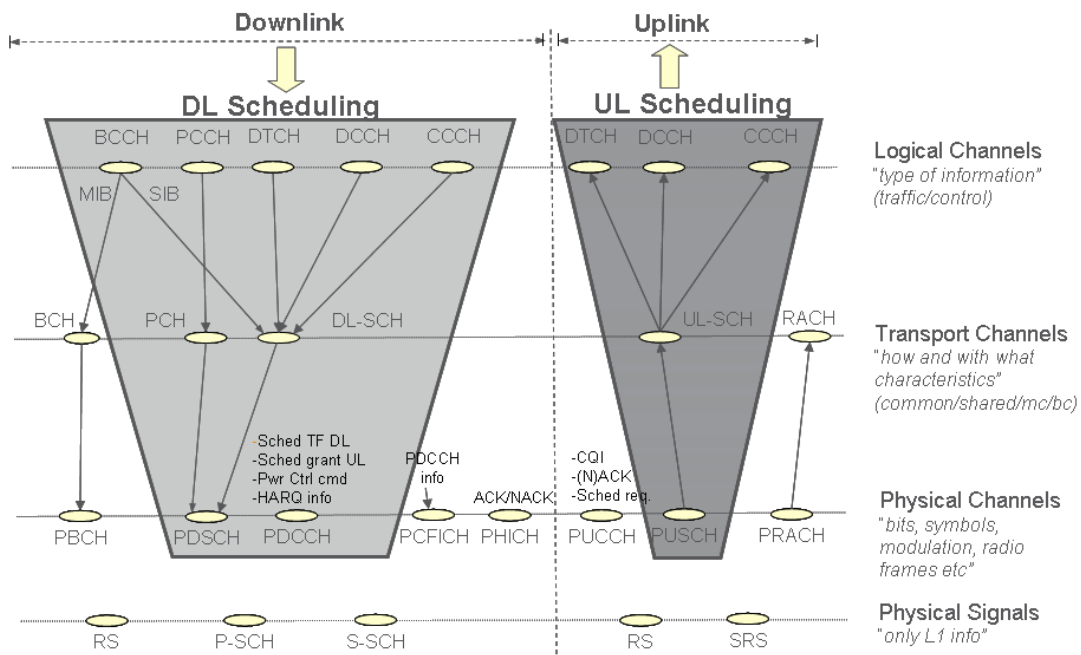
Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι από τα κύτταρα ενός σταθμού βάσης eNodeB του δικτύου LTE θα αναμένουμε μεγάλο όγκο τηλεπικοινωνιακής κίνησης, ο οποίος θα πρέπει και να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο μετάδοσης IP/Ethernet στην διεπαφή eNodeB – P/SW του δικτύου κορμού. Ενδεχόμενη αστοχία υπολογισμού της χωρητικότητας θα οδηγούσε σε congestion και flow control rate reduction με συνέπεια την καθυστέρηση της παράδοσης της υπηρεσίας του χρήστη και ελάττωση της ποιότητας.

Είναι αντιληπτό επομένως ότι ο σχεδιαστής δικτύου είναι επιφορτισμένος με ένα αρκετά δύσκολο και σύνθετο έργο, την διεκπεραίωση του οποίου δυσχεραίνει επιπλέον και η ύπαρξη του μεγάλου αγνώστου MAC scheduler. Για αυτόν τον λόγο θα πρέπει να εξαχθούν βασικές κατευθύνσεις λειτουργίας του MAC, scheduler, κατευθυντήριες οδηγίες αν προτιμάτε, βασιζόμενες είτε σε προσομοιώσεις (οι οποίες και δεν είναι πάντα ακριβείς εφόσον δεν έχουμε τον ακριβή αλγόριθμο λειτουργίας) είτε σε καμπύλες – μετρικές οι οποίες εξήχθησαν ύστερα από πραγματικές μετρήσεις. Στην παράγραφο που ακολουθεί θα δώσουμε αρχικά κάποιες βασικές αρχές πρακτικών υπολογισμών της ρυθμαπόδοσης ενός

χρήστη σε ένα κύτταρο σε διαφορετικές συνθήκες. Αυτό θα αποτελέσει και μία πρώτη προσέγγιση στην βασική μας εκτίμηση καθώς και θα δώσει στον αναγνώστη μία βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του δικτύου LTE στο E-UTRAN.

### 3.2 Σύντομη Περιγραφή Λειτουργίας MAC Scheduler

Σε αυτό το στάδιο θα δώσουμε μία πρακτική και γρήγορη προσέγγιση, όχι κατ' ανάγκη λεπτομερή, σχετικά με την λειτουργία του MAC Scheduler. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα κανάλια της διεπαφής αέρα τα οποία εμπλέκονται στην διαδικασία του σχεδιασμού.

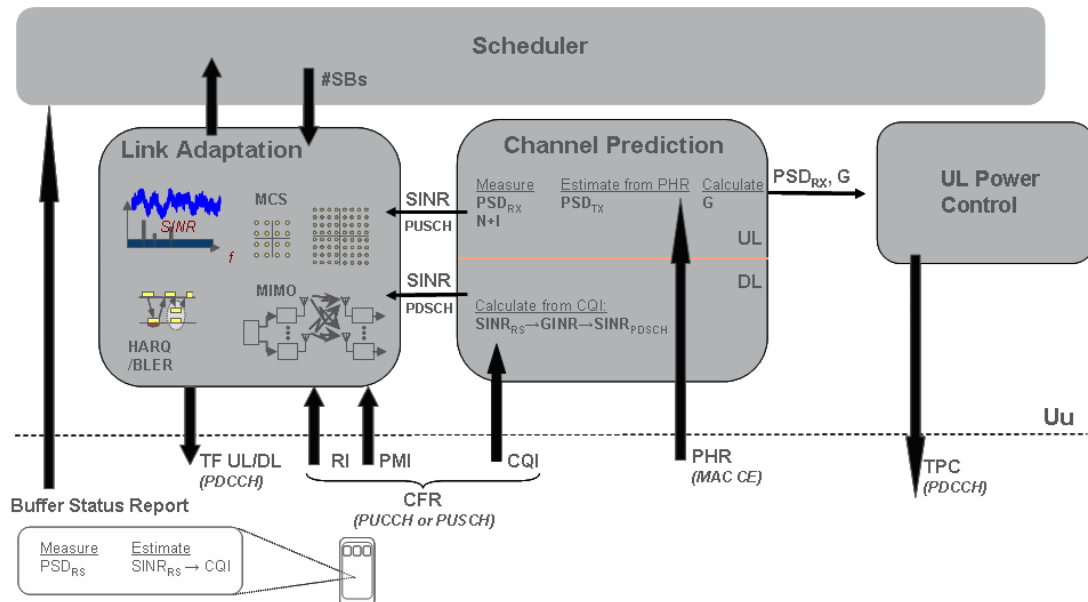


Σχήμα 3.1 Κανάλια της διεπαφής αέρα δικτύου LTE

Η ανάλυση μας θα ξεκινήσει από το πλαίσιο χρόνου – συχνότητας της διαμόρφωσης OFDM και την αλληλεπίδραση του με τον MAC scheduler. Για να λειτουργήσει σωστά ο MAC scheduler πρέπει να αλληλεπιδράσει με τα ακόλουθα τρία δομικά μέρη του eNodeB: την μονάδα Link Adaptation (LA), την μονάδα Channel Prediction και την μονάδα Power Control (PC). Η μονάδα του Scheduler είναι υπεύθυνη για την λήψη αποφάσεων scheduling και την απόδοση του αριθμού των ραδιο πόρων ανά χρήστη κάθε ένα subframe 1 ms. Η μονάδα Channel Predictor είναι υπεύθυνη για την εκτίμηση του καναλιού μετάδοσης στο uplink και στο downlink ώστε να εφοδιάσει με την εκτιμωμένη τιμή SINR την μονάδα Link Adaptation καθώς και την εκτίμηση του power spectrum density (PSD) η οποία και αποστέλεται στην μονάδα Power Control. Η μονάδα Link Adaptation είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση της κατάλληλης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα δεδομένα του MAC transport channel DL-SCH (αυτό που ονομάζουμε στο σχήμα 3.2 Modulation & Coding Scheme, MCS), για την απόφαση σχετικά με τον αριθμό των layers και το rank του Precoder Matrix στην ενδεχόμενη υλοποίηση μετάδοσης μέσω spatial multiplexing - MIMO 2x2 ή 4x4, και στην επιλογή των παραμέτρων για την υλοποίηση της Hybrid Automatic Repeat &

Request (HARQ) λύσης για την διόρθωση – αναμετάδοση βεβλαμμένων πακέτων. Τέλος η μονάδα Power Control είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση της λειτουργίας ελέγχου ισχύος του καναλιού PUSCH η οποία και αποστέλλεται στην φορητή συσκευή μέσω του καναλιού PDCCH στο downlink. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται αυτή η άλλο-συσχέτιση.

Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε ξεχωριστά την λειτουργία στο uplink και στο downlink.



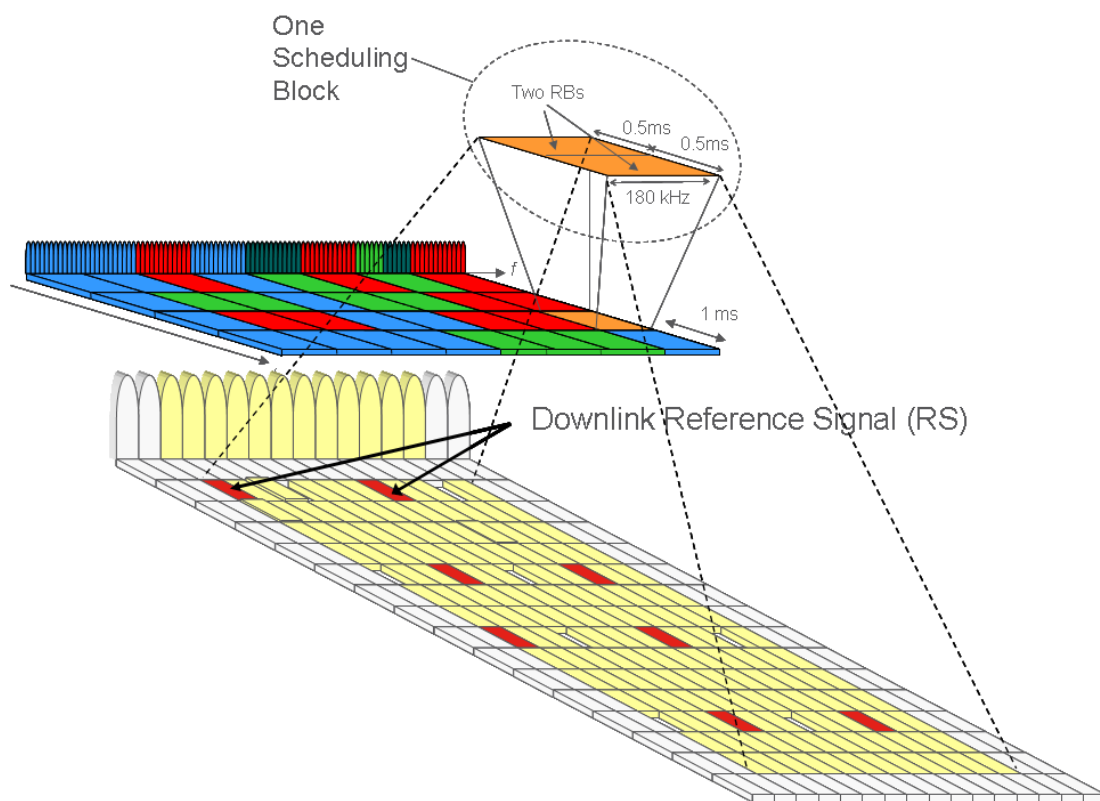
Σχήμα 3.2 Αλληλεπίδραση Scheduler, Link Adaptation & Power Control

### A. Downlink

Στο Downlink η φορητή συσκευή UE αποστέλλει τα δεδομένα του χρήστη στο κανάλι PDSCH και μαζί με το κανάλι σηματοδότησης PDCCH. Για να γίνει η επιλογή της πληροφορίας στο downlink στο επόμενο subframe πρέπει ο σταθμός βάσης eNodeB να λάβει στο uplink δύο σημαντικές πληροφορίες. Η πρώτη πληροφορία είναι η αναφορά Buffer status Report (BSR) μαζί με ένα αίτημα scheduling request η οποία και δηλώνει στον scheduler ότι η φορητή συσκευή έχει υπερβεί ένα όριο (buffer threshold overflowing) χωρητικότητας στον buffer και θα πρέπει της αποδοθούν ράδιο πόροι (scheduling blocks, SB). Η δεύτερη πληροφορία αφορά μία αναφορά, η οποία και έχει θεσπιστεί από την 3GPP ως CFR (Channel Feedback Report), η οποία και περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους. Την παράμετρο Rank Indicator η οποία και δηλώνει μία προτίμηση/εκτίμηση της φορητής συσκευής (ύστερα από αναλυτικούς υπολογισμούς της πληροφορίας στο downlink) σχετικά με το πόσα layers (βάσει 3GPP standards επιτρέπονται το μέγιστο μέχρι τέσσερα layers) θα πρέπει να περιλαμβάνει η spatial multiplexing τεχνική (πολλαπλές κεραιές πρόσβασης), την παράμετρο PMI (Precoding Matrix Indicator) η οποία υποδηλώνει μία προτίμηση/εκτίμηση της φορητής μονάδας σχετικά με τον βαθμό (rank) του πίνακα Precoder Matrix που χρησιμοποιείται στην τεχνική spatial multiplexing (η οποία δεν μπορεί να ξεπεράσει τον αριθμό των κεραιών που υλοποιούν την MIMO τεχνολογία), και τέλος την παράμετρο Channel Quality Index (CQI) η οποία και υποδηλώνει την εκτίμηση της φορητής συσκευής

σχετικά με την ποιότητα του καναλιού μετάδοσης στο δέκτη κατά την διάρκεια της downlink μετάδοσης πληροφορίας.

Αναφερόμενοι στο σχήμα 3.2 βλέπουμε ότι οι δύο παράμετροι PMI, RI εισέρχονται στην μονάδα Link Adaptation ως δεδομένα εισόδου (συντελεστές βάρους - weighting coefficients) για την περαιτέρω εκτίμηση και απόδοση συγκεκριμένου μεγέθους MAC transport block. Αντιθέτως η παράμετρος CQI εισέρχεται στην μονάδα Channel Prediction όπου δηλώνεται μία τιμή εκτίμησης της ποιότητας του καναλιού από την φορητή συσκευή UE κατά την μετάδοση του Scheduled Block (SB) στο downlink. Οι διαφορετικές τιμές που αντιστοιχούν στην ποιότητα καναλιού είναι προκαθορισμένες από τα πρότυπα της 3GPP και περιορίζονται σε 16 διαφορετικές τιμές. Η μέτρηση εκτελείται από την φορητή συσκευή UE στα 16 Cell Reference Signals στο downlink του Scheduled Block του OFDM πλαισίου χρόνου – συχνότητας, τα οποία και παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3 Τα Downlink Reference Signals (RS) στο OFDM πλαίσιο χρόνου – συχνότητας.

Αυτό που πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο είναι ότι οι μετρήσεις τις οποίες εκτελεί η φορητή συσκευή UE στα 16 συγκεκριμένα downlink cell reference signals καθώς και η αντιστοίχιση της ποιότητας καναλιού σε 16 διαφορετικές τιμές CQI δεν προκαθορίζεται σαφώς στις προδιαγραφές της 3GPP αλλά το αφήνει ανοιχτό και ελεύθερο προς υλοποίηση στον εκάστοτε κατασκευαστή φορητών συσκευών UE καθώς και στους vendors (Ericsson, NOKIA, Huawei κλπ). Αυτό ισχύει διότι η φορητή συσκευή, κατά την αντιστοίχιση, λαμβάνει υπόψιν όχι μόνο την ποιότητα του καναλιού αλλά και τις δυνατότητες (hardware & software) της μονάδος του δέκτη της [1, 2].

Η αντιστοίχιση όμως των 16 διαφορετικών τιμών CQI της ποιότητας καναλιού σε παραμέτρους οι οποίες αφορούν την επιλογή της μονάδος Link Adaptation είναι σαφώς προσδιορισμένη από τις προδιαγραφές της 3GPP, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4. Οι παράμετροι αντιστοίχισης της εκάστοτε τιμής του CQI σε παραμέτρους λειτουργίας της μονάδος Link Adaptation είναι επί της ουσίας τρεις. Η πρώτη ονομάζεται Διαμόρφωση (Modulation) και προσδιορίζει την δυναμική προσαρμογή της ποιότητας του καναλιού σε διαφορετική διαμόρφωση πληροφορίας (dynamic channel quality adaptation modulation scheme) μεταξύ τριών επιλογών, QPSK, 16QAM, 64QAM. Η κάθε μία εξ αυτών έχει διαφορετική απόδοση κάτω από διαφορετικό SINR, επομένως η δυναμική προσαρμογή τους βελτιστοποιεί ταυτόχρονα την μέγιστη ρυθμαπόδοση καναλιού (Channel Throughput) με το ελάχιστο BER. Η δεύτερη παράμετρος ονομάζεται Code Rate και προσδιορίζει το πηλίκο μεταξύ του μήκους του πακέτου δεδομένων χρήστη προς το συνολικό μήκος πακέτου δεδομένων χρήστη + δεδομένων κώδικα προστασίας σφαλμάτων (Packet bit / (packet bit + redundancy)). Στο σχήμα 3.4 το πηλίκο πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό 1024 ( $2^{10} \sim 1000 = 10^3$ ) για καλλίτερη παρουσίαση του πηλίκου χωρίς δεκαδικά. Δηλαδή εάν έχω ένα MAC πακέτο με μέγεθος 96 bits σε χρονικό διάστημα ενός subframe 1 ms ή ρυθμό αντιστοίχως 96 kbps και έχει αναφερθεί από την φορητή συσκευή πηλίκο 78 (δηλαδή  $78 / 1024 = 0,076171875$ ), τότε το μήκος του πακέτου ύστερα από την προστασία με κώδικα εύρεσης σφαλμάτων CRC και διόρθωσης σφαλμάτων Turbo θα είναι  $96 / 0,076171875 = 1260,3 \text{ bits} / 1 \text{ ms} = 1260300 \text{ bits/s}$ . Η Τρίτη παράμετρος ονομάζεται Efficiency και προσδιορίζει τον αριθμό των bits ανά σύμβολο (effective number of bits per symbol).

CQI Index	Modulation	Code rate x 1024	Efficiency
0	Out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Σχήμα 3.4 Αντιστοίχιση 16 τιμών CQI σε παράμετρους του Link Adaptation.

Το ερώτημα που αναμένει απάντηση είναι το ακόλουθο: Πως εκτιμά η φορητή συσκευή UE, από την μέτρηση του  $SINR_{RS}$  στο downlink, το CQI; Η απάντηση είναι απλή. Από την μετρούμενη Power Spectral Density (PSD) του downlink καναλιού (η οποία ορίζεται ως το πηλίκο της μετρούμενης ισχύος των bits ενός PRB στο downlink προς το bandwidth των 180 KHz του Physical Radio Block PRB,  $PSD = P_{PRB} / BW_{PRB}$ ) η συσκευή υπολογίζει το  $SINR_{RS}$  βάσει του ακόλουθου τύπου:

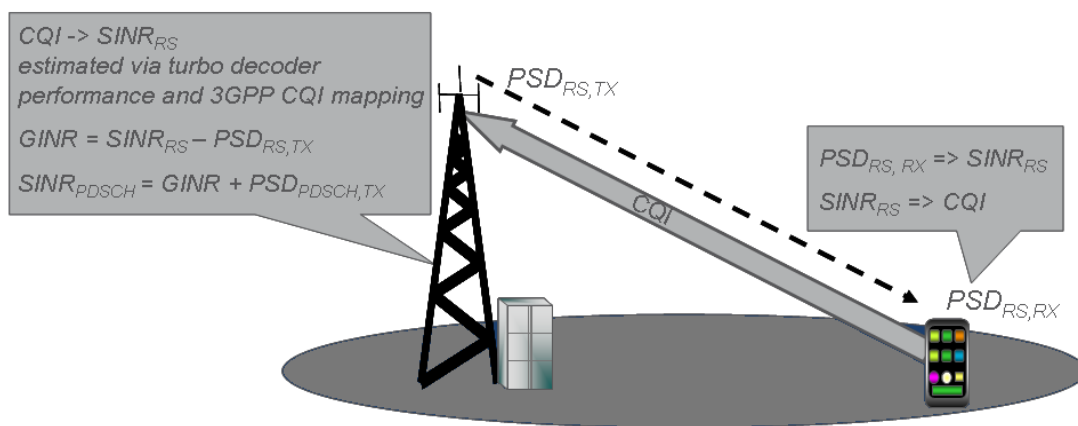
$$SINR_{RS} = \text{εξ ορισμού} = S_{RS} / (\text{Interference} + \text{Noise}) = GINR \times PSD \rightarrow$$

$$SINR_{RS} = [Gain_{CHANNEL} / (\text{Interference} + \text{Noise})] \times [P_{PRB} / BW] \rightarrow$$

$$SINR_{RS} = [Gain_{CHANNEL} / BW] \times [P_{PRB} / (\text{Interference} + \text{Noise})] \rightarrow$$

$$SINR_{RS} = \frac{\left( \frac{G_{channel}}{180KHz} \right) \cdot P_{PRB}}{I + N} = \frac{S_{RS}}{I + N} \quad (3.1)$$

όπου η ποσότητα  $\left( \frac{G_{channel}}{180KHz} \right) \cdot P_{PRB}$  είναι απλώς ένας υπολογισμός της ισχύος λήψης ενός PRB στο downlink,  $P_{PRB}$ , σταθμισμένος με τον συντελεστή βάρους  $\left( \frac{G_{channel}}{180KHz} \right)$ , ο οποίος και αντιπροσωπεύει την μεταβαλλόμενη λόγω fading απολαβή ( $G_{channel}$ ) του καναλιού ανά μονάδα συχνότητας στο φάσμα των 180 KHz. Το GINR ορίζεται ως το πηλίκο του gain του καναλιού (υπολογισμένο σε σχέση με μία τιμή αναφοράς) προς την παρεμβολή και τον θόρυβο. Εν συνεχεία η φορητή συσκευή υπολογίζει το CQI βάσει UE vendor specific software, που σημαίνει ότι διαφορετικές συσκευές θα έχουν διαφορετική εκτίμηση ποιότητας καναλιού!!!!, και εν συνεχεία αποστέλλει το CQI μέσω του Channel Feedback Report (CFR). Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.5



Σχήμα 3.5 Διαδικασία εκτίμησης CQI και  $SINR_{PDSCH}$  στο downlink.

Από το CQI report επομένως η μονάδα Link Adaptation του σταθμού βάσης eNodeB προσδιορίζει το SINR των downlink cell reference signals ( $SINR_{RS}$ ) και από αυτό εκτιμά/προσδιορίζει το GINR από την σχέση:

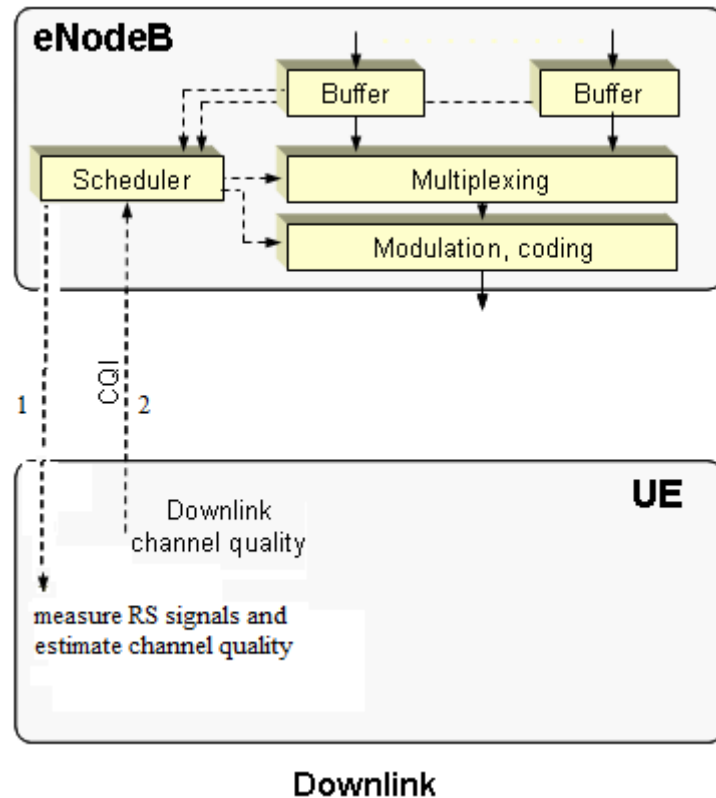
$$GINR = SINR_{RS} - PSD_{RS,TX} \quad (3.2)$$

Όπου το  $PSD_{RS,TX}$  το γνωρίζει από τον πομπό που έστειλε την πληροφορία στο downlink. Τέλος το SINR του downlink καναλιού PDSCH ( $SINR_{PDSCH}$ ) στο φάσμα των 180 KHz υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο, κατ' αναλογία με τον τύπο (3.1):

$$SINR_{PDSCH} = GINR + PSD_{PDSCH,TX} \quad (3.3)$$

Η υπολογιζόμενη τιμή του  $SINR_{PDSCH}$  θα προωθηθεί εν συνεχεία στην μονάδα Link Adaptation του MAC Scheduler ώστε να αντιστοιχηθεί στο Modulation & Coding Scheme (MCS) του επόμενου downlink scheduled block (SB), συνυπολογίζοντας επίσης και την σύσταση της φορητής συσκευής από το CQI to MCS translation από τον πίνακα του σχήματος 3.4. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6.





Σχήμα 3.6 Διαδικασία απόφασης του TFS στον Scheduler για το επόμενο downlink frame.

Η επιλογή του MCS, channel rank / spatial multiplexing και μέγεθος του MAC πακέτου (Transport Block Size, TBS) από την μονάδα Link Adaptation θα υλοποιηθεί στον MAC scheduler για το επόμενο downlink Scheduled Block (SB). Επομένως το επόμενο PDSCH κανάλι θα φέρει στα δεδομένα του την διαμόρφωση και κωδικοποίηση MCS με αντίστοιχο δυνατό συνδυασμό MIMO, δηλαδή τα δεδομένα θα δομηθούν με ένα αντίστοιχο TFS (Transport Format Selection). Για να μπορεί η φορητή συσκευή UE στο downlink να γνωρίζει πώς να «διαβάσει» (η απόδοση θα ήταν σωστότερη ως αποκωδικοποιήσει) τα δεδομένα στο κανάλι PDSCH που θα λάβει θα πρέπει να γνωρίζει αυτό που ονομάσαμε προηγουμένως TFS. Η αποστολή του γίνεται με το επόμενο subframe μαζί με το PDSCH κανάλι, και ενσωματώνεται στην πληροφορία του downlink καναλιού PDCCH όπως παρουσιάσαμε στο σχήμα 3.2. Η αποστολή του επιλεγθέντος MCS μέσω του downlink καναλιού PDCCH ακολουθεί συγκεκριμένο τρόπο αναπαράστασης κατά τα πρότυπα της 3GPP (TS 36.213). Στο κανάλι PDCCH αποστέλλεται η παράμετρος MCS index, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.7

MCS Index	Modulation Order	TBS Index
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	2	reserved
30	4	
31	6	

*Σχήμα 3.7 Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PDSCH subframe.*

Η παράμετρος MCS index αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό modulation order (αριθμό bits per modulation index, όπου 2 σημαίνει QPSK, 4 σημαίνει 16QAM και 6 σημαίνει 64QAM) και ένα μοναδικό Transport Block Size (TBS) index το οποίο αντιστοιχεί σε έναν μοναδικό συνδυασμό από coding rate και αριθμό από scheduled Physical Resource Blocks (SB). Επομένως δεδομένου του αριθμού των schedule blocks (SB)  $N_{PRB}$  που αποφασίζει να δώσει ο MAC scheduler σε έναν downlink χρήστη στο επόμενο subframe (κάτι το οποίο εξαρτάται σαφώς από το  $SINR_{PDSCH}$  που δίδει η μονάδα Channel Prediction στην μονάδα Link Adaptation και το uplink Buffer status report στο κανάλι PUCCH) και του Transport Block Size index ( $I_{TBS}$ ) που αντιστοιχείται από το MSC index του σχήματος 3.7, αντιστοιχείται και ένα μέγεθος MAC πακέτου σε bits/ms όπως παρουσιάζεται από τα πρότυπα της 3GPP TS 36.213 στο σχήμα 3.8.

$I_{TBS}$	$N_{PRB}$									
	1	2	3	4	96	97	98	99	100	
0	16	32	56	88	2664	2728	2728	2728	2792	
1	24	56	88	144	3496	3496	3624	3624	3624	
2	32	72	144	176	4264	4392	4392	4392	4584	
3	40	104	176	208	5544	5736	5736	5736	5736	
4	56	120	208	256	6968	6968	6968	6968	7224	
5	72	144	224	328	8504	8504	8760	8760	8760	
6	328	176	256	392	9912	10296	10296	10296	10296	
7	104	224	328	472	11832	11832	11832	12216	12216	
8	120	256	392	536	13536	13536	13536	14112	14112	
9	136	296	456	616	15264	15264	15264	15840	15840	
10	144	328	504	680	16992	16992	16992	17568	17568	
11	176	376	584	776	19080	19848	19848	19848	19848	
12	208	440	680	904	22152	22152	22152	22920	22920	
13	224	488	744	1000	24496	25456	25456	25456	25456	
14	256	552	840	1128	27376	28336	28336	28336	28336	
15	280	600	904	1224	29296	29296	30576	30576	30576	
16	328	632	968	1288	31704	31704	31704	31704	32856	
17	336	696	1064	1416	35160	35160	35160	35160	36696	
18	376	776	1160	1544	37888	37888	39232	39232	39232	
19	408	840	1288	1736	40576	42368	42368	42368	43816	
20	440	904	1384	1864	45352	45352	45352	46888	46888	
21	488	1000	1480	1992	48936	48936	48936	48936	51024	
22	520	1064	1608	2152	51024	52752	52752	52752	55056	
23	552	1128	1736	2280	55056	55056	57336	57336	57336	
24	584	1192	1800	2408	59256	59256	59256	61664	61664	
25	616	1256	1864	2536	61664	61664	61664	63776	63776	
26	712	1480	2216	2984	71112	71112	73712	73712	75376	

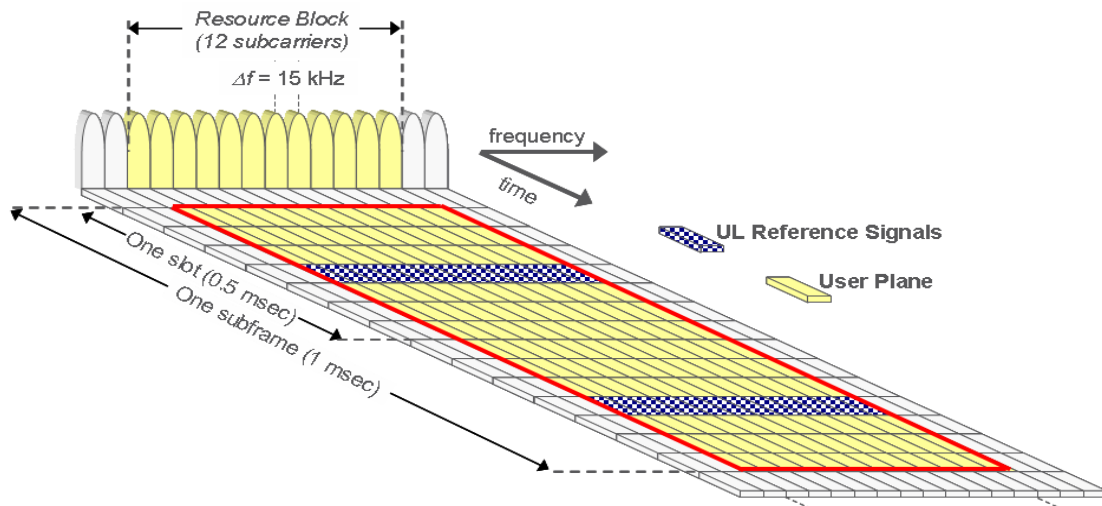
Σχήμα 3.8 Αντιστοίχιση MAC packet size από TBS index και PRB scheduler selection.

Θα ήταν παιδαγωγικό εάν δίναμε ένα παράδειγμα:

Έστω ένας χρήστης λοιπόν ο οποίος βρίσκεται σε κάποια απόσταση από τον σταθμό βάσης και στέλνει ένα CQI report στο uplink με index CQI = 8. Βάσει σχήματος 3.4 αυτό αντιστοιχεί σε Modulation scheme 16QAM και coding rate 0,49. Θα εκτελεστεί από την μονάδα Channel Prediction, σχήμα 3.2, ένας υπολογισμός του  $SINR_{PDSCH}$  ο οποίος και θα αποσταλεί εν τέλει στην μονάδα Link Adaptation. Εκεί θα αντιστοιχηθεί σε ένα modulation index το οποίο θα βρίσκεται στο εύρος τιμών Modulation index  $\in [10, 16]$  βάσει σχήματος 3.7 για 16QAM modulation scheme. Αυτό σημαίνει ότι το αντίστοιχο TBS index θα βρίσκεται στο εύρος τιμών  $I_{TBS} \in [9, 15]$ . Τέλος από το σχήμα 3.8 και θεωρώντας επιλογή του MAC Scheduler, για την αντίστοιχη τιμή του  $SINR_{PDSCH}$ , τέσσερα Physical Resource Blocks θα έχουμε την επιλογή του MAC πακέτου μαζί με την κωδικοποίηση να ανήκει στο εύρος τιμών TBS  $\in [616, 1224]$  bits/ms, όπου αν αναλογιστούμε τον coding rate 0,49 θα έχουμε ουσιαστικό μέγεθος πραγματικών δεδομένων  $[301.84, \dots, 599.76]$  bits/ms.

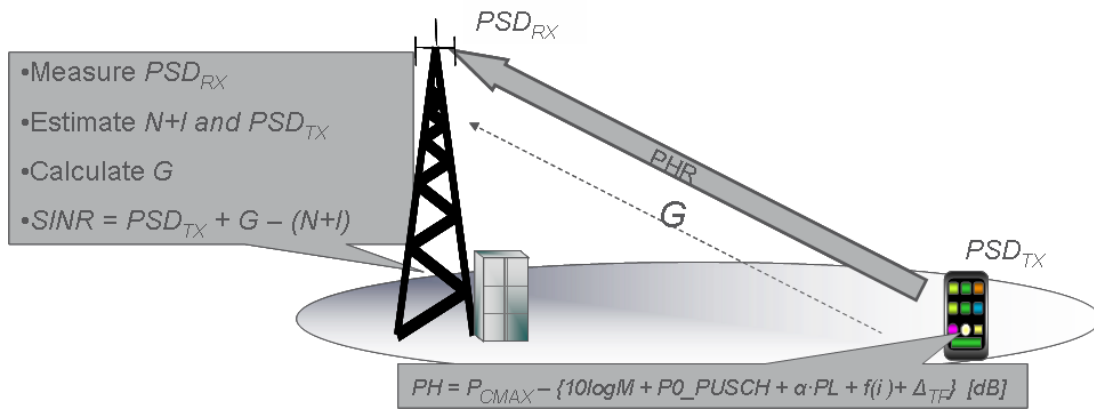
## B. Uplink

Στο Uplink η φορητή συσκευή UE αποστέλλει τα δεδομένα του χρήστη στο κανάλι PUSCH και χρησιμοποιεί το κανάλι PUCCH για να αποστείλει όπως είδαμε τις δύο σημαντικές πληροφορίες CFR report και Buffer status report, σχήμα 3.2. Η ανάλυση αυτών των δύο reports αφορά την επιλογή του TFS για το επόμενο downlink subframe και του αριθμού  $N_{PRB}$  από τον MAC Scheduler. Μαζί με τα δεδομένα που αποστέλλονται στο κανάλι PUSCH, αποστέλλονται επίσης και κάποια σήματα του φυσικού επιπέδου, τα λεγόμενα Reference Signals (RS) και Sounding Reference Signals (SRS). Στο σχήμα 3.9 φαίνονται τα uplink reference signals.



Σχήμα 3.9 Τα uplink Reference Signals (RS) στο OFDM πλαίσιο χρόνου – συχνότητας.

Επιπλέον η φορητή μονάδα στο uplink, σχήμα 3.2, θα αποστείλει και μία άλλη αναφορά η οποία ονομάζεται Power Headroom Report (PHR). Η αναφορά αυτή αντιπροσωπεύει στην ουσία την διαφορά μεταξύ της μέγιστης δυνατής ισχύος εκπομπής της συσκευής  $P_{UEmax}$  (η οποία χαρακτηρίζει το hardware και software της φορητής συσκευής) και της ισχύος εκπομπής του Scheduled Block (SB) στο uplink στο κανάλι PUSCH,  $P_{PUSCH}$ , δηλαδή  $PHR = P_{UEmax} - P_{PUSCH}$ . Από αυτήν την παράμετρο επομένως ο uplink MAC Scheduler υπολογίζει την ισχύ εκπομπής ως  $P_{PUSCH} = PHR - P_{UEmax}$  εφόσον ξέρει βέβαια την  $P_{UEmax}$  η οποία έχει αποσταλεί στο eNodeB κατά τη διαδικασία σηματοδότησης αιτήματος διασύνδεσης “RRC Connection Request”. Επομένως γνωρίζοντας και το αντίστοιχο Scheduled Bandwidth ( $n \times 180$  KHz) ο uplink MAC Scheduler στον σταθμό βάσης eNodeB θα αποφανθεί και θα εκτιμήσει την εκπεμπόμενη Power Spectral Density  $PSD_{TX}$  της φορητής μονάδος ως  $PSD_{TX} = P_{PUSCH} / BW$ . Εν συνεχεία ο uplink MAC Scheduler στον σταθμό βάσης eNodeB θα μετρήσει και την  $PSD_{RX}$  και επομένως μπορεί να υπολογίσει το Gain του καναλιού  $G = PSD_{RX} - PSD_{TX}$ . Έχοντας πλέον την συμπεριφορά του καναλιού μπορεί ο eNodeB Scheduler να εκτιμήσει το  $SINR_{PUSCH} [dB] = PSD_{RX} - (N+I)$ . Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3.10. Τέλος το  $G$  θα σταλεί στην μονάδα Power Control και θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της επόμενης εντολής ισχύος (Power Control Command) στο uplink (σχήμα 3.2).



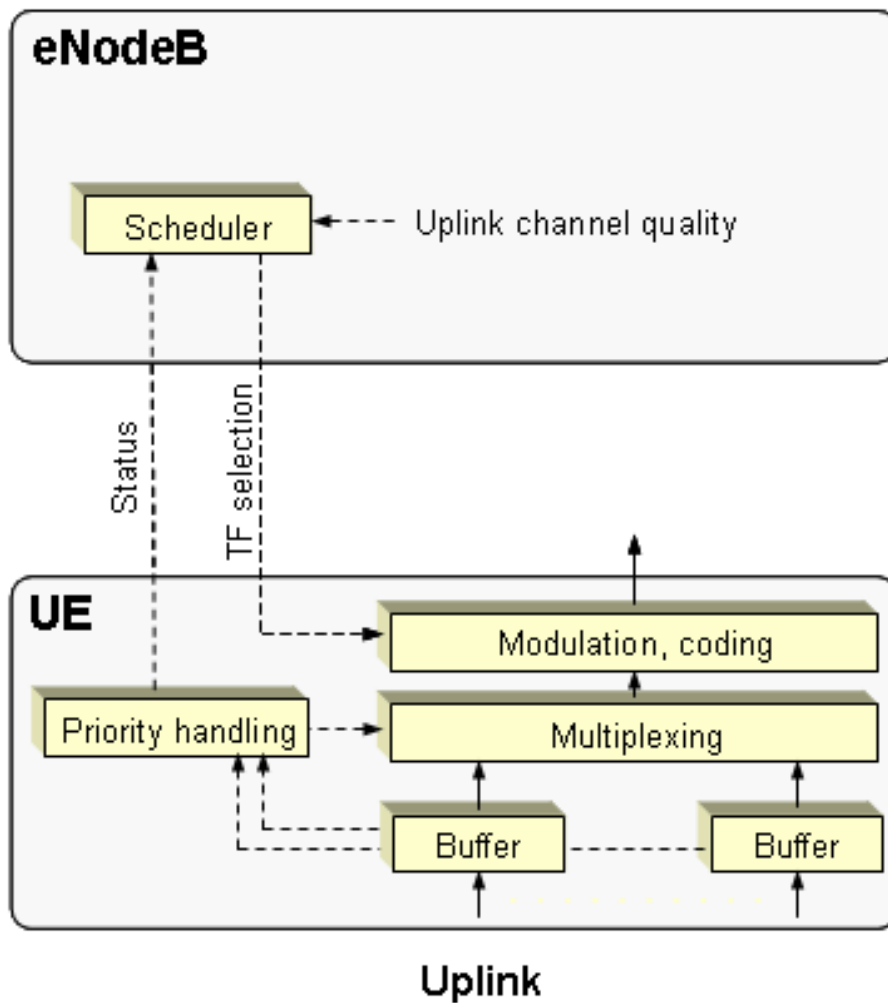
Σχήμα 3.10 Διαδικασία εκτίμησης CQI και  $SINR_{PDSCH}$  στο uplink.

Η αναφορά του Power Headroom report (PHR) αντιστοιχεί σε πρότυπη αναπαράσταση κατά 3GPP, σχήμα 3.11

Reported value	Measured quantity value (dB)
POWER_HEADROOM_0	$-23 \leq PH < -22$
POWER_HEADROOM_1	$-22 \leq PH < -21$
POWER_HEADROOM_2	$-21 \leq PH < -20$
POWER_HEADROOM_3	$-20 \leq PH < -19$
POWER_HEADROOM_4	$-19 \leq PH < -18$
POWER_HEADROOM_5	$-18 \leq PH < -17$
...	...
POWER_HEADROOM_57	$34 \leq PH < 35$
POWER_HEADROOM_58	$35 \leq PH < 36$
POWER_HEADROOM_59	$36 \leq PH < 37$
POWER_HEADROOM_60	$37 \leq PH < 38$
POWER_HEADROOM_61	$38 \leq PH < 39$
POWER_HEADROOM_62	$39 \leq PH < 40$
POWER_HEADROOM_63	$PH \geq 40$

Σχήμα 3.11 Αναφορά PHR στο uplink.

Αυτή η εκτιμώμενη τιμή του SINR θα σταλεί στην μονάδα Link Adaptation (σχήμα 3.2) η οποία και θα εκτιμήσει αντιστοίχως τον συνδυασμό Modulation & Coding Scheme MCS για το επόμενο uplink scheduled subframe, σχήμα 3.12. Εκεί θα αποφασιστεί το Transport Frame Selection index για το επόμενο scheduled subframe στο uplink.

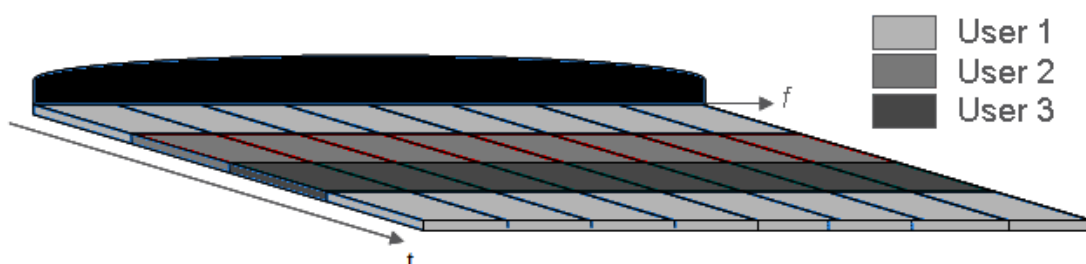


Σχήμα 3.12 Διαδικασία απόφασης του TFS στον Scheduler για το επόμενο uplink frame.

Παρατηρώντας το σχήμα 3.12 βλέπουμε ότι η διαδικασία του TFS γίνεται στο eNodeB MAC Scheduler αλλά επί της ουσίας υλοποιείται εν τέλει στην φορητή συσκευή. Δηλαδή ο MAC scheduler στο eNodeB αποφαινεται για τον συνδυασμό του TFS καθώς και τον αριθμό των Scheduled Physical Radio Blocks (PRB)  $N_{PRB}$  και τα αποστέλλει στο downlink στην φορητή συσκευή χρησιμοποιώντας το downlink κανάλι PDCCH. Η αποστολή γίνεται και πάλι με μία απεικόνιση σύμφωνη προς τα πρότυπα της 3GPP, TS 36.213, όπου αποστέλλει μία τιμή MCS index. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί και πάλι σε ένα Modulation Order (QPSK, 16QAM, 64QAM) και ένα Transport Block Size Index ( $I_{TBS}$ ) κατά την ίδια διαδικασία με το Link Adaptation του PDSCH στο downlink (σχήμα 3.8). Η τιμές και οι αντιστοιχίες του MCS index παρουσιάζονται στο σχήμα 3.13.

MCS Index $I_{MCS}$	Modulation Order $Q_m$	TBS Index $I_{TBS}$	Redundancy Version $rV_{MCS}$
0	2	0	0
1	2	1	0
2	2	2	0
3	2	3	0
4	2	4	0
5	2	5	0
6	2	6	0
7	2	7	0
8	2	8	0
9	2	9	0
10	2	10	0
11	4	10	0
12	4	11	0
13	4	12	0
14	4	13	0
15	4	14	0
16	4	15	0
17	4	16	0
18	4	17	0
19	4	18	0
20	4	19	0
21	6	19	0
22	6	20	0
23	6	21	0
24	6	22	0
25	6	23	0
26	6	24	0
27	6	25	0
28	6	26	0
29	reserved		1
30			2
31			3

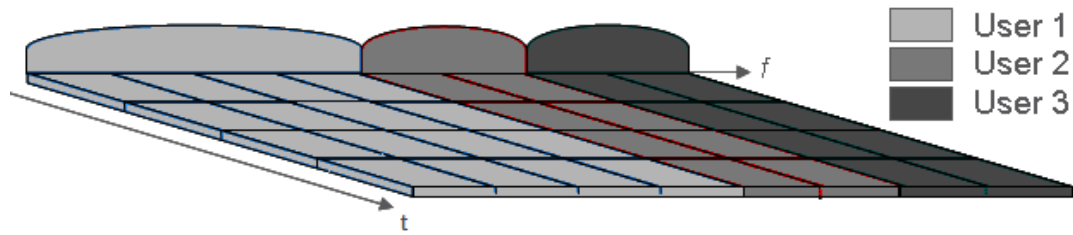
Σχήμα 3.13 Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PUSCH subframe στο uplink.



Σχήμα 3.14 Απόδοση short term scheduling ράδιο-πόρων. Band scheduling.

Τέλος ο uplink Scheduler μπορεί να δώσει ράδιο-πόρους (PRB) είτε με φασματική απόδοση Band Scheduling (short term scheduling, δηλαδή σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές θα αποδώσει μεγάλο εύρος φάσματος  $n \times 180$  KHz,  $n \gg 1$  σε έναν χρήστη, σχήμα 3.14) είτε με χρονική μακροπρόθεσμη απόδοση time spread scheduling (long term

scheduling, δηλαδή κάθε διαδοχικό subframe για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να αποδίδει ράδιο-πόρους σε στενό εύρος ζώνης  $n \times 180$  KHz,  $n > 1$  narrow band scheduling, σχήμα 3.15).

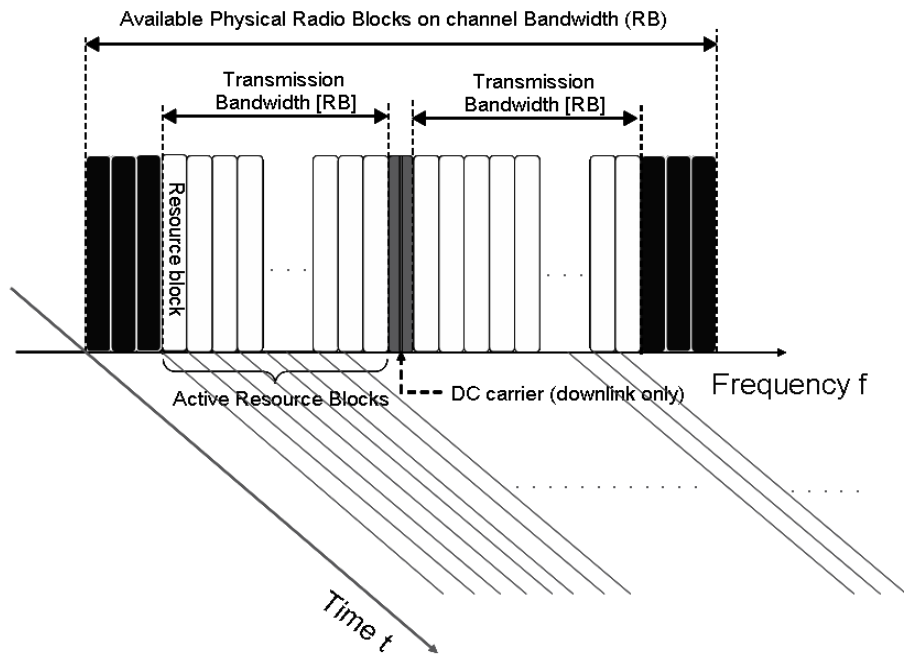


Σχήμα 3.15 Απόδοση long term scheduling ράδιο-πόρων. Time spread scheduling.

Η εκάστοτε επιλογή εξαρτάται εν γένει από την απόκριση του καναλιού σε διαφορετικά radio blocks, από την απόκριση του fading και από τον αλγόριθμο απόδοσης ράδιο-πόρων του MAC scheduler που υλοποιεί ο εκάστοτε vendor στον eNodeB.

### 3.3 Πρακτική Εκτίμηση Ρυθμαπόδοσης δικτύου LTE – Μία προσεγγιστική αντιμετώπιση βασισμένη στο OFDM grid.

Σε αυτό το στάδιο θα δώσουμε μία πρακτική και γρήγορη προσέγγιση, όχι κατ' ανάγκη λεπτομερή, για την εκτίμηση της αναμενόμενης μέγιστης ρυθμαπόδοσης στο κύτταρο.



Channel B andwidth $BW_{\text{Channel}}$ [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks ( $n_{\text{RB}}$ )	6	15	25	50	75	100

Σχήμα 3.16 Διαθέσιμοι ράδιο-πόροι (RB) για διαφορετικό cell channel bandwidth.



Στο σχήμα 3.16 βλέπουμε τον διαφορετικό αριθμό διαθέσιμων ράδιο-πόρων σε ένα κύτταρο συναρτήσει του διαφορετικού κυτταρικού εύρους φάσματος (cell channel bandwidth). Ο υπολογισμός (για να μην έχει ο αναγνώστης καμία αμφιβολία σχετικά με την δυνατότητα υπολογισμού βάσει προδιαγραφών 3GPP και για να μην πιστεύουμε σε εξ' αποκαλύψεως αλήθειες) είναι απλός. **Διαιρούμε το φασματικό εύρος του καναλιού με το φασματικό εύρος της φασματικής μονάδας, η οποία στην παρούσα κατάσταση είναι το Radio Block ή Resource Block (RB), και αφαιρούμε περίπου το 10% για guard band (κεφάλαιο 2 όπου θέσαμε τις προδιαγραφές κατά 3GPP για το δίκτυο LTE).** Επομένως για φασματικό εύρος κυττάρου 10 MHz έχουμε  $(10000 \text{ KHz} / 180 \text{ KHz}) - 0,1 \times (10000 \text{ KHz} / 180 \text{ KHz}) = (10000 \text{ KHz} / 180 \text{ KHz}) \times 0,9 = 50 \text{ RB} !!!$  και για φασματικό εύρος κυττάρου 20 MHz έχουμε  $(20000 \text{ KHz} / 180 \text{ KHz}) \times 0,9 = 100 \text{ RB} !!!$

Στο σχήμα 2.6 του κεφαλαίου 2 είδαμε ότι έχουμε δομή 10 subframes στο πεδίο του χρόνου το οποίο ονομάσαμε Radio Frame 10 ms. Επομένως σε ένα τέτοιο Radio Frame των δέκα διαδοχικών subframes έχουμε τριών ειδών subframes:

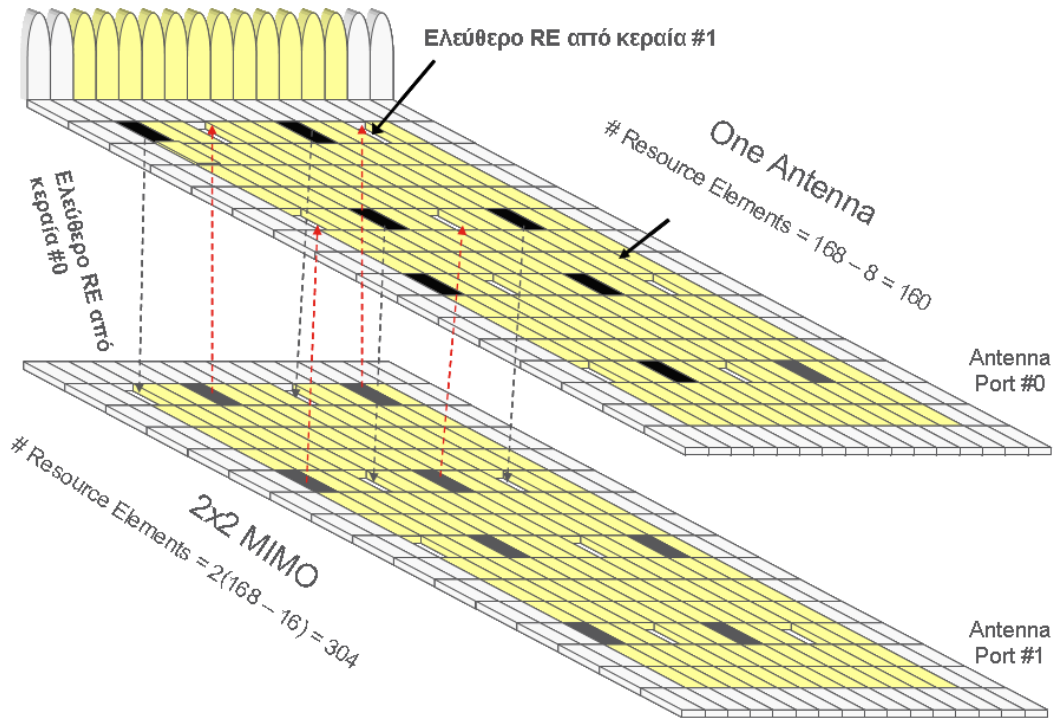
- το lowest data rate subframe #0 το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων χρήστη (κανάλι PDSCH), την μετάδοση της πληροφορίας του καναλιού BCCH και την μετάδοση των φυσικών σημάτων Primary Synchronization Signal (P-SS) και Secondary Synchronization Signal (S-SS).
- το medium data rate subframe #5 το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων χρήστη (PDSCH) και την επαναληπτική μετάδοση των φυσικών σημάτων Primary Synchronization Signal (P-SS) και Secondary Synchronization Signal (S-SS).
- Οκτώ τον αριθμό high data rate subframes (subframe #1-4 & #6-9) τα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την μετάδοση δεδομένων χρήστη (PDSCH).

Ακολουθεί ανάλυση ξεχωριστά για την κάθε μία εκ των τριών κατηγοριών.

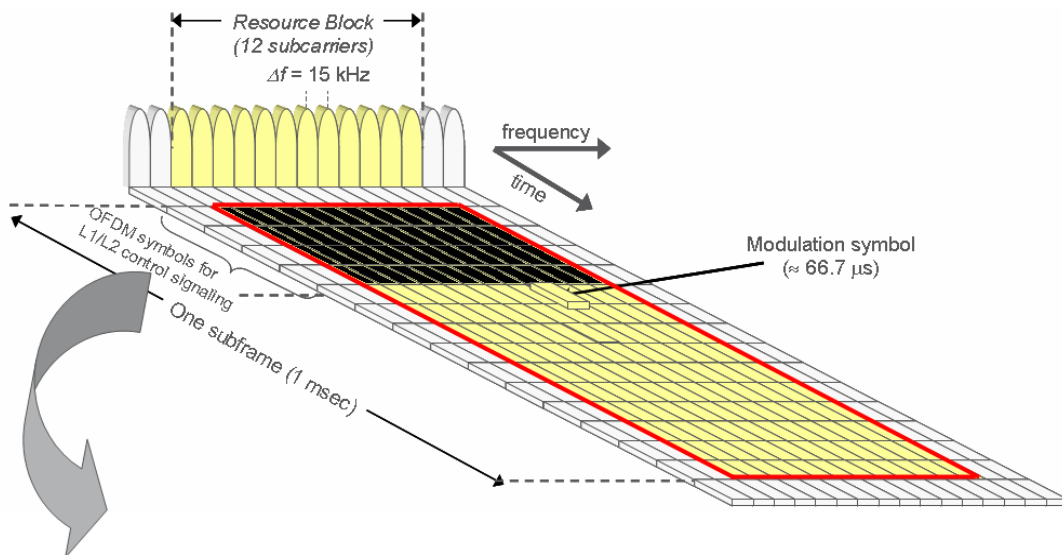
### **3.3.1 Αριθμός διαθέσιμων RE's για user data PDSCH channel στην κατηγορία των οκτώ high data rate subframes.**

Μελετώντας την δομή της διεπαφής αέρα στο κεφάλαιο 2 είδαμε ότι χρειάζεται να αποστέλουμε στο downlink τα λεγόμενα Reference Signals (RS) τα οποία, όπως είδαμε και στο παρόν κεφάλαιο, χρησιμοποιούνται από το δομικό μέρος Channel Prediction για την εκτίμηση του καναλιού και εν γένει του  $SINR_{PDSCH}$ . Επομένως σε οποιαδήποτε κατηγορία εκ των άνω τριών ειδών subframes θα υπάρχουν πάντα τα RS, τα οποία καταλαμβάνουν οκτώ διακριτά Resource Elements (RE) στο πλαίσιο χρόνου – συχνότητας στην περίπτωση όπου έχουμε μία κεραία στο κεραίο-σύστημα μετάδοσης downlink. Προφανώς στην περίπτωση που έχουμε δύο κεραίες θα έχουμε 16 διαφορετικά RE ανά κεραία, το σύνολο 32 RE ανά κεραιοσύστημα 2x2 MIMO. Αυτό διότι τα RE χρησιμοποιούνται επίσης και για τον προσδιορισμό της κεραίας εκπομπής ενός 2x2 MIMO κεραίο-συστήματος, επομένως τα RE's της μίας κεραίας αφήνουν κενά RE στην άλλη κεραία του κεραιο-συστήματος.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν έχουμε ότι για μία κεραία υπάρχουν διαθέσιμα  $12 \text{ subcarriers} \times 15 \text{ kHz} = 168 \text{ RE}$  και αφαιρώντας τα 8 RE των RS έχουμε διαθέσιμα εναπομείναντα  $168 \text{ RE} - 8 = 160 \text{ REs}$  για user data PDSCH. Για δύο κεραίες στο κεραιοσύστημα (2x2 MIMO) έχουμε 16 RE δεσμευμένα για τα RS και συνολικά διαθέσιμα  $2 \times (168 \text{ RE} - 16) = 304 \text{ REs}$ . Στο σχήμα 3.17 παρουσιάζονται τα Resource Elements (RE).



Σχήμα 3.17 Διαθέσιμα REs σε ένα κεραιοσύστημα.



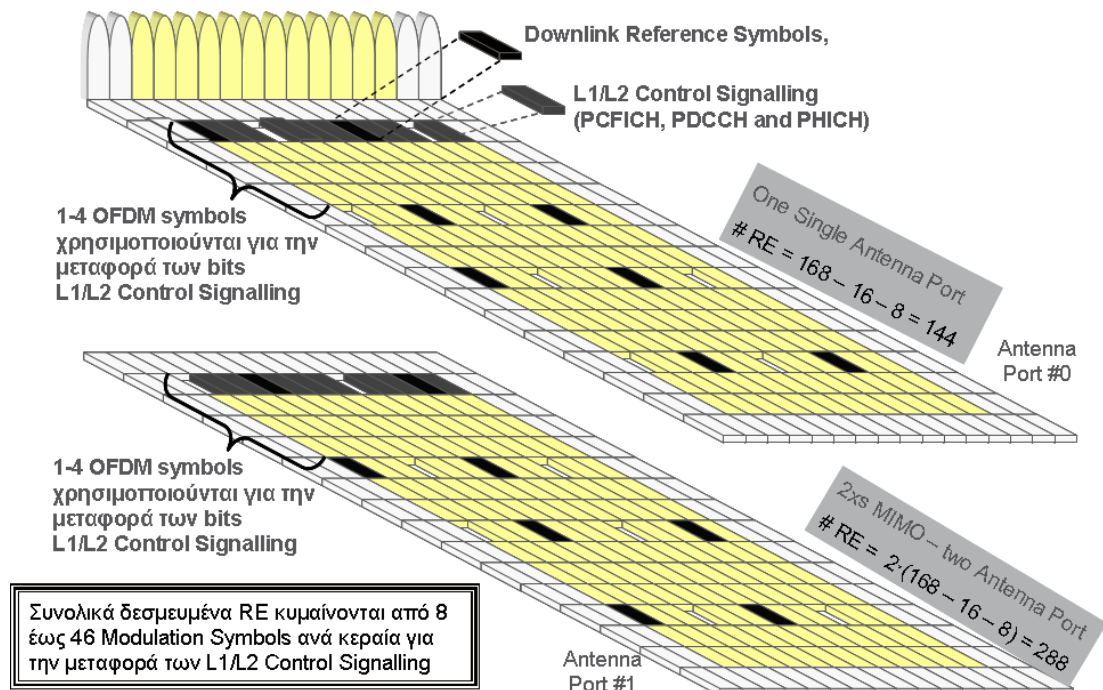
Channel B bandwidth $BW_{\text{Channel}}$ [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of OFDM symbols for L1/L2 control signaling	4	3	3	2	2	1

Σχήμα 3.18 Δεσμευμένα OFDM symbols για L1/L2 control signaling.

Επιπλέον σε οποιαδήποτε κατηγορία εκ των άνω τριών ειδών subframes θα υπάρχουν πάντα τα L1/L2 control signaling bits (τα οποία μεταφέρουν τα κανάλια PDCCH, PHICH, PCFICH) τα οποία μπορούν να καταλάβουν μέχρι και τα πρώτα τέσσερα OFDM symbols κάθε Scheduled Block (SB), το οποίο μεταφέρει στα υπόλοιπα διαθέσιμα RE's το κανάλι PDSCH των user data. Ο ακριβής αριθμός δεσμευμένων OFDM symbols εξαρτάται από το channel bandwidth, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.18. Επομένως σύμφωνα με το σχήμα 3.19 μπορούμε να πούμε ότι ο αριθμός των δεσμευμένων RE's για L1/L2 control signaling θα κυμαίνεται από:

- Single Antenna configuration → 10 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 20 MHz διότι έχουμε ένα OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 12 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας = 10 RE's
- 2x2 MIMO Antenna configuration → 8 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 20 MHz διότι έχουμε ένα OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 12 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας - τα δύο ελεύθερα (κενά) RE's για τα RS της δεύτερης κεραίας = 8 RE's
- Single Antenna configuration → 22 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 15 ή 10 MHz διότι έχουμε δύο OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 24 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας = 22 RE's
- 2x2 MIMO Antenna configuration → 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 15 ή 10 MHz διότι έχουμε δύο OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 24 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας - τα δύο ελεύθερα (κενά) RE's για τα RS της δεύτερης κεραίας = 20 RE's
- Single Antenna configuration → 34 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 3 ή 5 MHz διότι έχουμε τρία OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 36 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας = 34 RE's
- 2x2 MIMO Antenna configuration → 32 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 3 ή 5 MHz διότι έχουμε τρία OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 36 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας - τα δύο ελεύθερα (κενά) RE's για τα RS της δεύτερης κεραίας = 32 RE's
- Single Antenna configuration → 46 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 1,4 MHz διότι έχουμε τέσσερα OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 48 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας = 46 RE's

- 2x2 MIMO Antenna configuration → 44 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling για channel bandwidth 1,4 MHz διότι έχουμε τέσσερα OFDM symbol δεσμευμένο → άρα 48 RE's – τα δύο δεσμευμένα RE's για τα RS της μίας κεραίας - τα δύο ελεύθερα (κενά) RE's για τα RS της δεύτερης κεραίας = 44 RE's



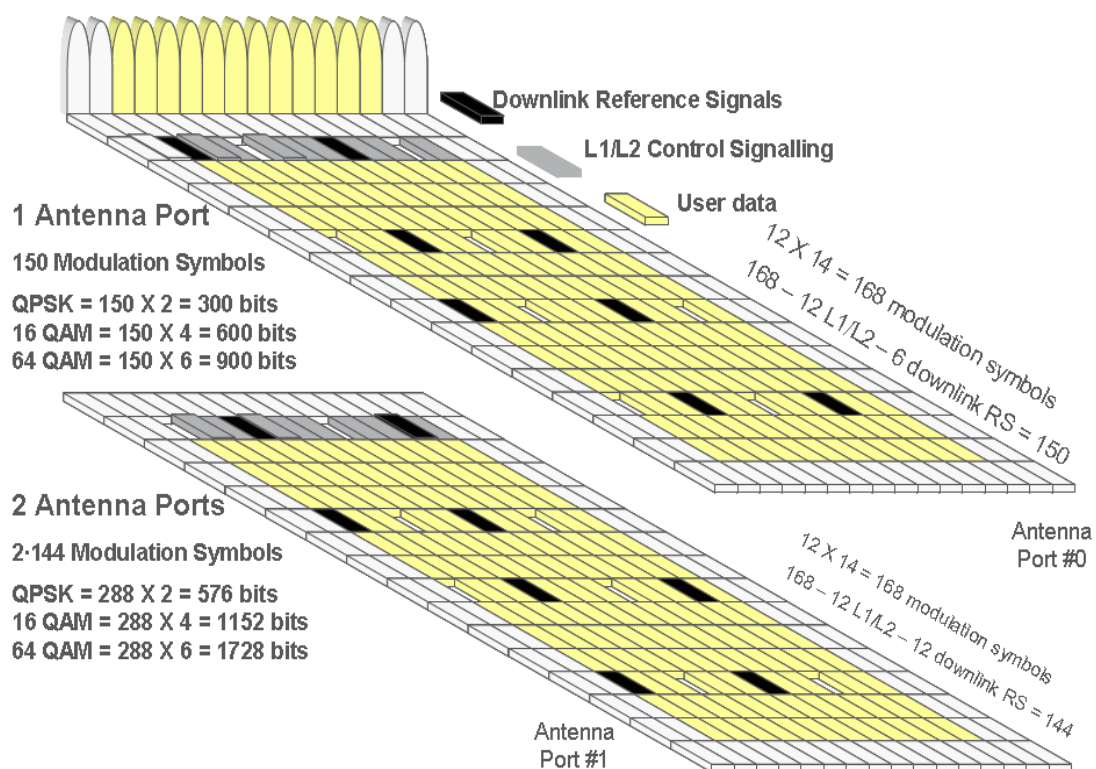
Σχήμα 3.19 Διαθέσιμα REs κεραιοσύστηματος λόγω δέσμευσης L1/L2 control signaling.

Συνοψίζοντας λοιπόν, για την κατηγορία high data rate subframes (οκτώ τον αριθμό από τα δέκα του radio frame 10ms) θα έχουμε αναμενόμενο αριθμό διαθέσιμων RE's για user data rate PDSCH ίσο με:

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS – 6 υπολοιπόμενα RS = 150 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 2 x (168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS – 12 υπολοιπόμενα RS) = 288 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS – 6 υπολοιπόμενα RS = 138 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 2 x (168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS – 12 υπολοιπόμενα RS) = 264 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS – 6 υπολοιπόμενα RS = 126 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 2 x (168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS – 12 υπολοιπόμενα RS) = 240 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS – 6 υπολοιπόμενα RS = 114 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 2 x (168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS – 12 υπολοιπόμενα RS) = 216 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

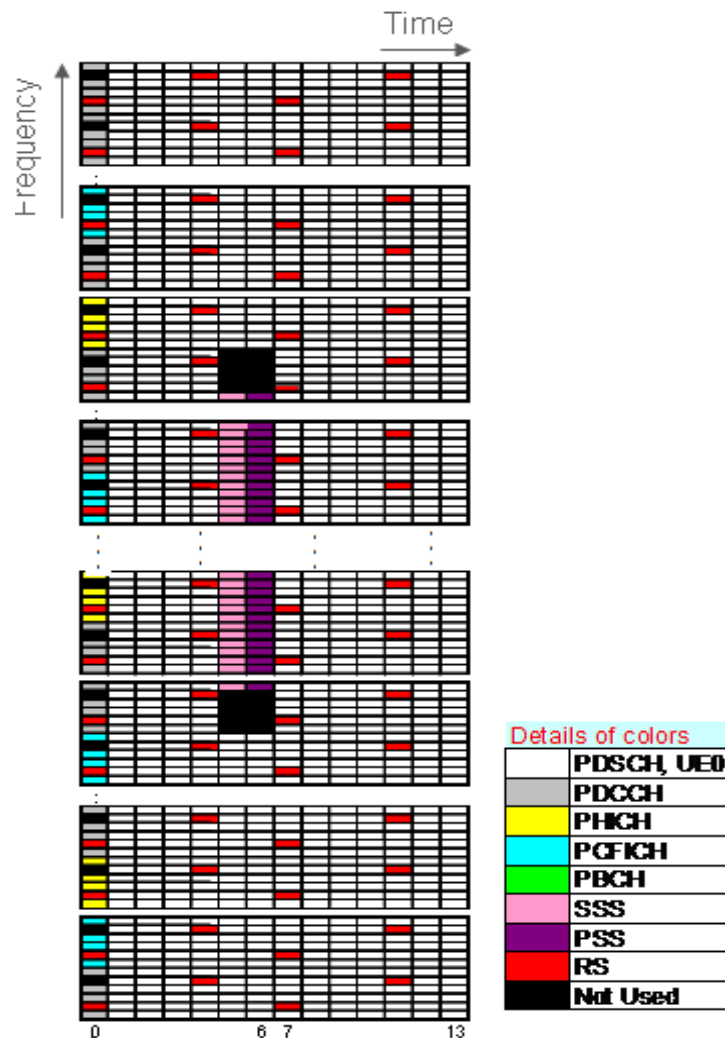
Τέλος αν θέλουμε επίσης να δούμε και τον αριθμό των bits που αποστέλλονται στα διαθέσιμα PDSCH RE's σε κάθε μία εκ των προηγούμενων περιπτώσεων θα πρέπει να θυμηθούμε ότι έχουμε 2 bits/RE QPSK, 4 bits/RE 16QAM και 6 bits/RE 64QAM. Το σχήμα 3.20 παρουσιάζει την περίπτωση των high data rate subframes για bandwidth 20 MHz.



Σχήμα 3.20 Αριθμός bits / 1 ms για high data rate subframe στα 20 MHz φάσμα.

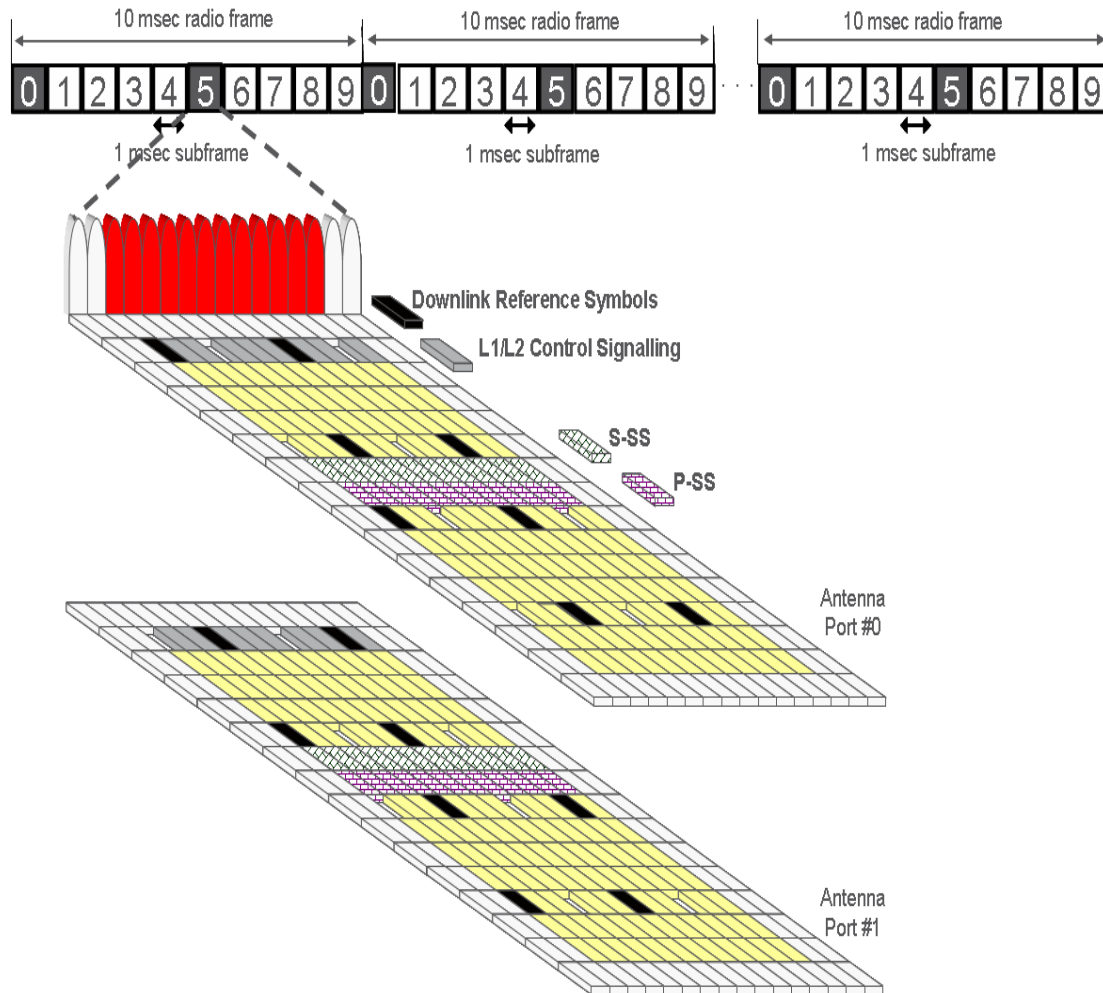
### 3.3.2 Αριθμός διαθέσιμων RE's για user data PDSCH channel στην ειδική κατηγορία του subframe #5.

Σε αυτήν την περίπτωση ισχύουν ακριβώς ό,τι ξέρουμε από την παράγραφο 3.3.1. με μία επιπλέον διαφορά. Δεσμεύουμε κάποια RE's για την αποστολή των ειδικών σημάτων του φυσικού επιπέδου Primary Synchronization Signal (P-SS) και Secondary Synchronization Signal (S-SS), τα οποία χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό των idle φορητών συσκευών UE οι οποίες επιλέγουν το παρόν κύτταρο μετά από διαδικασία cell selection ή cell reselection ή handover. Το πρόβλημα είναι ότι κάθε νέα φορητή συσκευή η οποία εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης ενός κυττάρου δεν ξέρει εκ των προτέρων το φάσμα του κυττάρου. Επομένως θα πρέπει να αποτυπώσουμε τα P/S-SS σήματα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χρειάζεται η φορητή συσκευή να ξέρει εκ των προτέρων το φάσμα και να μπορεί να τα εντοπίζει εύκολα. Έχουν λοιπόν την ιδιαιτερότητα να απλώνονται στο φάσμα για 62 subcarriers εκατέρωθεν του κεντρικού φέροντος (central carrier), δηλαδή 31 subcarriers δεξιά και 31 subcarriers αριστερά του κεντρικού φέροντος. Στο σχήμα 3.21 παρουσιάζεται η ιδέα της φασματικής αποτύπωσης τους.



Σχήμα 3.21 Φασματική αναπαράσταση των 62 subcarriers για τα P/S-SS signals

Όσο αναφορά την χρονική τους αποτύπωση στο πλαίσιο φάσμα – χρόνου, καταλαμβάνουν από το πρώτο slot των 0,5 ms τα δύο τελευταία OFDM symbols. Αυτή η χρονική αποτύπωση παρουσιάζεται στο σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.22 Χρονική αναπαράσταση των 62 RB's για τα P/S-SS signals

Επομένως σύμφωνα με το σχήμα 3.21 μπορούμε να πούμε ότι ο αριθμός των δεσμευμένων RE's για P/S-SS είναι:

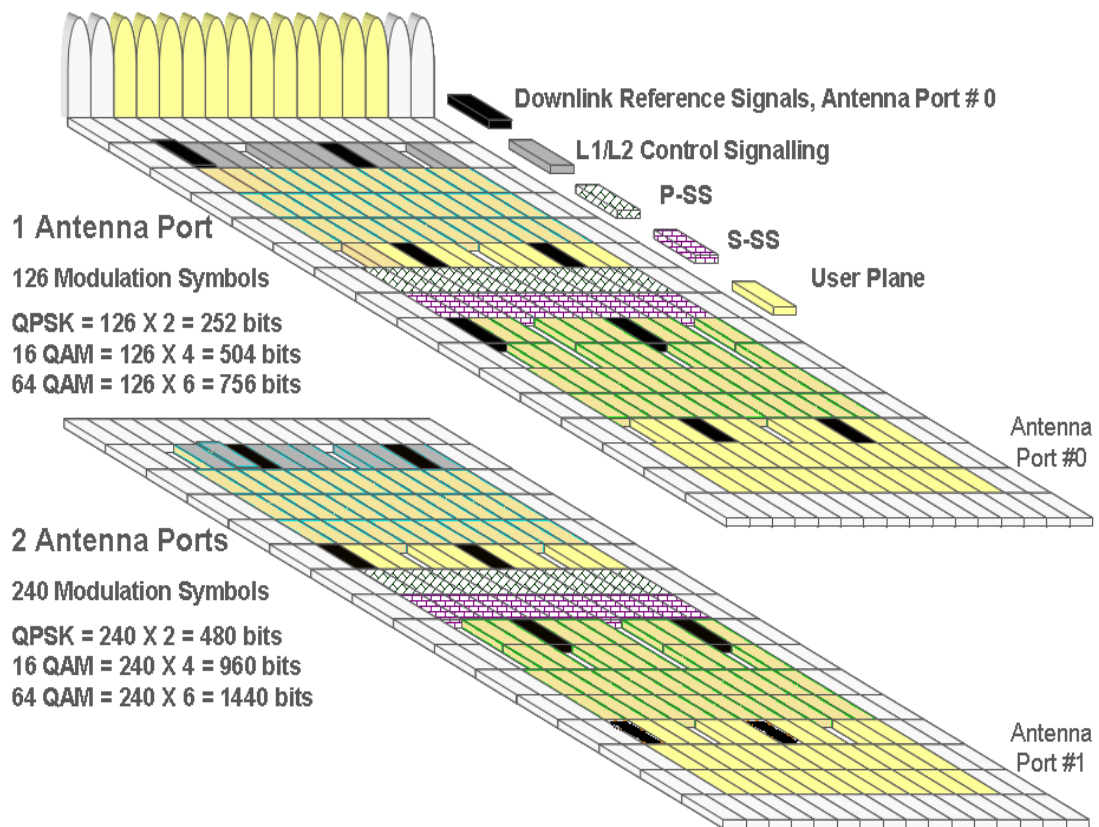
- Single Antenna configuration → 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals.
- 2x2 MIMO Antenna configuration → 48 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals.

Συνοψίζοντας λοιπόν, για την κατηγορία subframes #5 θα έχουμε αναμενόμενο αριθμό διαθέσιμων RE's για user data rate PDSCH ίσο με:

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS - 6 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals = 126 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 2 x (168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS - 12 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals ) = 240 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS - 6 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals = 114 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 2 x (168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS - 12 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals) = 216 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS - 6 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals = 102 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 2 x (168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS - 12 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals) = 192 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS - 6 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals = 90 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 2 x (168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS - 12 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals) = 168 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

Τέλος αν θέλουμε επίσης να δούμε και τον αριθμό των bits που αποστέλλονται στα διαθέσιμα PDSCH RE's σε κάθε μία εκ των προηγούμενων περιπτώσεων θα πρέπει να θυμηθούμε ότι έχουμε 2 bits/RE QPSK, 4 bits/RE 16QAM και 6 bits/RE 64QAM. Το σχήμα 3.23 παρουσιάζει ως παράδειγμα την περίπτωση των subframes #5 για bandwidth 20 MHz.





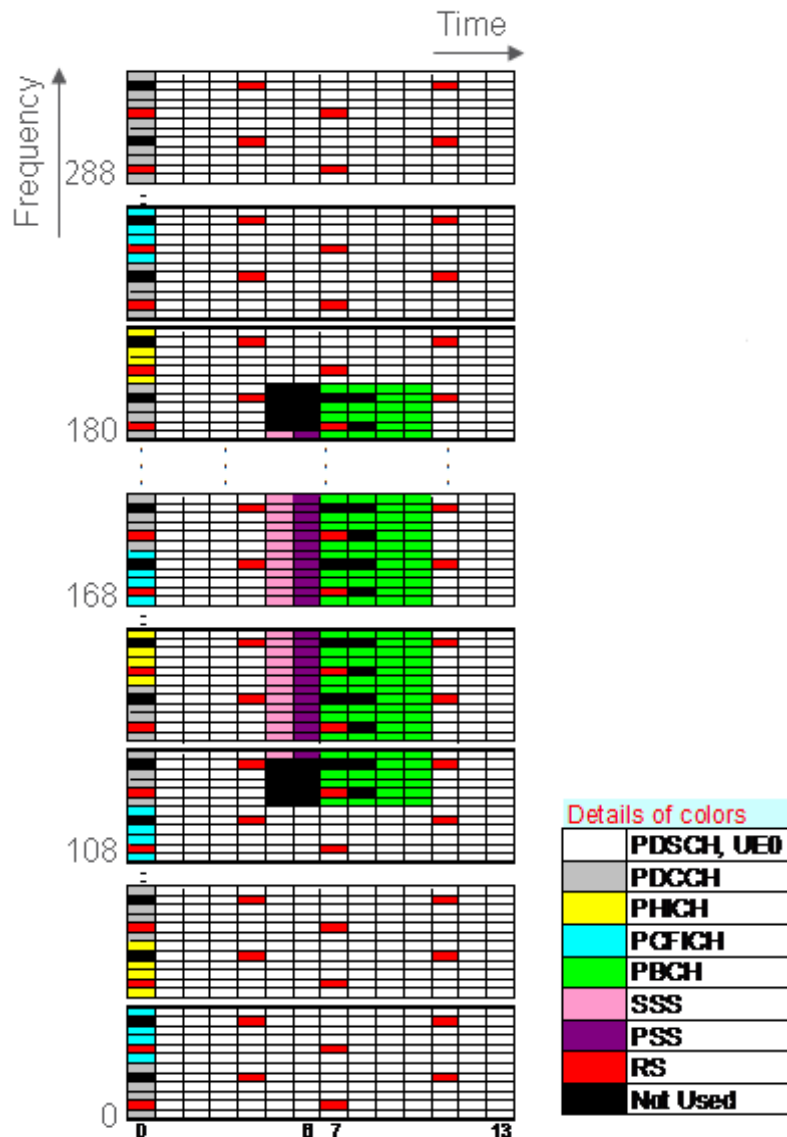
Σχήμα 3.23 Αριθμός bits / 1 ms για subframes #5 στα 20 MHz φάσμα

### 3.3.3 Αριθμός διαθέσιμων RE's για user data PDSCH channel στην ειδική κατηγορία του subframe #0.

Σε αυτήν την περίπτωση ισχύουν ακριβώς ό,τι ξέρουμε από την παράγραφο 3.3.2 με μία επιπλέον διαφορά. Δεσμεύουμε κάποια RE's για την αποστολή του καναλιού BCCH. Έχουν λοιπόν την ιδιαιτερότητα να απλώνονται στο φάσμα για 72 subcarriers εκατέρωθεν του κεντρικού φέροντος (central carrier), δηλαδή 36 subcarriers δεξιά και 36 subcarriers αριστερά του κεντρικού φέροντος. Στο σχήμα 3.24 παρουσιάζεται η ιδέα της φασματικής αποτύπωσης τους. Όσο αναφορά την χρονική τους αποτύπωση στο πλαίσιο φάσμα – χρόνου, καταλαμβάνουν από το δεύτερο slot των 0,5 ms τα τέσσερα πρώτα OFDM symbols. Αυτή η χρονική αποτύπωση παρουσιάζεται στο σχήμα 3.25.

Επομένως σύμφωνα με το σχήμα 3.25 μπορούμε να πούμε ότι ο αριθμός των δεσμευμένων RE's για P/S-SS είναι:

- Single Antenna configuration → 48 δεσμευμένα RE's/180 KHz για BCCH – 2 RE's για RS = 46.
- 2x2 MIMO Antenna configuration → 2 x (48 δεσμευμένα RE's/180 KHz για BCCH – 4 RS) = 88.



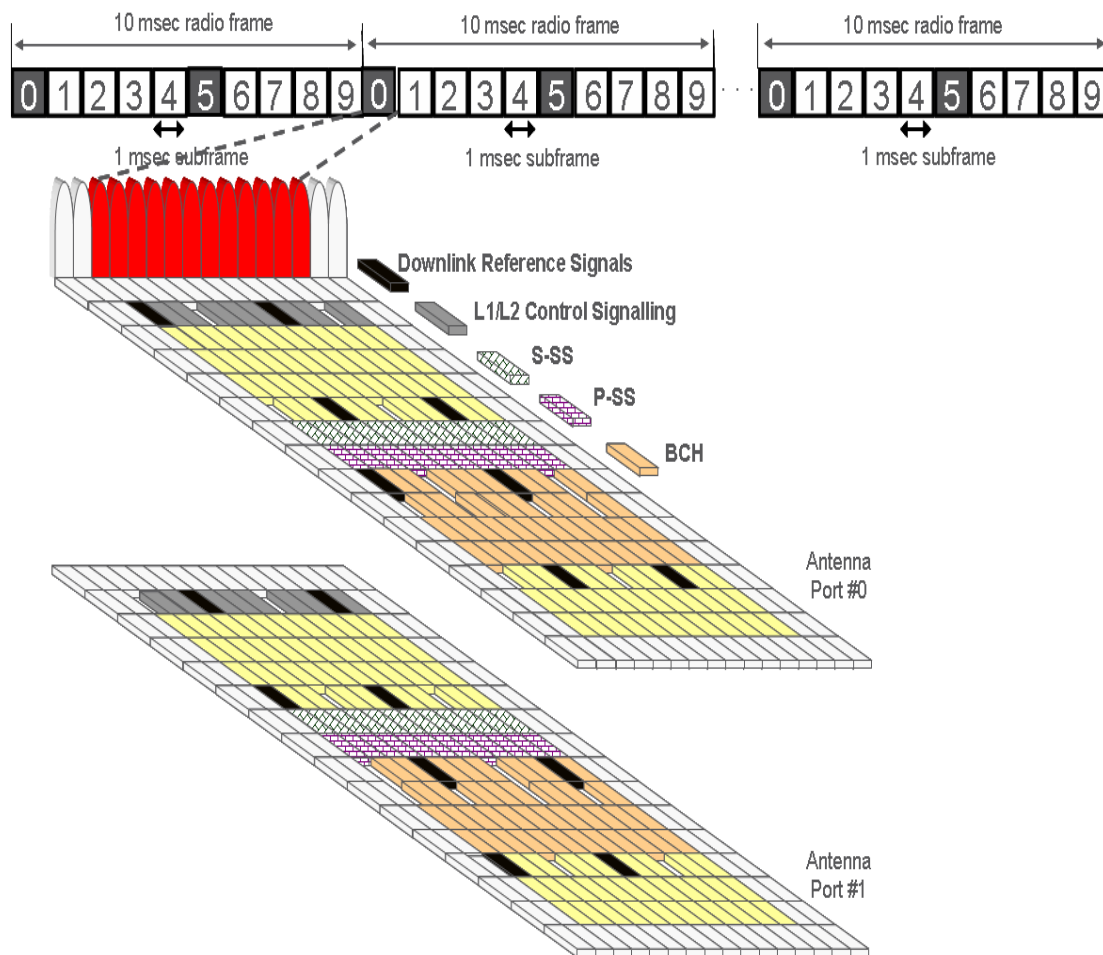
Σχήμα 3.24 Φασματική αναπαράσταση των 72 subcarriers για το BCCH

Συνοψίζοντας λοιπόν, για την κατηγορία subframes #5 θα έχουμε αναμενόμενο αριθμό διαθέσιμων RE's για user data rate PDSCH ίσο με:

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS - 4 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι = 80 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 20 MHz → 2 x (168 total RE's - 12 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (one OFDM symbol) και RS - 8 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS

signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι ) = 152 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS - 4 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι = 68 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 10 ή 15 MHz → 2 x (168 total RE's - 24 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (two OFDM symbols) και RS - 8 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι ) = 128 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

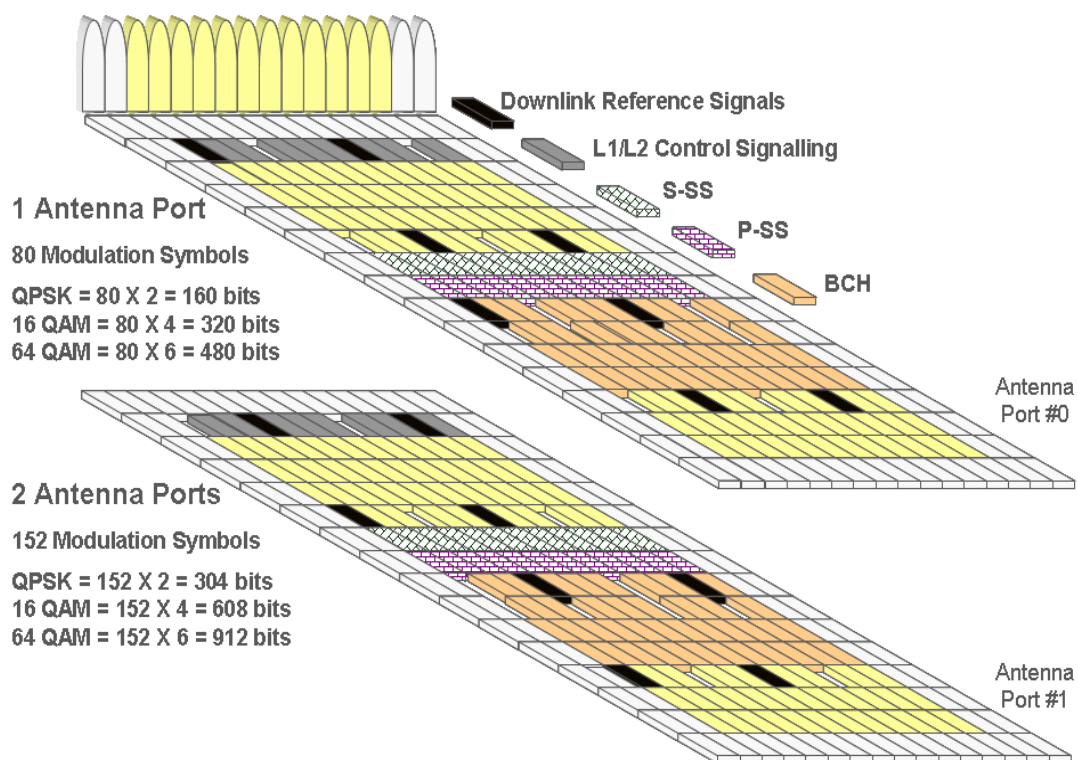


Σχήμα 3.25 Χρονική αναπαράσταση των 72 RB's για το BCCH

- Single Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS - 4 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι = 56 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 3 ή 5 MHz → 2 x (168 total RE's - 36 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (three OFDM symbols) και RS – 8 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι ) = 104 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- Single Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS – 4 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals – 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι = 44 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.
- 2x2 MIMO Antenna configuration για channel bandwidth 1,4 MHz → 2 x (168 total RE's - 48 διαθέσιμα RE's/180 KHz για L1/L2 control signaling (four OFDM symbols) και RS – 8 υπολοιπόμενα RS - 24 δεσμευμένα RE's/180 KHz για P/S-SS signals - 48 δεσμευμένα RE's για BCCH κανάλι ) = 80 διαθέσιμα user data PDSCH RE's.

Τέλος αν θέλουμε επίσης να δούμε και τον αριθμό των bits που αποστέλλονται στα διαθέσιμα PDSCH RE's σε κάθε μία εκ των προηγούμενων περιπτώσεων θα πρέπει να θυμηθούμε ότι έχουμε 2 bits/RE QPSK, 4 bits/RE 16QAM και 6 bits/RE 64QAM. Το σχήμα 3.26 παρουσιάζει ως παράδειγμα την περίπτωση των subframes #0 για bandwidth 20 MHz.

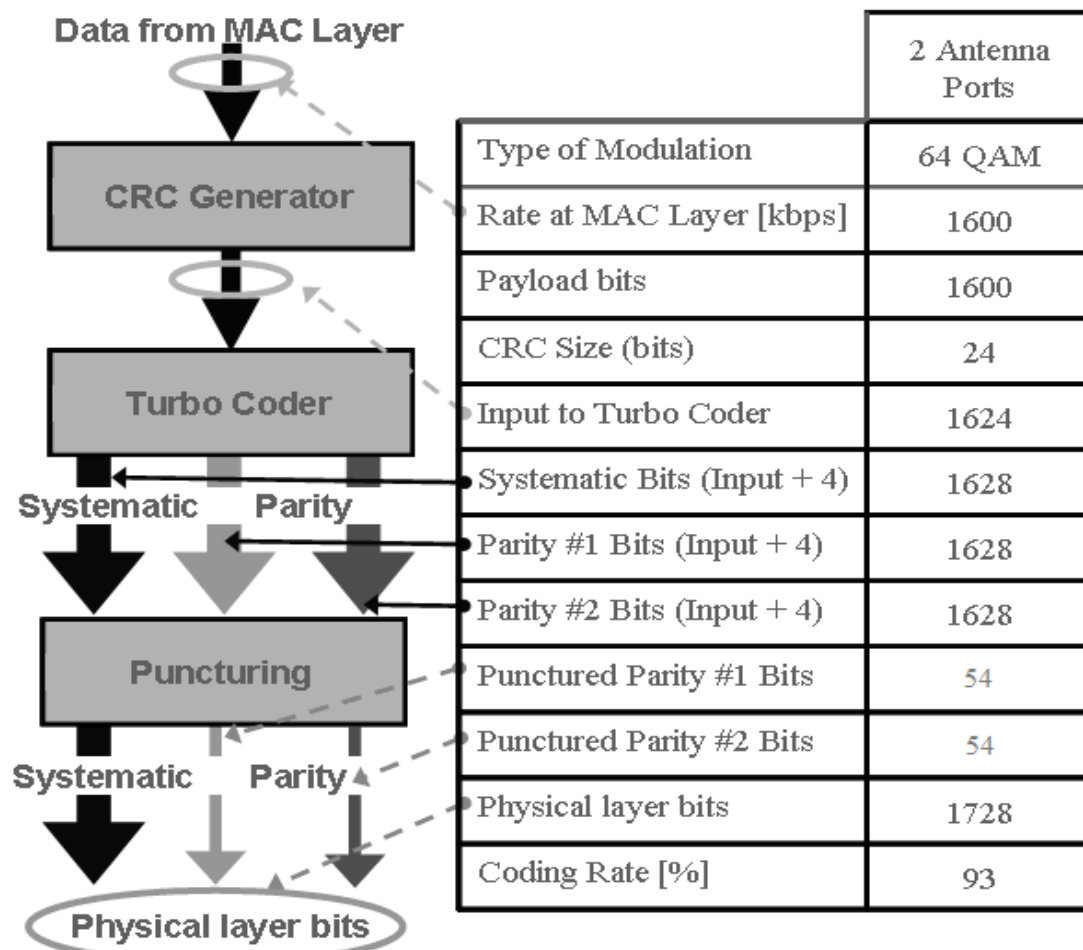


Σχήμα 3.26 Αριθμός bits / 1 ms για subframes #0 στα 20 MHz φάσμα

### 3.3.4 Εφαρμογή – εκτίμηση μεγίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Σε αυτό το στάδιο θα εφαρμόσουμε την θεωρία των προηγούμενων παραγράφων. Ζητείται λοιπόν να υπολογίσουμε τον μέγιστο αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο downlink σε ένα κύτταρο τεχνολογίας LTE με εύρος φάσματος 20 MHz.

Λύση: Για να υπολογίσουμε τον μέγιστο αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε ένα κύτταρο τεχνολογίας LTE θεωρούμε ότι η φορητή συσκευή είναι πολύ κοντά στην κεραία του σταθμού βάσης, επομένως το αναμενόμενο στο downlink τηλικό SINR<sub>UE</sub> θα είναι μεγάλο ώστε η δομική μονάδα Link Adaptation να δώσει **Modulation 64QAM και spatial multiplexing 2x2 MIMO, με το ελάχιστο δυνατό coding rate ratio 93%**. Coding ratio δίδει τον λόγο MAC + code bits / code bits, επομένως 93% μεταφράζεται ως 0,07 x (MAC packet) αριθμό code bits και 0,93 x (MAC packet) user/signaling bits. Εν γένει ο ρυθμός κωδικοποίησης εξαρτάται και ελέγχεται από την δομική μονάδα Link Adaptation μαζί με την διαμόρφωση (Modulation and Coding Scheme MCS), η οποία και ενημερώνει την δομική μονάδα του scheduler ώστε να αποδώσει τον αντίστοιχο αριθμό από Resource Blocks RB's για να αποσταλεί το πακέτο MAC.



Σχήμα 3.27 Παράδειγμα Κωδικοποίησης MAC πακέτου πριν την μετάδοση

Αυτή η διαδικασία, όπως εξηγήσαμε και στην προηγούμενη παράγραφο 3.2 και σχήματα 3.7 & 3.8, έχει αποτυπωθεί στα πρότυπα της 3GPP (TS 36.213) και επομένως αποτελεί τυπική διαδικασία. Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε αυτήν την διαδικασία θα

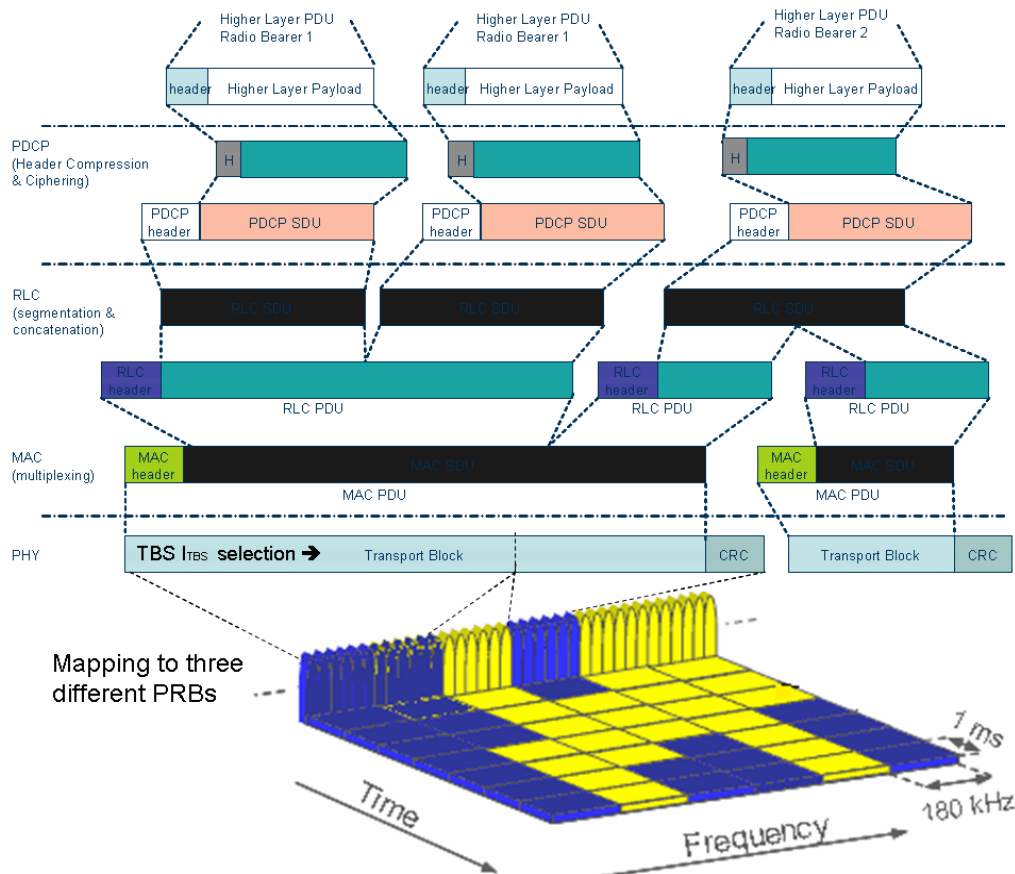
αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα μεγέθους πακέτου MAC και θα εξηγήσουμε την κωδικοποίηση. Ας επιλέξουμε φερ' ειπείν ένα πακέτο MAC μεγέθους 1600 bits σε ένα subframe 1 ms, όπως αποτυπώνεται στο σχήμα 3.27. Η διαδικασία επεξεργασίας του πακέτου είναι προφανής και εξηγείται περαιτέρω στο TS 36.213. Το πακέτο θα πρέπει να περάσει από τον CRC encoder για την δημιουργία 24 parity error detection bits οπότε το μέγεθος του προσαρμόζεται στα 1624 bits. Εν συνέχεια θα περάσει από τον FEC/Turbo encoder ώστε να προσθέσουμε τα error correction bits. Για να επεξεργαστεί καταλλήλως στον FEC/Turbo encoder θα πρέπει να χωριστεί σε τρεις ίσες ομάδες, και να μετατραπεί σε τρία μέρη των 1628 bits. Η πρώτη ομάδα ονομάζεται Systematic group ενώ η λουπές δύο parity groups.

$I_{TBS}$	$N_{PRB}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	16	32	56	88	120	152	176	208	224	256
1	24	56	88	144	176	208	224	256	328	344
2	32	72	144	176	208	256	296	328	376	424
3	40	104	176	208	256	328	392	440	504	568
4	56	120	208	256	328	408	488	552	632	696
5	72	144	224	328	424	504	600	680	776	872
6	328	176	256	392	504	600	712	808	936	1032
7	104	224	328	472	584	712	840	968	1096	1224
8	120	256	392	536	680	808	968	1096	1256	1384
9	136	296	456	616	776	936	1096	1256	1416	1544
10	144	328	504	680	872	1032	1224	1384	1544	1736
11	176	376	584	776	1000	1192	1384	1608	1800	2024
12	208	440	680	904	1128	1352	1608	1800	2024	2280
13	224	488	744	1000	1256	1544	1800	2024	2280	2536
14	256	552	840	1128	1416	1736	1992	2280	2600	2856
15	280	600	904	1224	1544	1800	2152	2472	2728	3112
16	328	632	968	1288	1608	1928	2280	2600	2984	3240
17	336	696	1064	1416	1800	2152	2536	2856	3240	3624
18	376	776	1160	1544	1992	2344	2792	3112	3624	4008
19	408	840	1288	1736	2152	2600	2984	3496	3880	4264
20	440	904	1384	1864	2344	2792	3240	3752	4136	4584
21	488	1000	1480	1992	2472	2984	3496	4008	4584	4968
22	520	1064	1608	2152	2664	3240	3752	4264	4776	5352
23	552	1128	1736	2280	2856	3496	4008	4584	5160	5736
24	584	1192	1800	2408	2984	3624	4264	4968	5544	5992
25	616	1256	1864	2536	3112	3752	4392	5160	5736	6200
26	712	1480	2216	2984	3752	4392	5160	5992	6712	7480

Σχήμα 3.27 Παράδειγμα Κωδικοποίησης MAC πακέτου πριν την μετάδοση

Η ομάδα Systematic παραμένει αναλλοίωτη ενώ η άλλες δύο ομάδες υπόκεινται σε επεξεργασία puncturing και ελαττώνεται το μέγεθός τους στα 50 bits μαζί με padding 4 bits γίνεται 54 bits. Αθροίζοντας τις τρεις ομάδες έχουμε ένα νέο πακέτο μεγέθους 1736 bits. Επομένως ξεκινήσαμε με μέγεθος user data + signaling MAC 1600 bits και καταλήξαμε σε ένα πακέτο μεγέθους 1736 bits. Η επί τοις εκατό ποσοστιαία κωδικοποίηση είναι  $(1600/1728) \times 100\% = 93\%$ . Βάσει των προτύπων της 3GPP TS 36.213 θα υποδειχθεί ένα TBS Index ( $I_{TBS}$ ) για αυτήν την κωδικοποίηση. Πράγματι παρατηρώντας το σχήμα 3.28 βλέπουμε

ότι για Modulation & Coding Scheme index  $I_{MCS} = 25$  (6 bits (64QMA)) έχουμε  $I_{BTS} = 23$  με MAC packet 1736 bits, αντιστοιχώντας σε number of Physical Resource Block  $N_{PRB} = 3$ . Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή του πακέτου σχετίζεται με την εφαρμογή και την ποιότητα του καναλιού για να αποσταλεί αυτό το πακέτο με αυτήν την κωδικοποίηση θα πρέπει να δεσμεύσει ο MAC Scheduler τρία PRB στο OFDM πλαίσιο χρόνου – συχνότητας. Στο σχήμα 3.28 παρουσιάζεται η διαδικασία αποστολής του πακέτου στο downlink.



Σχήμα 3.28 Διαδικασία αποστολής του MAC TBS size πακέτου στο downlink.

Στην δική μας εντούτοις ιδανική περίπτωση αντιλαμβανόμαστε ότι εφόσον έχω ιδανικές συνθήκες θα πρέπει να δεσμεύσω (ιδανικά) και τα 100 PRB του καναλιού στα 20 MHz. Συνεχίζουμε την ανάλυση μας στα 10 ms radio frame, όπου έχουμε το subframe# 0 για το BCCH, RS & user traffic, το subframe #5 για RS & user traffic και οκτώ high data rate subframes. Για ένα κύτταρο με φασματικό εύρος 20 MHz θα έχω συνολικά 100 PRBs, όπως φαίνεται στον σχήμα 3.16. Για το subframe #0 έχω συνολικά λοιπόν δεσμευμένα 72 subcarriers τα οποία αντιστοιχούν σε  $72/12 = 6$  PRB's. Τα υπόλοιπα  $100 - 6 = 94$  PRB's είναι διαθέσιμα για user data. Επιπλέον βάσει της προηγούμενης ανάλυσης για το subframe #5 χρειαζόμαστε 62 subcarriers για τα P/S-SS signals δηλαδή  $62/12 = 5,2$  PRB's και τα υπόλοιπα  $100 - 5,2 = 94,8$  PRB's διαθέσιμα για user data. Βάσει των ιδανικών προδιαγραφών 64QAM, 2x2 MIMO και 93% από το σχήμα 3.20 αποστέλλονται 1728 bits, από το σχήμα 3.23 αποστέλλονται 1440 bits και από το σχήμα 3.26 αποστέλλονται 912 bits. Άρα ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο του air interface είναι:

User useful rate =  $[(8 \text{ subframes} \times 1728 \times 100 + 1 \text{ subframe}\#0 \times 912 \times 6 + 1 \text{ subframe}\#0 \times 912 \times 94 + 1 \text{ subframe}\#5 \times 1440 \times 5,2 + 1 \text{ subframe}\#5 \times 1440 \times 95,8)/10\text{ms}] \times 0,93 \text{ coding rate} = \mathbf{150,571 \text{ Mbps}}$

Ένας άλλος τρόπος να υπολογίσουμε τον user useful rate στην ιδανική περίπτωση είναι να χρησιμοποιήσουμε το μέγεθος του MAC πακέτου μετά την κωδικοποίηση. Θεωρώντας ιδανικές συνθήκες θα έχουμε την χρήση 100 PRB από το φάσμα των 20 MHz, επομένως ακολουθώντας το πρότυπο TS 36.213 της 3GPP θα έχουμε ένα πακέτο MAC μεγέθους 75376 bits, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.29.

$I_{TBS}$	$N_{PRB}$									
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
0	2536	2536	2600	2600	2664	2664	2728	2728	2728	2792
1	3368	3368	3368	3496	3496	3496	3496	3624	3624	3624
2	4136	4136	4136	4264	4264	4264	4392	4392	4392	4584
3	5352	5352	5352	5544	5544	5544	5736	5736	5736	5736
4	6456	6456	6712	6712	6712	6968	6968	6968	6968	7224
5	7992	7992	8248	8248	8248	8504	8504	8760	8760	8760
6	9528	9528	9528	9912	9912	9912	10296	10296	10296	10296
7	11064	11448	11448	11448	11448	11832	11832	11832	12216	12216
8	12576	12960	12960	12960	13536	13536	13536	13536	14112	14112
9	14112	14688	14688	14688	15264	15264	15264	15264	15840	15840
10	15840	16416	16416	16416	16992	16992	16992	16992	17568	17568
11	18336	18336	19080	19080	19080	19080	19848	19848	19848	19848
12	20616	21384	21384	21384	21384	22152	22152	22152	22920	22920
13	23688	23688	23688	24496	24496	24496	25456	25456	25456	25456
14	26416	26416	26416	27376	27376	27376	28336	28336	28336	28336
15	28336	28336	28336	29296	29296	29296	29296	30576	30576	30576
16	29296	30576	30576	30576	30576	31704	31704	31704	31704	32856
17	32856	32856	34008	34008	34008	35160	35160	35160	35160	36696
18	36696	36696	36696	37888	37888	37888	37888	39232	39232	39232
19	39232	39232	40576	40576	40576	40576	42368	42368	42368	43816
20	42368	42368	43816	43816	43816	45352	45352	45352	46888	46888
21	45352	46888	46888	46888	46888	48936	48936	48936	48936	51024
22	48936	48936	51024	51024	51024	51024	52752	52752	52752	55056
23	52752	52752	52752	55056	55056	55056	55056	57336	57336	57336
24	55056	57336	57336	57336	57336	59256	59256	59256	61664	61664
25	57336	59256	59256	59256	61664	61664	61664	61664	63776	63776
26	66592	68808	68808	68808	71112	71112	71112	73712	73712	75376

Σχήμα 3.29 Παράδειγμα Κωδικοποίησης MAC πακέτου στα 100 PRB's

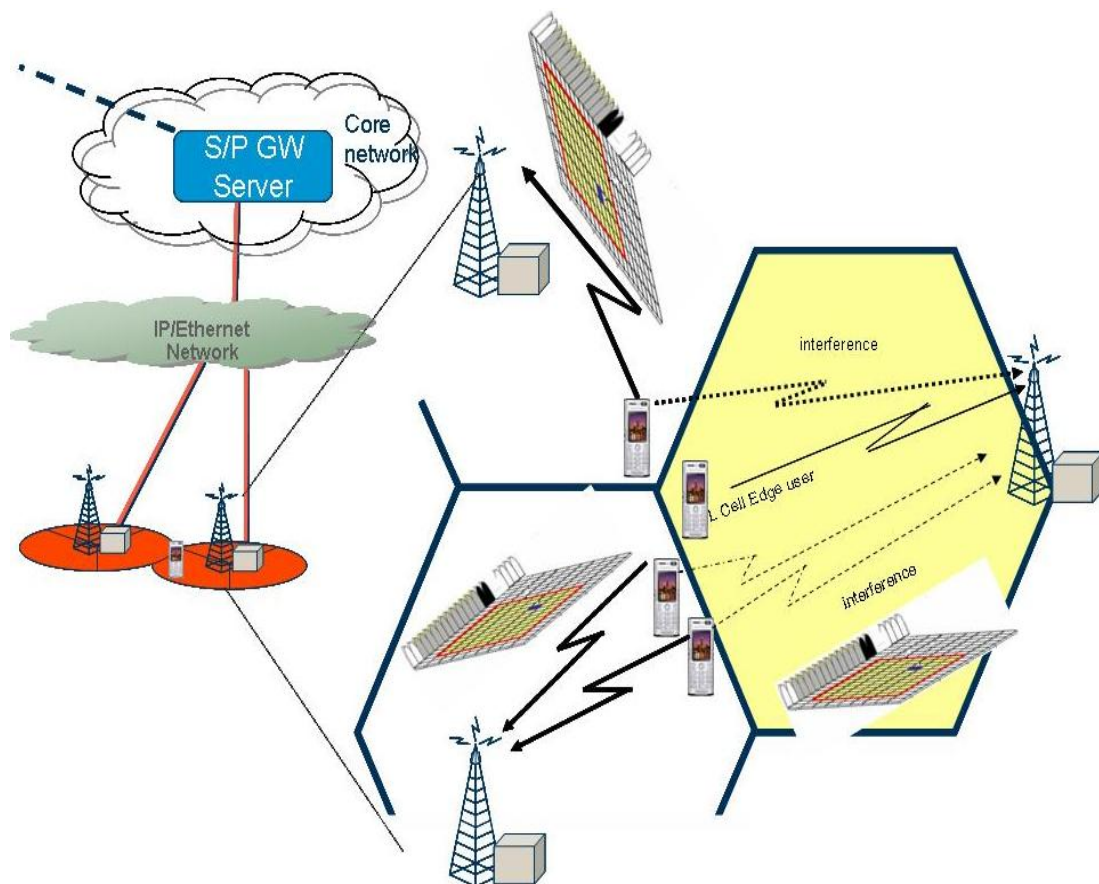
Αυτό το πακέτο θα αποσταλεί σε χρόνο 1 ms σε 100 PRB's. Βάσει των προδιαγραφών TS 36.213 εφόσον για  $56 < N_{PRB} < 100$  έχουμε την αναπαράσταση των δεδομένων σε δύο layers για 2x2 MIMO και επομένως αποστέλλονται 2 x 75376 bits/ 1 ms, άρα ο ρυθμός μετάδοσης είναι  $2 \times 75376 / 1 \text{ ms} = 149,776 \text{ Mbps}$ .



### 3.3.5 Εφαρμογή – εκτίμηση ελαχίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο downlink. Η περίπτωση του downlink cell edge user.

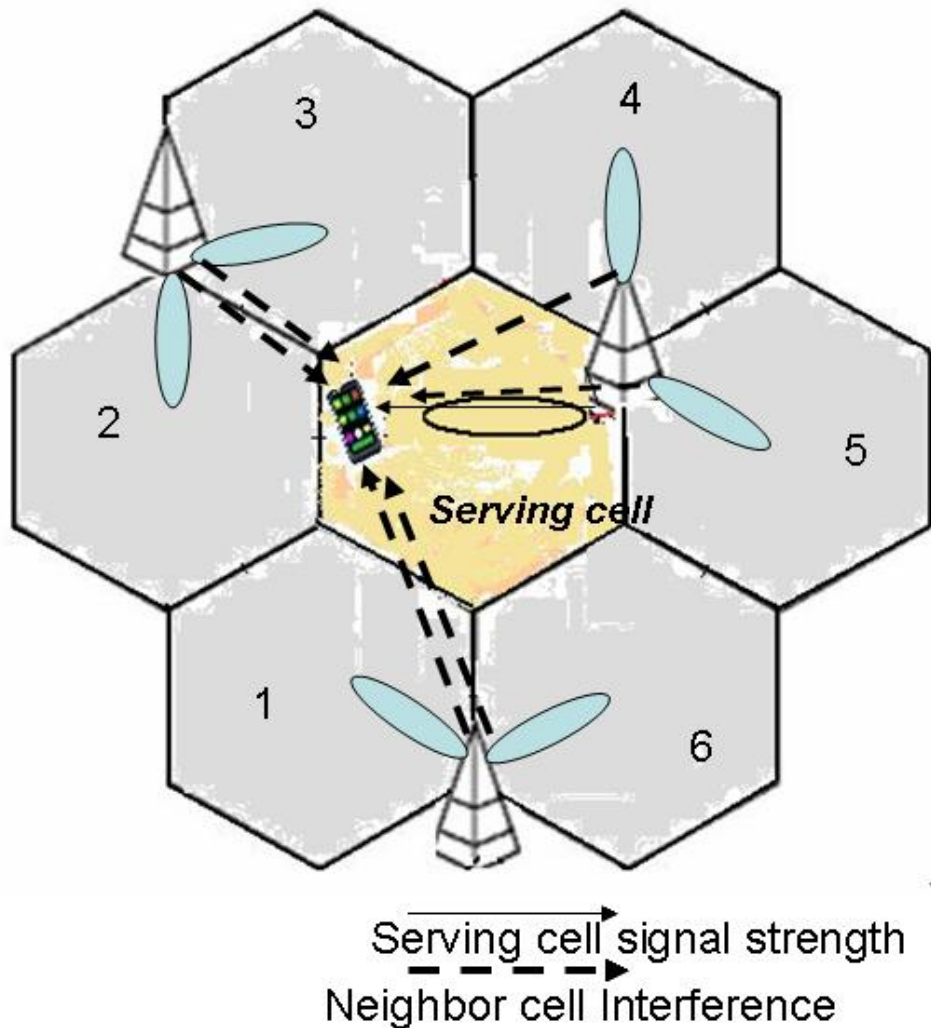
Σε αυτό το στάδιο θα εφαρμόσουμε την θεωρία των προηγούμενων παραγράφων μαζί με κάποια μαθηματικά μοντέλα από εργασίες σε διεθνή συνέδρια και περιοδικά ώστε να υπολογίσουμε το ελάχιστο throughput. Θα χρησιμοποιήσουμε ενδεικτικές εργασίες χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ή ότι δεν θα υπάρξουν μελλοντικά καλλίτερες και ακριβέστερες εργασίες. Εντούτοις αυτό που έχει σημασία είναι να γίνει αντιληπτή και κατανοητή η μεθοδολογία και όχι τόσο τα αποτελέσματα των εργασιών, τα οποία εκ των πραγμάτων υπόκειται μονίμως σε βελτιώσεις και αναιρέσεις!!!

Αναλογιζόμενοι λοιπόν την αρχιτεκτονική ενός δικτύου LTE αντιλαμβανόμαστε ότι η ποιότητα υπηρεσίας εξαρτάται εν γένει από τον λόγο SINR. Σε αυτόν τον λόγο η παρεμβολή αναμένεται να είναι της μορφής Inter-cell Interference λόγω της χρήσης του ίδιου φασματικού εύρους των 20 MHz σε κάθε γειτονικό κύτταρο ενός cluster κυττάρων με την αντίστοιχη πιθανότητα τα γειτονικά κύτταρα να χρησιμοποιούν τα ίδια PRB's στο ίδιο subframe. Κατ' επέκταση επιπλέον αυτός ο λόγος συνδέεται με το αναμενόμενο BLER του καναλιού επικοινωνίας και έτσι και με την εκτίμηση του Channel Quality Index (CQI). Στο σχήμα 3.30 παρουσιάζεται η Inter-cell Interference.



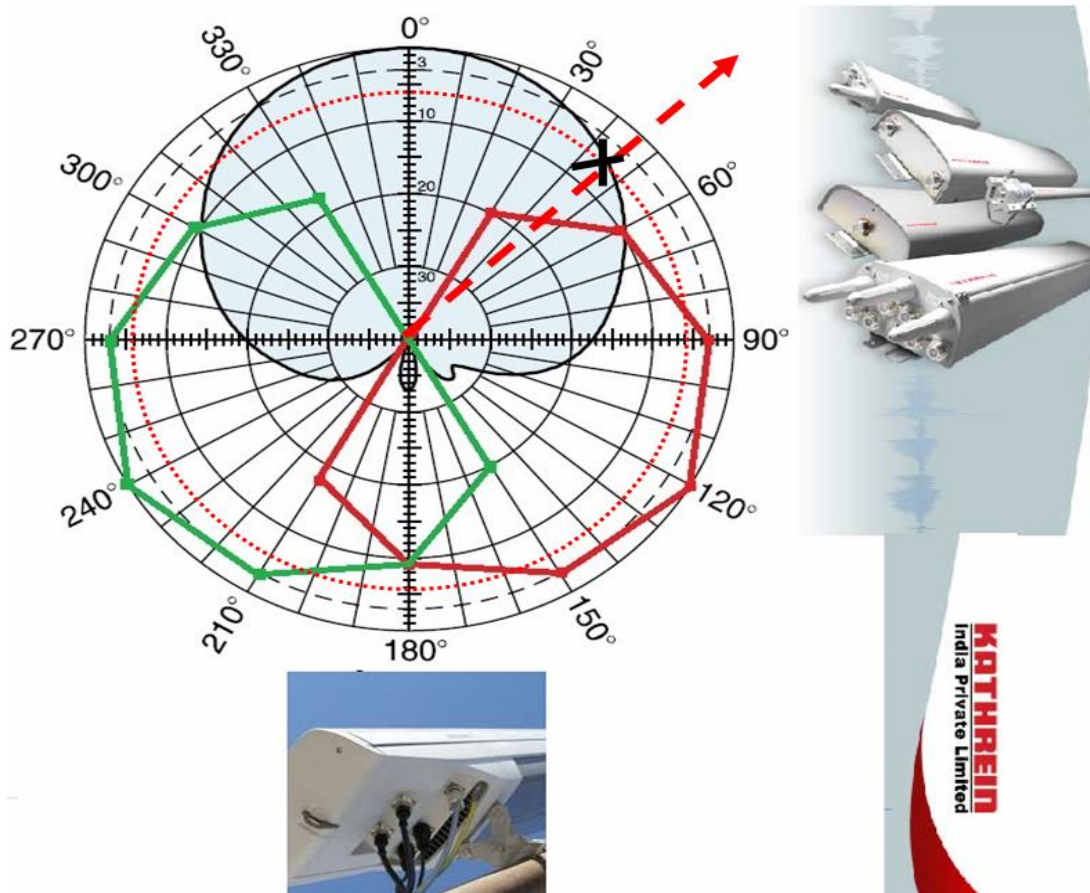
Σχήμα 3.30 Παράδειγμα Inter-cell Interference.

Για να προχωρήσουμε λοιπόν την ανάλυση μας θεωρούμε ένα cluster 7 κυττάρων τα οποία χρησιμοποιούν το ίδιο φασματικό εύρος των 20 MHz στα 2.6 GHz το οποίο αντιστοιχεί στην μπάντα 7 της 3GPP, όπως περιγράφει στο σχήμα 1.5 του κεφαλαίου 1. Σε ένα τέτοιο cluster κυττάρων θα έχουμε αναμενόμενη παρεμβολή από έξι διαφορετικά γειτονικά κύτταρα. Στο σχήμα 3.31 παρουσιάζεται η δομή του cluster και η αναμενόμενη παρεμβολή.



Σχήμα 3.31 Παράδειγμα Inter-cell Interference σε cluster 7 κυττάρων.

Θεωρώντας κατευθυντικά κύτταρα με την διάγραμμα ακτινοβολίας των αντιστοίχων κεραιών (antenna radiation pattern and Gain) όπως απεικονίζονται στο σχήμα, θα θεωρήσουμε με καλή προσέγγιση ότι τα κύτταρα 4, 5 δημιουργούν ελάχιστη παρεμβολή λόγω διάδοσης ακτινοβολίας κυρίως μέσω του οπισθίου λοβού (back lobe) της κεραίας. Τα δε κύτταρα 1, 2, 3, 6 ακτινοβολούν προς την φορητή συσκευή με γωνία περίπου  $45^{\circ}$  συνεισφέροντας εν μέρει στην παρεμβολή. Θεωρώντας τυπικές κεραιές LTE τεχνολογίας Kathrein [6] με μέγιστη απολαβή 18 dBi, έχουμε από το οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας τους (Horizontal Radiation pattern) στο σχήμα 3.32 ότι στις  $45^{\circ}$  εκπομπής η απολαβή (Gain) αποσβένει κατά  $18 \text{ dBi} - 6 \text{ dB} = 12 \text{ dBi}$ .



Σχήμα 3.32 Τυπικές κεραιές LTE τεχνολογίας Kathrein με μέγιστη απολαβή 18 dBi.

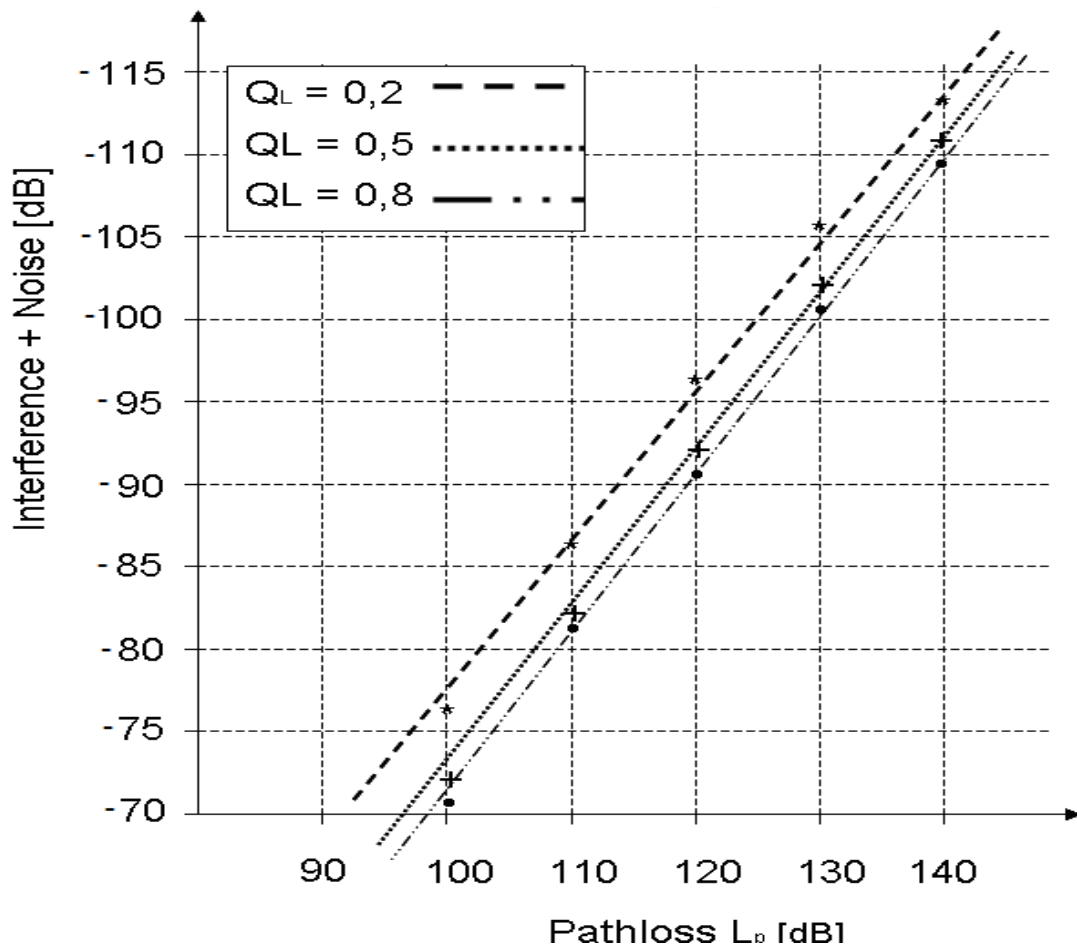
Συνεχίζοντας λοιπόν την τυπική διαδικασία υπολογισμού του πηλίκου SINR θα πρέπει να υπολογίσουμε σε απόσταση  $d$  μεταξύ φορητής συσκευής και eNodeB την αναμενόμενη απόσβεση. Για αυτόν τον λόγο θα χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο pathloss το οποίο προτείνεται στην διεθνή βιβλιογραφία στην συχνότητα των 2.6 GHz για LTE [5]:

$$L[dB] = \begin{cases} 39 + 20 \log_{10} d[m], & 10m < d \leq 45m \\ -39 + 67 \log_{10} d[m], & d > 45m \end{cases} \quad (3.4)$$

Θεωρούμαι ότι οι μονάδες hardware Radio Unit Transmitter στο eNodeB εκπέμπουν στα 40 W και ότι έχουμε τυπικές τιμές απωλειών κυματοδηγών και jumpers στα 3 dB, επομένως η κεραία του eNodeB εκπέμπει στα 20 W. Εφόσον υπολογίζουμε την κάλυψη στο κέντρο πόλεων αποφεύγουμε να χρησιμοποιήσουμε Boosters (ενισχυτές εκπομπής) και κάνουμε επίσης την θεώρηση ότι όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια ισχύ εκπομπής. Τέλος θεωρούμε ότι οι συσκευές UE έχουν τυπική συμπεριφορά διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας ισοτροπική, δηλαδή  $UE_{GAIN} = 0$  dBi. Επομένως υπολογίζοντας έναν τυπικό προϋπολογισμό ισχύος (Power Budget) θα έχουμε ότι η ισχύς λήψης στην κεραία της φορητής συσκευής (UE) ανά PRB θα είναι:

$$P_{UE} [dBm] = P_{BTS} + G_{BTS} - L_p - n_{ant} - n_{PRB} \quad (3.5)$$

Όπου η παράμετρος  $n_{ant}$  είναι ο αριθμός των κεραιών (spatial multiplexing) και  $n_{PRB}$  ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων PRB από το κύτταρο. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής θα χρησιμοποιήσουμε αποτελέσματα μετρήσεων (real drive tests) που έγιναν στο κέντρο της πόλης της Στοκχόλμης από μηχανικούς της εταιρείας Teledrom A.B [7]. Για την συνέχεια της μελέτης θεωρούμε ότι το κέντρο της πόλεως της Στοκχόλμης μοιάζει με καλή προσέγγιση με το κέντρο της Αθήνας. Οι μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας ένα Test BTS και μία test USIM η οποία μετρούσε την με το λογισμικό TEMS investigator σε διαφορετικές αποστάσεις από την κεραία. Οι μετρήσεις διεκπεραιώθηκαν σε μέγιστη απόσταση 1 Km και σε ελάχιστη απόσταση 100 m εφόσον ήταν αδύνατον να πλησιάσουμε από τον δρόμο την κεραία η οποία ήταν σε κτίριο ύψους 35 m. Επίσης από το κέντρο ελέγχου πήραμε στατιστικά χρήσης των Physical Resource blocks  $n_{PRB}$  από την κίνηση (χωρητικότητα – όλοι οι χρήστες του κυττάρου σε διαφορετικές ώρες της ημέρας για να έχουμε διαφορετικά φορτία) του κυττάρου κατά την διάρκεια των μετρήσεων και τα αποτυπώσαμε ως επί τοις εκατό,  $Q_L$  %, δηλώνοντας το ποσοστό χρήσης από τον μέγιστο αριθμό PRB.



Σχήμα 3.33 Drive Test μέτρηση καμπύλης  $(N+I)$  vs. pathloss.

Στο σχήμα 3.33 δίδεται ένα set από καμπύλες μέτρησης όπου αποτυπώσαμε διαφορετικές τιμές φορτίου κίνησης  $Q_L$ , δηλαδή  $Q_L = 0,2\%$ ,  $Q_L = 0,5\%$ ,  $Q_L = 0,8\%$ .

Το πηλίκο SINR ανά PRB, επεκφρασμένο σε dB δίδεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\gamma_{UE}[dB] = P_{UE} - (N + I) = P_{BTS} + G_{BTS} - L_p - n_{ant} - n_{PRB} - (N + I) \quad (3.6)$$

Από τα πρότυπα της 3GPP για το MAC (TS 36.321) γνωρίζουμε ότι βάσει των μετρήσεων του καναλιού (CQI) επιλέγεται ένα εκ των επτά διαθέσιμων Transmission modes, σχήμα 3.34. Από την διεθνή βιβλιογραφία μπορούμε να πάρουμε αποτελέσματα προσομοιώσεων και καμπύλες SINR vs CQI για διαφορετικές περιπτώσεις transmission mode [8] τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 3.35.

Transmission mode	Transmission scheme of PDSCH
1	Single-antenna port, port 0
2	Transmit diversity
3	Transmit diversity if the associated rank indicator is 1, otherwise large delay CDD
4	Closed-loop spatial multiplexing
5	Multi-user MIMO
6	Closed-loop spatial multiplexing with a single transmission layer
7	If the number of PBCH antenna ports is one, Single-antenna port, port 0; otherwise Transmit diversity

Σχήμα 3.34 PDSCH Transmission modes used as reference for CQI derivation

TM 111,0 σημαίνει ότι έχω Transmission Mode 1 (σχήμα 3.34, single antenna) με μία κεραία Tx και μία κεραία Rx και HARQ 0. TM 111,3 σημαίνει ότι έχω Transmission Mode 1 (σχήμα 3.34, single antenna) με μία κεραία Tx και μία κεραία Rx και HARQ 3. TM 222 σημαίνει ότι έχω Transmission Mode 2 (σχήμα 3.34, Tx diversity) με δύο κεραίες Tx και δύο κεραίες Rx. TM 322 σημαίνει ότι έχω Transmission Mode 3 (σχήμα 3.34, SU-MIMO Open Loop) με δύο κεραίες Tx και δύο κεραίες Rx. Η αντιστοίχιση αυτή ακολουθεί υλοποίηση η οποία αφήνεται στην ευχέρεια του εκάστοτε vendor (vendor specific solution).

**Ας εφαρμόσουμε τώρα την θεωρία που αναπτύξαμε σε αυτήν την παράγραφο για τον υπολογισμό του throughput ενός συνδρομητή στα άκρα ενός κυττάρου (cell edge Throughput) με εύρος φάσματος 20 MHz και συνολικό αριθμό  $n_{PRB} = 100$  (από το σχήμα 3.16). Ας θεωρήσουμε, για το παράδειγμα αυτό, ότι μας ενδιαφέρει να σχεδιάσουμε ένα κύτταρο εντός κέντρου πόλεως σε απόσταση 500 m. Τότε από την (3.4) θα έχουμε για το pathloss στα άκρα του κυττάρου (500 m):**

$$L_p[dB] = -39 + 67 \log_{10} d[m] = 141,83dB \quad (3.7)$$

CQI	SNR				
	Transmission Mode				
	111, 0 re-tx	111, 3 re-tx	222	322	342
1	1.95	2.00	-7.00	-3.10	-4.80
2	4.00	4.05	-5.00	-1.15	-2.60
3	6.00	5.10	-3.15	1.50	0.00
4	8.00	8.00	-1.00	4.00	2.60
5	10.00	10.00	1.00	6.00	4.95
6	11.95	11.80	3.00	8.90	7.60
7	14.05	13.90	5.00	12.70	10.60
8	16.00	16.10	6.90	14.90	12.95
9	17.90	17.45	8.90	17.50	15.40
10	19.90	19.50	10.85	20.50	18.10
11	21.50	21.50	12.60	22.45	20.05
12	23.45	23.10	14.35	23.20	22.00
13	25.00	24.90	16.15	24.90	24.55
14	27.30	27.00	18.15	27.00	26.80
15	29.00	29.10	20.00	29.10	29.60

Σχήμα 3.35 CQI vs SINR for different Transmission modes.

Σε μία τέτοια περίπτωση ο MAC scheduler θα επιτρέψει το transmission mode 1 με HARQ = 3 ώστε να προσπατήσει τα δεδομένα, επομένως  $n_{\text{ant}} = 1$ . Εφόσον έχουμε συνδρομητή στα άκρα του κυττάρου με pathloss 141,83 dB, από το σχήμα 3.33 προκύπτει ότι το downlink (N+I) θα εξαρτάται από το φορτίο. Επομένως για φορτίο:

- $Q_L = 0,2$  θα έχουμε (N+I) = - 115 dB,
- $Q_L = 0,5$  θα έχουμε (N+I) = - 112 dB
- $Q_L = 0,8$  θα έχουμε (N+I) = - 110 dB.

Εν συνεχεία μπορούμε να υπολογίσουμε την λαμβανομένη ισχύ ανά PRB. Από την εξίσωση (3.5) έχουμε για:

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,2$ , δηλαδή  $n_{\text{PRB}} = 0,2 \times 100 = 20$ :

$$P_{UE}[\text{dBm}] = P_{BTS}[\text{dBm}] + G_{BTS} - L_P - n_{\text{ant}} - n_{\text{PRB}} =$$

$$10 \log \frac{20}{0,001} + 18 - 141,83 - 10 \log(1) - 10 \log 20 = -93,83 \text{ dBm} \quad (3.8)$$

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,5$ , δηλαδή  $n_{PRB} = 0,5 \times 100 = 50$ :

$$P_{UE}[dBm] = P_{BTS}[dBm] + G_{BTS} - L_P - n_{ant} - n_{PRB} =$$

$$10 \log \frac{20}{0,001} + 18 - 141,83 - 10 \log(1) - 10 \log 50 = -97,8 dBm \quad (3.9)$$

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,8$ , δηλαδή  $n_{PRB} = 0,8 \times 100 = 80$ :

$$P_{UE}[dBm] = P_{BTS}[dBm] + G_{BTS} - L_P - n_{ant} - n_{PRB} =$$

$$10 \log \frac{20}{0,001} + 18 - 141,83 - 10 \log(1) - 10 \log 80 = -99,85 dBm \quad (3.10)$$

Το αναμενόμενο  $SINR_{UE}$  υπολογίζεται από τον τύπο (3.6) για:

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,2$ :

$$\gamma_{UE}[dB] = P_{UE} - (N + I) = -93,83 - (-115) = 21,17 [dB] \quad (3.11)$$

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,5$ :

$$\gamma_{UE}[dB] = P_{UE} - (N + I) = -97,8 - (-112) = 14,2 [dB] \quad (3.12)$$

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,8$ :

$$\gamma_{UE}[dB] = P_{UE} - (N + I) = -99,85 - (-110) = 10,15 [dB] \quad (3.13)$$

Από το σχήμα 3.35 μπορούμε να υπολογίσουμε το CQI που θα αντιστοιχεί στο εξαγόμενο  $SINR$  από την πρώτη στήλη με transmission mode 111. Επομένως το αναμενόμενο CQI για:

- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,2$  θα είναι CQI = 10,
- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,5$  θα είναι CQI = 7
- φορτίο του κυττάρου εξυπηρέτησης  $Q_L = 0,8$  θα είναι CQI = 5.

Αυτό που μας λείπει είναι ο αριθμός των PRB's που θα αποδοθούν στο UE στα άκρα του κυττάρου για τις υπολογισμένες τιμές του CQI. Σε αυτό το σημείο οποιαδήποτε μορφή αναλυτικού υπολογισμού αποτυγχάνει διότι η ακριβής λειτουργία του scheduling algorithm του MAC scheduler, όπως αναλύσαμε ήδη στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, δεν προσδιορίζεται σε κανένα πρότυπο της 3GPP. Αντιθέτως ο σχεδιασμός του αλγορίθμου, οι εισόδους και τα βάρη εκτίμησης (weighting coefficients) κάθε εισόδου σχεδιάζονται αναλυτικά από τον κάθε vendor στα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογίας (R&D,

Research & Development) και κρατείται μυστικό. Κατ' ουσίαν ο MAC scheduler μοιάζει με ένα μαύρο κουτί. Σε μία τέτοια περίπτωση επομένως ο μόνος τρόπος να εκτιμήσουμε την απόκριση του (αριθμός αποδοσιμών  $n_{PRB}$ ) είναι είτε να έχουμε τον επίσημο MAC Link Simulator της εταιρείας (κάτι πολύ δύσκολο) ή να εκτελέσουμε πειράματα – μετρήσεις (drive tests) και να καταγράψουμε τα αποτελέσματα. Επιπλέον η δυσκολία που αντιμετωπίζουμε στην εκτίμηση των PRB's επιβαρύνεται περαιτέρω από την υπηρεσία του χρήστη, την προτεραιότητα που αντιστοιχείται από την παράμετρο QCI (Quality Class Identifier) η οποία λαμβάνεται από το δίκτυο κορμού στην διαδικασία RAB establishment και QoS negotiation και τέλος από τον αλγόριθμο scheduling που έχει ενεργοποιηθεί στο κύτταρο (maxCQI, Proportional fair, Best CQI, Round Robin, etc). Η διαδικασία εκτίμησης του μεγέθους του πακέτου και του αριθμού των PRB's παρατίθεται στην ακόλουθη σειρά βημάτων [1, 2]:

Βήμα 1°. Η μονάδα Channel Estimation στο MAC μετράει τα cell specific Reference Signals και εξαγάγει την ποιότητα του καναλιού

Βήμα 2°. **Βάσει εξειδικευμένου αλγορίθμου του κατασκευαστή (vendor specific algorithm)** η εκτιμωμένη ποιότητα καναλιού αντιστοιχείται σε ένα συγκεκριμένο  $CQI_{RS}$  index (σχήμα 3. 4 κεφαλαίου).

Βήμα 3°. Βάσει προτύπων της 3GPP μετατρέπει το  $CQI_{RS}$  index σε  $CQI_{PDSCH}$  index και εν συνεχεία εκτιμά το  $SINR_{PDSCH}$ .

Βήμα 4°. Αποστέλει το εκτιμώμενο  $SINR_{PDSCH}$  στην μονάδα Link Adaptation και εκεί, βάσει **εξειδικευμένου αλγορίθμου του κατασκευαστή (vendor specific algorithm)**, αντιστοιχεί το  $SINR_{PDSCH}$  σε MCS index ( $I_{MCS}$ ).

Βήμα 5°. **Βάσει του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται στο κύτταρο (maxCQI, Proportional fair, Best CQI, Round Robin, etc)** και συνεκτιμώντας την κίνηση του κυττάρου (χρήστες οι οποίοι χρήζουν απόδοσης πόρων) και την ποιότητα υπηρεσίας αποφαινεται για τον αριθμό των bits που θα σταλούν το επόμενο TTI = 1ms από τον χρήστη.

Βήμα 6°. Χρησιμοποιώντας το βήμα 5, εκτιμά το coding rate και εν συνεχεία τον αριθμό των PRB's που χρειάζονται για την μετάδοση της πληροφορίας ( $n_{PRB}$ ).

Βήμα 6°. Από το βήμα 4 αντιστοιχεί το  $I_{MCS}$  σε ένα  $I_{TBS}$

Σε αυτό το σημείο έχουμε τρεις τρόπους να εκτιμήσουμε τον αριθμό των PRB.

**A. Τρόπος:** Ένας απλός αλλά όχι ακριβής τρόπος εκτίμησης των  $n_{PRB}$  δίδεται από την ακόλουθη εξίσωση, αρκεί να γνωρίζουμε την υπηρεσία, τον αλγόριθμο και από εκεί την απόδοση του αλγορίθμου  $\rho_{sch}$ , την προτεραιότητα :



$$n_{RB} = \left[ \frac{\text{bits per TBS}}{\text{bits per modulation symbol} \times \text{coding rate} \cdot \text{RE per Resource Block}} \right] \times P_{sch} \quad (3.14)$$

**Β. Τρόπος:** Ένας δεύτερος τρόπος εκτίμησης είναι να χρησιμοποιήσουμε βασικές αρχές link budget. Από μετρήσεις δικτύου γνωρίζουμε ότι ο MAC Scheduler, βάσει συνεκτιμωμένης  $SINR_{PDSCCH}$ , προσπαθεί να αποδώσει τέτοιον αριθμό ράδιο-πόρων  $n_{PRB}$  ώστε να πετύχει τον αντίστοιχο στόχο  $\gamma_{target} = SINR_{target}$  ώστε να έχει την βέλτιστη απόδοση. Αυτή η τιμή εξαρτάται από την κινητικότητα του συνδρομητή λόγω Rayleigh Fading (EPA5 εάν είναι πεζός, EPA70 εάν είναι εποχούμενος και ETU 300 εάν είναι εποχούμενος σε μεγάλης ταχύτητας μέσο μεταφοράς). Η εξίσωση του  $\gamma_{target}$ , βάσει της (3.6), εξαρτάται από το φορτίο κίνησης, επομένως για πεζούς συνδρομητές με όριο  $\gamma_{target} = -23$  dB [5] υπολογισμένο στο όριο ποιότητας PER =  $10^{-1}$  στα άκρα του κυττάρου των 500 m με pathloss = 140 dB έχουμε τρεις περιπτώσεις:

- $Q_L = 0,2$  θα έχουμε  $(N+I) = -115$  dB

$$n_{PRB}[dB] = 43 + 18 - 23 - 141,83 + 115 = 11,17[dB] \Rightarrow \lceil n_{PRB} \rceil = 13$$

- $Q_L = 0,5$  θα έχουμε  $(N+I) = -112$  dB

$$n_{PRB}[dB] = 43 + 18 - 23 - 141,83 + 112 = 8,17[dB] \Rightarrow \lceil n_{PRB} \rceil = 7$$

- $Q_L = 0,8$  θα έχουμε  $(N+I) = -110$  dB.

$$n_{PRB}[dB] = 43 + 18 - 23 - 141,83 + 110 = 6,17[dB] \Rightarrow \lceil n_{PRB} \rceil = 4$$

**Γ. Τρόπος:** Ένας τρίτος τρόπος υπολογισμού του  $n_{PRB}$ , ο οποίος είναι και ο περισσότερο ακριβής, βασίζεται σε drive tests μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο, όπου υπολογίζουμε τον αριθμό των PRB's. Στο σχήμα 3.36 βλέπουμε μία τέτοια αντιστοίχιση μεταξύ  $n_{PRB}$  και SINR.

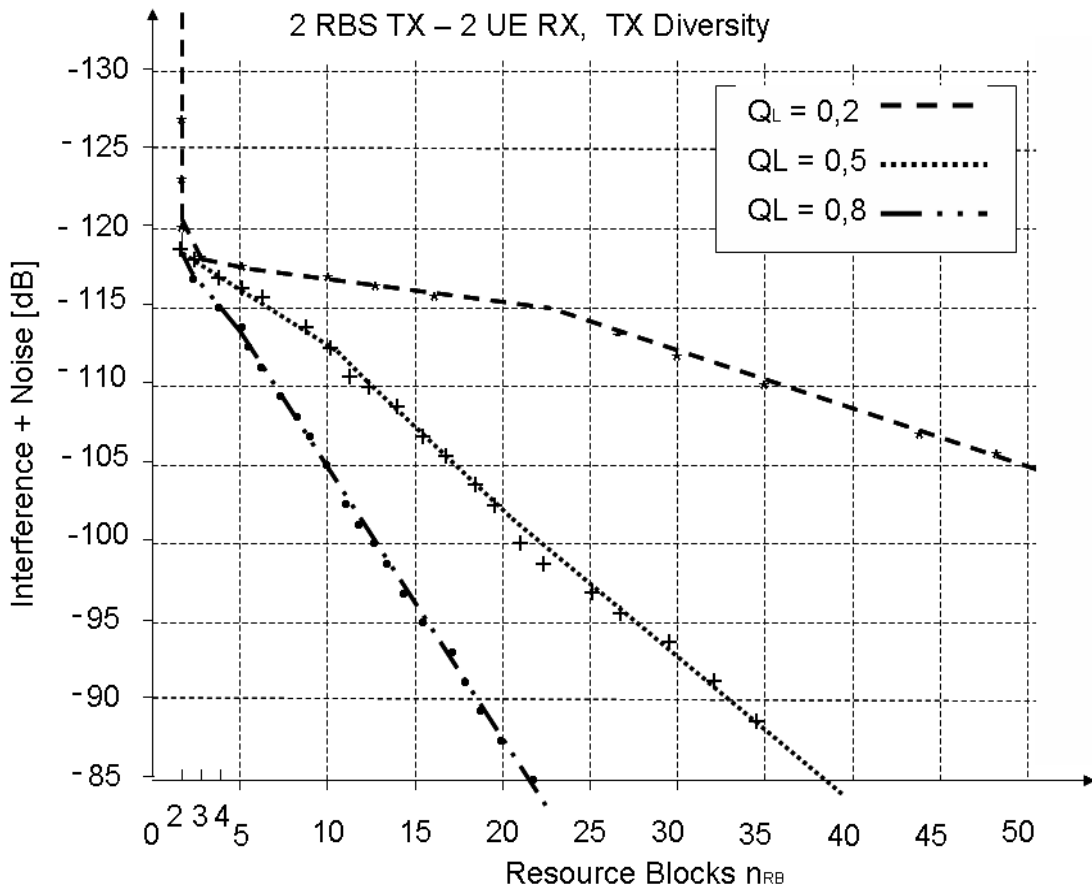
Επομένως ο αναμενόμενος αριθμός  $n_{PRB}$  φυσικών πόρων οι οποίοι θα διατεθούν από τον scheduler για τον χρήστη στο άκρο του κυττάρου εκτιμάται ως:

- $Q_L = 0,2$  θα έχουμε  $(N+I) = -115$  dB  $\rightarrow n_{PRB} = 20$  PRB
- $Q_L = 0,5$  θα έχουμε  $(N+I) = -112$  dB  $\rightarrow n_{PRB} = 10$  PRB
- $Q_L = 0,8$  θα έχουμε  $(N+I) = -110$  dB  $\rightarrow n_{PRB} = 7$  PRB

Εν συνεχεία μπορούμε να εκτιμήσουμε την διαμόρφωση (Modulation & Coding Scheme MCS) που θα χρησιμοποιηθεί από το σχήμα 3.4:

- φορτίο  $Q_L = 0,2 \rightarrow CQI = 10 \rightarrow MCS = 64QAM$

- φορτίο  $Q_L = 0,5 \rightarrow CQI = 7 \rightarrow MCS = 16QAM$
- φορτίο  $Q_L = 0,8 \rightarrow CQI = 5 \rightarrow MCS = QPSK$



Σχήμα 3.36  $n_{PRB}$  vs SINR for different load conditions.

Από το σχήμα 3.7 βλέπουμε ότι η επιλογή του εκάστοτε MCS αντιστοιχεί σε ένα εύρος τιμών  $I_{MCS}$  και  $I_{TBS}$ . Σε αυτό το σημείο πλέον δεν μπορούμε να κάνουμε καμία πραγματική εκτίμηση διότι η επιλογή του  $I_{TBS}$  εξαρτάται κυρίως από τον όγκο των δεδομένων που θα μεταφερθούν και από την υπηρεσία του χρήστη. Το μόνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να δώσουμε εκτιμήσεις ελάχιστης και μέγιστης ρυθμαπόδοσης. Πράγματι:

- φορτίο  $Q_L = 0,2 \rightarrow CQI = 10 \rightarrow MCS = 64QAM \rightarrow I_{TBS} \in [15-26]$
- φορτίο  $Q_L = 0,5 \rightarrow CQI = 7 \rightarrow MCS = 16QAM \rightarrow I_{TBS} \in [9-15]$
- φορτίο  $Q_L = 0,8 \rightarrow CQI = 5 \rightarrow MCS = QPSK \rightarrow I_{TBS} \in [0-9]$

Τέλος από το σχήμα 3.37 παρουσιάζεται το μέγεθος του πακέτου βάσει  $n_{PRB}$  και  $I_{TBS}$  για την περίπτωση φορτίου 20%. Οι υπόλοιπες δύο περιπτώσεις αναφέρονται στο σχήμα 3.27

$I_{TBS}$	$N_{PRB}$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	288	328	344	376	392	424	456	488	504	536
1	376	424	456	488	520	568	600	632	680	712
2	472	520	568	616	648	696	744	776	840	872
3	616	680	744	808	872	904	968	1032	1096	1160
4	776	840	904	1000	1064	1128	1192	1288	1352	1416
5	968	1032	1128	1224	1320	1384	1480	1544	1672	1736
6	1128	1224	1352	1480	1544	1672	1736	1864	1992	2088
7	1320	1480	1608	1672	1800	1928	2088	2216	2344	2472
8	1544	1672	1800	1928	2088	2216	2344	2536	2664	2792
9	1736	1864	2024	2216	2344	2536	2664	2856	2984	3112
10	1928	2088	2280	2472	2664	2792	2984	3112	3368	3496
11	2216	2408	2600	2792	2984	3240	3496	3624	3880	4008
12	2472	2728	2984	3240	3368	3624	3880	4136	4392	4584
13	2856	3112	3368	3624	3880	4136	4392	4584	4968	5160
14	3112	3496	3752	4008	4264	4584	4968	5160	5544	5736
15	3368	3624	4008	4264	4584	4968	5160	5544	5736	6200
16	3624	3880	4264	4584	4968	5160	5544	5992	6200	6456
17	4008	4392	4776	5160	5352	5736	6200	6456	6712	7224
18	4392	4776	5160	5544	5992	6200	6712	7224	7480	7992
19	4776	5160	5544	5992	6456	6968	7224	7736	8248	8504
20	5160	5544	5992	6456	6968	7480	7992	8248	8760	9144
21	5544	5992	6456	6968	7480	7992	8504	9144	9528	9912
22	5992	6456	6968	7480	7992	8504	9144	9528	10296	10680
23	6200	6968	7480	7992	8504	9144	9912	10296	11064	11448
24	6712	7224	7992	8504	9144	9912	10296	11064	11448	12216
25	6968	7480	8248	8760	9528	10296	10680	11448	12216	12576
26	8248	8760	9528	10296	11064	11832	12576	13536	14112	14688

Σχήμα 3.37 Παράδειγμα Κωδικοποίησης MAC πακέτου πριν την μετάδοση

- φορτίο  $Q_L = 0,2 \rightarrow n_{PRB} = 20 \rightarrow I_{TBS} \in [15-26] \rightarrow TBS \in [6200 \text{ έως } 14688] \text{ bits}$
- φορτίο  $Q_L = 0,5 \rightarrow n_{PRB} = 10 \rightarrow I_{TBS} \in [9-15] \rightarrow TBS \in [1544 \text{ έως } 3112] \text{ bits}$
- φορτίο  $Q_L = 0,8 \rightarrow n_{PRB} = 7 \rightarrow I_{TBS} \in [0-9] \rightarrow TBS \in [176 \text{ έως } 1096] \text{ bits}$

Εάν ο συνδρομητής παίρνει ράδιο-πόρους κάθε ένα subframe η μετάδοση λαμβάνει χώρα κάθε ένα subframe 1ms και οι ρυθμοί μετάδοσης θα είναι αντιστοίχως:

- φορτίο  $Q_L = 0,2 \rightarrow n_{PRB} = 20 \rightarrow R = 6,2 \text{ Mbps έως } 14,688 \text{ Mbps}$
- φορτίο  $Q_L = 0,5 \rightarrow n_{PRB} = 10 \rightarrow R = 1,544 \text{ Mbps έως } 3,112 \text{ Mbps}$
- φορτίο  $Q_L = 0,8 \rightarrow n_{PRB} = 7 \rightarrow R = 176 \text{ kbps έως } 1,096 \text{ kbps}$

### **3.3.6 Εφαρμογή – εκτίμηση ελαχίστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο uplink. Η περίπτωση του uplink cell edge user.**

Σε αυτό το στάδιο θα βασιστούμε σε πραγματικές μετρήσεις δικτύου και εξαγόμενες καμπύλες και θα εφαρμόσουμε την θεωρία των προηγούμενων παραγράφων μαζί με κάποια μαθηματικά μοντέλα από εργασίες σε διεθνή συνέδρια και περιοδικά ώστε να υπολογίσουμε το ελάχιστο uplink throughput. Θα χρησιμοποιήσουμε ενδεικτικές εργασίες χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ή ότι δεν θα υπάρξουν μελλοντικά καλλίτερες και ακριβέστερες εργασίες. Εντούτοις αυτό που έχει σημασία είναι να γίνει αντιληπτή και κατανοητή η μεθοδολογία και όχι τόσο τα αποτελέσματα των εργασιών, τα οποία εκ των πραγμάτων υπόκειται μονίμως σε βελτιώσεις και αναιρέσεις!!!

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε είναι η ακόλουθη:

- 1. Ο σχεδιαστής του δικτύου επιλέγει ένα μέγεθος κυτταρικής κάλυψης βάσει των απαιτήσεων του πελάτη και υπολογίζεται η απώλεια (pathloss) στην περίπτωση ενός χρήστη στα άκρα του κυττάρου.**

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης απόσβεσης θα χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο pathloss το οποίο προτείνεται στην διεθνή βιβλιογραφία στην συχνότητα των 2.6 GHz για LTE [5]:

$$L[dB] = \begin{cases} 39+20\log_{10} d[m] , & 10m < d \leq 45m \\ -39+67\log_{10} d[m] , & d > 45m \end{cases} \quad (3.15)$$

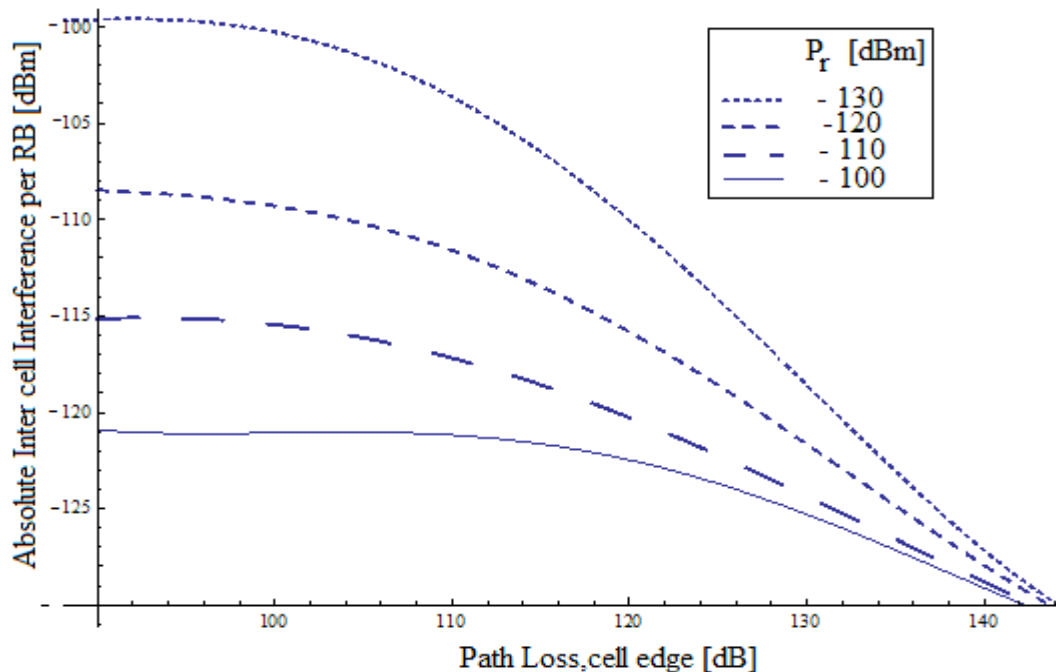
- 2. Υπολογίζεται η στάθμη θορύβου ανά PRB.**

Ο θόρυβος ανά PRB θεωρείται ο θόρυβος υποβάθρου ο οποίος εξαρτάται από την θερμοκρασία και το φάσμα λήψης. Επομένως θεωρώντας την Thermal Noise Power Density in dB/Hz, υπολογίζουμε από την σταθερά του Boltzmann  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$  και την απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin  $T = 290^{\circ}K$  τον θόρυβο να είναι -174 dB/Hz και για φάσμα λήψης 180 kHz υπολογίζεται -111.44 dB, [9]. Αυτή η στάθμη είναι η εναρκτήρια στάθμη θορύβου για τον υπολογισμό της ευαισθησίας του δέκτη

- 3. Υπολογίζουμε την μέγιστη αναμενόμενη παρεμβολή ανά PRB.**

Θεωρώντας ότι ο συνδρομητής στα άκρα του κυττάρου θα χρησιμοποιήσει την μέγιστη ισχύ εκπομπής της φορητής μονάδας ώστε να συνδεθεί στο uplink υπολογίζουμε την μέγιστη αναμενόμενη παρεμβολή. Η αναμενόμενη παρεμβολή θα είναι inter-cell interference από όλα τα γειτονικά κύτταρα στα οποία χρήστες εκπέμπουν στα ίδια PRB την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει διότι οι MAC schedulers των γειτονικών eNodeB's δεν συγχρονίζονται μεταξύ τους και έτσι η απόδοση ράδιο- πόρων δεν συντονίζεται. Υπάρχει βέβαια ένα radio feature το οποίο προϋποθέτει έναν κεντρικό συντονισμό της απόδοσης των ράδιο-πόρων από μία κεντρική μονάδα scheduler. Αυτή η radio feature ονομάζεται (Inter-cell Interference Cancellation, ICIC) αλλά εμείς σε αυτήν την ανάλυση θα θεωρήσουμε ότι δεν χρησιμοποιείται. Για να δημιουργήσουμε ακριβή μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού της Inter-Cell Interference θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν πολλές

παραμέτρους οι οποίες συνήθως δεν είναι εκ των προτέρων γνωστές, επομένως τέτοια μοντέλα δεν είναι ακριβή. Εν τούτοις ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να βρει ο αναγνώστης στην αναφορά [10]. Σε αυτήν την εργασία θα χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις (drive tests) από πραγματικό δίκτυο, στις οποίες αποτυπώσαμε αναλυτικά την στάθμη παρεμβολής ανά PRB συναρτήσει της απώλειας ράδιο-ζεύξης για διαφορετικές τιμές ισχύος λήψης στο uplink, σχήμα 3.38.



Σχήμα 3.38 Παράδειγμα Κωδικοποίησης MAC πακέτου πριν την μετάδοση

Η μαθηματική αναπαράσταση των καμπύλων προκύπτει ύστερα από curve fitting με πολυωνυμικές δυνάμεις.

$$I[\text{dBm}] = \begin{cases} -480.631 + 9.850L_p - 0.08L_p^2 + 0.0002L_p^3 \\ -292.047 + 4.683L_p - 0.0372L_p^2 + 0.000087L_p^3 \\ -264.84 + 3.832L_p - 0.03L_p^2 + 0.000073L_p^3 \\ -142.8 + 0.2315L_p + 0.002L_p^2 - 0.00002L_p^3 \end{cases} \quad (3.16)$$

#### 4. Εκτιμάται ο λόγος SINR = γ στα άκρα του κυττάρου

Θα πρέπει να επιλεγεί μία τιμή SINR target  $\gamma_{0,target}$  η οποία να είναι μεγαλύτερη από την ευαισθησία του δέκτη. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούμε σε μία παράμετρο του σχεδιασμού η οποία ονομάζεται Ευαισθησία Δέκτη (receiver Sensitivity). Αυτή η παράμετρος υποδηλώνει την ελάχιστη στάθμη λήψης στον δέκτη της συσκευής (στο uplink είναι η κεραία του σταθμού βάσης) ώστε να μπορέσει ο δέκτης να αποκωδικοποιήσει

σωστά (λάθη λιγότερα από μία στάθμη κατωφλίου BER) τα δεδομένα λήψης. Αυτή η ευαισθησία Δέκτη είναι το οριακό σημείο (κατώφλι) το οποίο υπολογίζεται αν λάβουμε υπόψιν την στάθμη θορύβου, την παρεμβολή, τον θόρυβο των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (Noise Figure) και ορίζεται από τον τύπο:

$$S_{eNodeB} [dB] = N_{TPDF} + N_{figure}^{eNodeB} + RB_{BW} + \gamma_{0,target} = -104,5 + \gamma_{0,target} \quad (3.17)$$

όπου  $N_{TPDF}$  είναι η πυκνότητα ισχύος θορύβου (thermal noise power density) ίση με -174 dB/Hz,  $N_{figure}^{eNodeB}$  είναι η αναμενόμενη αύξηση της στάθμης θορύβου λόγω των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (quantum noise, shot noise etc) ή αλλιώς Noise Figure στο eNodeB (2 dB στο uplink) [13], και  $RB_{BW}$  είναι το εύρος φάσματος ενός PRB 180kHz .

Από την εξίσωση (3.15) έχουμε υπολογίσει την αναμενόμενη απώλεια ισχύος λόγω απόστασης. Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της απώλειας ισχύος είναι η χρήση των planning margins (περιθώρια διακύμανσης τιμών σχεδιασμού) τα οποία ισχύουν και υπολογίζονται επιπλέον λόγω στατιστικών και πιθανοκρατικών διακυμάνσεων στις αναμενόμενες τιμές. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στα φαινόμενα σκίασης (Log-Normal Fading) τα οποία λαμβάνουν χώρα λόγω των απωλειών μετάδοσης μέσω εμποδίων, κτιρίων κτλπ., στις απώλειες λόγω μετάδοσης μέσω του ανθρώπινου εγκεφάλου και ίσως και άλλες απώλειες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας σχεδιαστής δικτύου κατά περίπτωση. Έχουμε λοιπόν εναλλακτικά τον ορισμό των απωλειών διαδρομής:

$$L_{target} [dB] = P_{T,s}^{UE, RB} - S_{eNodeB} - M_{LNF} - L_{BL}$$

$$\gamma_{0,target} = 144.45 - L_{target} - M_{LNF} - L_{BL} \quad (3.18)$$

Και αντικαθιστώντας στην σχέση (3.18) την σχέση (3.15) θα προκύψει:

$$\gamma_{0,target} = 144.45 - \begin{cases} 39+20\log_{10} d[m], & 10m < d \leq 45m \\ -39+67\log_{10} d[m], & d > 45m \end{cases} - M_{LNF} - L_{BL} \quad (3.19)$$

όπου  $M_{LNF}$  είναι η τιμή του περιθωρίου διακύμανσης της σκίασης (log-normal fading margin) η οποία υπολογίζεται από τον τύπο του Jakes για 95% κάλυψη στα άκρα του κυττάρου ίση με 6 dB για κέντρο πόλης. Επίσης  $L_{BL}$  είναι οι απώλειες σώματος κατά την επικοινωνία ίση με 2 dB για τερματικές φορητές συσκευές χειρός for handset.

##### 5. Εκτιμάται ο αριθμός των αποδιδόμενων PRB, $n_{PRB}$ , από τον Scheduler

Βάσει της υπολογισθείσης τιμής της SINR target  $\gamma_{0,target}$  στα άκρα του κυττάρου (3.19) ο αριθμός των αποδιδόμενων ραδιο-πόρων PRB εκτιμάται ως:

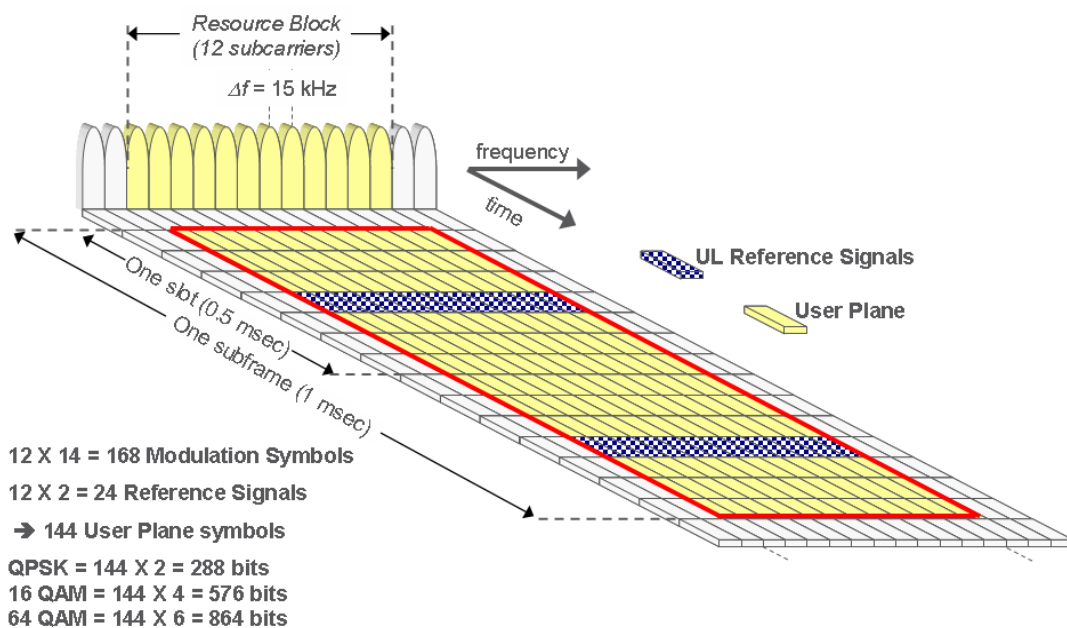
$$\gamma_{0,target} = \frac{P_{UE, RB}}{\text{noise+interference}} = \frac{P_{UE} / L_{target} \cdot n_{RB}}{N_{RB} + I_{RB}}$$

$$n_{RB}[dB] = P_{UE} - L_{path} - N_{RB} + I_{RB} - \gamma_{0,target} \quad (3.20)$$

Να σημειώσουμε για τον αναγνώστη ότι αυτός ο τρόπος υπολογισμού δεν είναι και απόλυτα ακριβής εφόσον για την εκτίμηση των PRB's λαμβάνουμε υπόψιν μόνο το SINR ή το CQI και όχι το φορτίο στο κύτταρο, τις προτεραιότητες κτλπ. Επίσης αυτός ο τρόπος υπολογισμού δεν είναι και ο πλέον ενδεδειγμένος (υπάρχει η επίσημη κατά 3GPP διαδικασία για την απόφαση TBS και MCS), εντούτοις δίδει κατά μέσο όρο καλά αποτελέσματα, χρήσιμα για μία πρώτη εκτίμηση, ειδικά σε operators όπου δεν έχουν επίσημο λογισμικό προσομοίωσης του MAC scheduler!!!!

### 6. Εκτιμάται ο αριθμός των απεσταλμένων bits ανά PRB για τον χρήστη στα άκρα του κυττάρου

Ο αριθμός των bits τα οποία θα σταλούν σε ένα εκ των PRB's υπολογίζεται και πάλι από τις βασικές αρχές της διεπαφής αέρα του δικτύου LTE. Πράγματι για χρήστες στα άκρα του κυττάρου θα έχουμε διαμόρφωση QPSK και Tx diversity. Ο αριθμός των RE σε ένα Scheduled Block θα είναι 288 bits/1ms με μέσο ρυθμό μετάδοσης  $R = 288$  kbps, σχήμα 3.39.



Σχήμα 3.39 Αριθμός RE's σε ένα Scheduled Block για PUSCH κανάλι μετάδοσης.

### 3.3.7 Εφαρμογή – εκτίμηση καθυστέρησης (Round trip time ή delay) μετάδοσης δεδομένων στο uplink. Η περίπτωση του uplink cell edge user.

Σε αυτό το στάδιο θα βασιστούμε σε πραγματικές μετρήσεις δικτύου και εξαχθείσες καμπύλες και θα εφαρμόσουμε την θεωρία των προηγούμενων παραγράφων μαζί με κάποια μαθηματικά μοντέλα από εργασίες σε διεθνή συνέδρια και περιοδικά ώστε να υπολογίσουμε το ελάχιστο uplink throughput.

Ο MAC scheduler είναι υπεύθυνος για την δυναμική απόδοση των ράδιο-πόρων σε πολλαπλούς ταυτόχρονα συνδεδεμένους χρήστες βασισμένος σε μετρήσεις του  $\gamma_{RB}$  ανά PRB, στην ποιότητα της υπηρεσίας (QCI) συμπεριλαμβάνοντας την προτεραιότητα της υπηρεσίας Priority [14] και στο φορτίο  $Q_L = \%$  χρησιμοποιούμενα PRB. Μία από τις παράμετρους οι οποίες και μεταδίδονται από το δίκτυο κορμού προς το ράδιο δίκτυο, σχετικά με την ποιότητα υπηρεσιών QoS, κατά την διάρκεια της εγκαθίδρυσης μία υπηρεσίας (EPS Bearer setup) είναι και η καθυστέρηση μετάδοσης της πληροφορίας ή αλλιώς Packet Delay Budget. Ειδικά για το ράδιο δίκτυο έχουμε τον ακόλουθο πίνακα στο σχήμα 3.40 [14]:

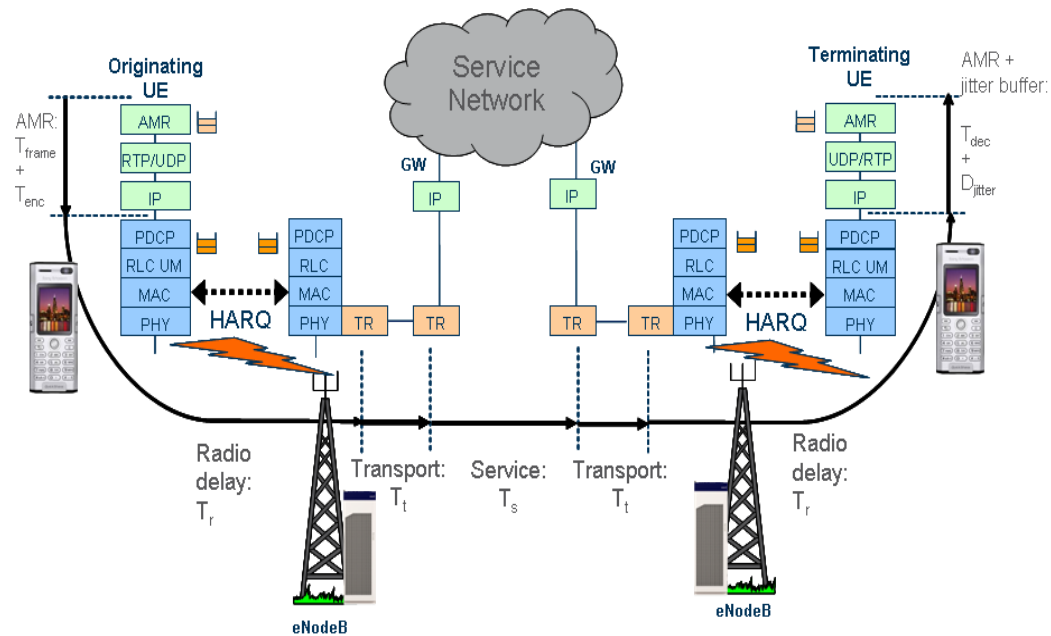
QCI	Resource Type	Priority	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100 ms	$10^{-2}$	Conversational Voice
2		4	150 ms	$10^{-3}$	Conversational Video (Live Streaming)
3		3	50 ms	$10^{-3}$	Real Time Gaming
4		5	300 ms	$10^{-6}$	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms	$10^{-6}$	IMS Signalling
6		6	300 ms	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming), TCP-based (.www, ftp, e-mail, chat, p2p file sharing, progressive video, etc.)
7		7	100 ms	$10^{-3}$	Voice, Video (Live Streaming) Interactive Gaming
8		300 ms	8	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming), TCP-based (.www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9			9		

Σχήμα 3.40. 3GPP standardized QCI attributes.

Στην καθυστέρηση αυτή αναμένεται να έχει την μέγιστη συνεισφορά το ράδιο-κανάλι το οποίο και θα εισαγάγει επανεκπομπές (retransmissions) λόγω της λειτουργίας του HARQ στο MAC επίπεδο και του ARQ συμπληρωματικά στο RLC επίπεδο. Η καθυστέρηση αυτή αναμένεται να παρουσιάζει το μέγιστο αντίκτυπο στο uplink καθόσον το uplink συνήθως είναι και το περισσότερο προβληματικό link σε μία ζεύξη κινητής τηλεφωνίας με outdoor ράδιο-κάλυψη. Στο σχήμα 3.41 παρουσιάζουμε μία ανάλυση delay budget βασισμένη στην αρχιτεκτονική του δικτύου LTE. Η καθυστέρηση στην μετάδοση της πληροφορίας ξεκινάει από την συσκευή του χρήστη στην οποία η υπηρεσία δημιουργεί IP πακέτα πληροφορίας τα οποία πρέπει εν συνεχεία να μετατραπούν σε PDCP, RLC & MAC πακέτα προς μετάδοση στον αέρα. Σε αυτό το σημείο έχουμε λοιπόν καθυστερήσεις οφειλόμενες στον επεξεργαστή της συσκευής και στην αποθήκευση δεδομένων (data buffering). Η αποθήκευση αυτή λαμβάνει χώρα διότι η υπηρεσία παράγει μία συνεχή ροή πακέτων IP και ο scheduler δεν αποδίδει ράδιο-πόρους κάθε ένα subframe 1 ms στην υπηρεσία. Εν συνεχεία αυτά τα πακέτα θα εκπεμφθούν στον αέρα ως MAC TBS και λόγω HARQ θα υποστούν με κάποια πιθανότητα επανεκπομπές λόγω σφαλμάτων στην ράδιο-ζεύξη (Radio Delay). Η πληροφορία θα ληφθεί από το eNodeB και θα αποσταλεί ως TCP/IP Ethernet πακέτα στο LAN που συνδέει το eNodeB στο δίκτυο κορμού (SGW, PGW). Σε αυτό το σημείο



ο Scheduler του Ethernet δικτύου θα καθυστερήσει κάποια πακέτα λόγω priority scheduling ως transport delay. Εν συνεχεία τα πακέτα θα ακολουθήσουν τον δρόμο τους μέσω του LAN/WAN που διασυνδέει το δίκτυο LTE σε άλλο δίκτυο ή σε άλλο domain του δικτύου (service delay) και θα ακολουθηθεί η αντίστροφη πορεία έως ότου ληφθούν τα πακέτα από τον άλλο χρήστη ή τον server της υπηρεσίας.



Σχήμα 3.41. Delay budget analysis.

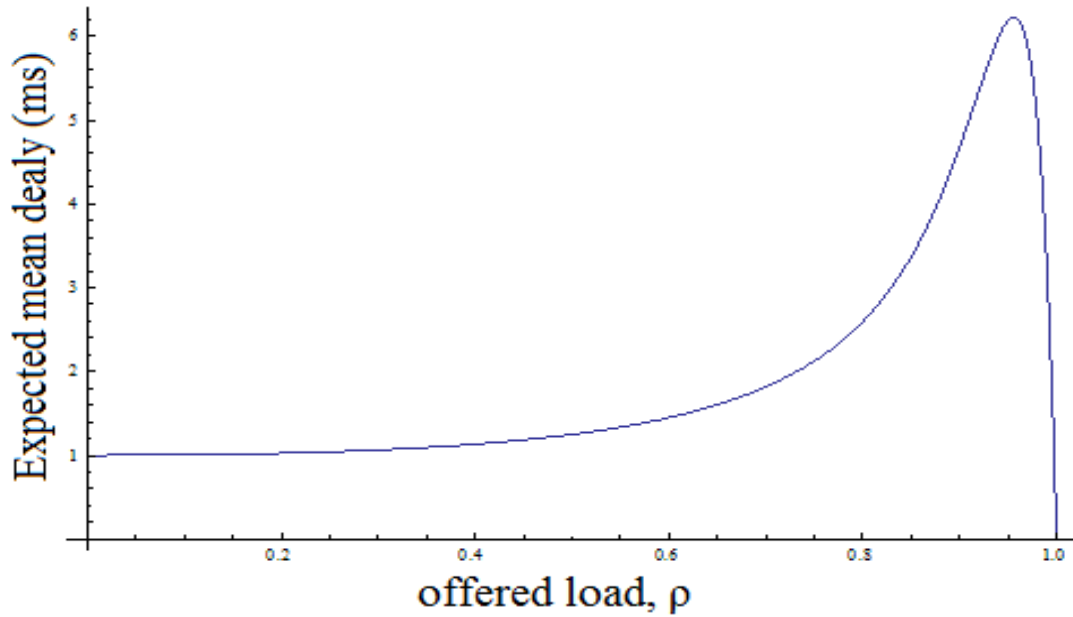
Από όλες αυτές τις καθυστερήσεις μόνον η radio delay (eNodeB to UE) και η transport delay (eNodeB to SGW) μπορούν να ελεγχθούν και να ελαχιστοποιηθούν από τον σχεδιαστή του δικτύου. Ειδικά για την buffering delay μπορούμε εν μέρει να την υπολογίσουμε εφόσον μοντελοποιήσουμε την διαδικασία με θεωρία ουρών και λάβουμε υπόψιν μας τις καθυστερήσεις λόγω MAC scheduling delay. Αυτές οι καθυστερήσεις λόγω buffering μπορούν να χωριστούν σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση έχουμε buffering των IP πακέτων στον πομπό κατά την αναμονή τους να καταμηθούν (segmentation) και να γίνουν RLC/MSC PDUs πακέτα προς μετάδοση στον OFDM πλαίσιο χρόνου – φάσματος. Εν συνεχεία η επόμενη φάση περιλαμβάνει την καθυστέρηση του scheduler.

### 1. Ανάλυση Καθυστέρησης IP buffering

Ακολουθώντας μία μαθηματικά ανάλυση, η οποία παρουσιάζεται στην εργασία [15], εισάγοντας θεωρία ουρών μπορούμε να εκτιμήσουμε αυτήν την καθυστέρηση ως ακολούθως:

$$\bar{W} = \sum_{n=1}^{\infty} n \pi_n = \sum_{n=1}^{\infty} n \left[ 1 - \rho \sum_{k=1}^n \left\{ -1^{n-k} e^{k\rho} \left[ \frac{k\rho^{n-k}}{n-k!} \right] \right\} \right] + \sum_{n=1}^{\infty} n \left[ 1 - \rho \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq n}}^n \left\{ -1^{n-k} e^{k\rho} \left[ \frac{k\rho^{n-k-1}}{n-k-1!} \right] \right\} \right] \quad (3.20)$$

Και στο σχήμα 3.42 παρουσιάζουμε γραφικά το αποτέλεσμα της αναμενόμενης μέσης καθυστέρησης συναρτήσει του προσφερομένου φορτίου  $\rho = \lambda/\mu$  :



## 2. Ανάλυση Καθυστέρησης MAC scheduler.

Ακολουθώντας την μαθηματική ανάλυση της εργασίας [5] εκτιμούμε ότι ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου IP μεγέθους  $M_I$  bits μέσω των RLC/MAC πρωτοκόλλων μεγέθους TBS bits με overhead  $M_{over}$  bits δίδεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$W_{Mac} = \frac{M_I + \lceil M_I/TBS \rceil \cdot M_{over}}{n_{AP} \cdot TBS} T_S + mT_S + nT_S \quad (3.21)$$

Όπου  $n_{T_S}$  είναι ο αριθμός των μεταδιδόμενων bits ανά PRB (εξαρτάται από την μονάδα Link Adaptation και την επιλογή του  $I_{TBS}$ ,  $I_{MCS}$  και  $n_{RB}$ ). Η παράμετρος  $n_{RB}$  είναι ο μέσος αποδιδόμενος αριθμός PRB ανά subframe 1ms ο οποίος και εξαρτάται από τον MAC Scheduler. Η παράμετρος  $n_{AP}$  προσδιορίζει τον αριθμό των κεραιών στην επικοινωνία. Εν τέλει η παράμετρος  $n$  προσδιορίζει τον μέσο αριθμό των 1ms subframes όπου η υπηρεσία δεν είναι scheduled και η παράμετρος  $m$  τον μέσο αριθμό των αναμεταδόσεων ενός MAC πακέτου μεγέθους TBS bits λόγω ποιότητας ράδιο-καναλιού. Ακολουθούμε τα κάτωθι βήματα ώστε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους:

- **Υπολογισμός  $n_{RB}$  και  $n_{T_S}$  ανά subframe 1ms.**

Στην παράγραφο 3.3.6 υπολογίσαμε με μία προτεινόμενη μέθοδο τον μέσο αριθμό των αποδιδόμενων PRB,  $n_{RB}$ , ανά subframe 1ms και τον αριθμό  $n_{T_S}$  των μεταδιδόμενων bits ανά PRB. Ο αναγνώστης μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε άλλη μέθοδο, δεν έχει τόσο σημασία η μέθοδος σε αυτό το σημείο όσο η μεθοδολογία. Σε αυτό το σημείο προτείνουμε και μία άλλη μέθοδο ανάλυσης την οποία παραθέτουμε σε διακριτά βήματα:

**Βήμα 1: Καθορίζει ο σχεδιαστής του δικτύου τον ρυθμό μετάδοσης που επιθυμεί να πετύχει στα άκρα του κυττάρου (Target Throughput  $T_{target}$ ).**

Ο προσδιορισμός της επιθυμητής ρυθμαπόδοσης συνήθως αποφασίζεται από τον πελάτη. Θέτοντας το όριο αυτό προσδιορίζει την υπηρεσία που επιθυμεί να έχει ένας χρήστης στην χειρότερη περίπτωση. Με αυτόν τον τρόπο θα προσδιορίσει σαφώς τον συνδυασμό MCS και άρα TBS και επομένως τον αριθμό των PRB's και την απόσταση του κυττάρου. Ας δώσουμε ένα τέτοιο παράδειγμα στο UL,  $T_{target} = 500$  kbps.

**Βήμα 2: Προσδιορισμός του αναμενόμενου BLER %.**

Ο προσδιορισμός του επιθυμητού BLER% παρουσιάζει την αναμενόμενη ποιότητα υπηρεσίας στο επίπεδο του MAC scheduler λόγω του HARQ. Μία βολική τιμή είναι BLER % = 10% = 0,1 =  $10^{-1}$ .

**Βήμα 3: Προσδιορισμός του αναμενόμενου συνδυασμού  $I_{MCS}$  Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης (MCS) στα άκρα του κυττάρου.**

Ο σχεδιαστής του δικτύου αποφασίζει ποιος θα είναι ο  $I_{MCS}$  στην χειρότερη περίπτωση. Αυτό θα δεσμεύσει επί της ουσίας τις επιλογές της μονάδας Link Adaptation και θα έχει άμεση επίπτωση στην απόφαση του scheduler για τον αριθμό των PRB's. Ένα παράδειγμα είναι η επιλογή από το σχήμα 3.7 του παρόντος κεφαλαίου  $I_{MCS} = 3 \rightarrow$  Modulation Order = QPSK  $\rightarrow I_{TBS} = 3$ .

**Βήμα 4: Προσδιορισμός του μέσου αριθμού αποδιδόμενων PRB,  $n_{RB}$ , ανά subframe 1ms και του αριθμού  $n_{TS}$  των μεταδιδόμενων bits ανά PRB.**

Θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα 3.27 όπου έχουμε την περίπτωση των λιγότερων δυνατών PRB's εφόσον σχεδιάζουμε για την χειρότερη περίπτωση. Λαμβάνοντας υπόψιν το βήμα 1 για  $T_{target} = 500$  kbps = 500 bits/1ms και το βήμα 2 για BLER % = 10% προκύπτει ότι ο αναμενόμενος ρυθμός μετάδοσης θα πρέπει να αναμένεται να αυξηθεί στο  $R = 500$  kbps / (100% - 10%) = 555,5 kbps = 555,5 bits/1ms εάν λάβουμε υπόψιν τις αναμεταδόσεις λόγω HARQ. Επομένως από το σχήμα 3.27 προκύπτει ότι με  $n_{RB} = 9$  η μονάδα Link Adaptation θα αποδώσει  $R = 504$  bits/1ms ενώ με  $n_{RB} = 10$  η μονάδα Link Adaptation θα αποδώσει  $R = 568$  bits/1ms. Επομένως ο αριθμός των PRB's θα είναι  $n_{RB} = 10$ . Ο σχεδιαστής του δικτύου αποφασίζει ποιος θα είναι ο  $I_{MCS}$  στην χειρότερη περίπτωση. Αυτό θα δεσμεύσει επί της ουσίας τις επιλογές της μονάδας Link Adaptation και θα έχει άμεση επίπτωση στην απόφαση του scheduler για τον αριθμό των PRB's. Ένα παράδειγμα είναι η επιλογή από το σχήμα 3.7 του παρόντος κεφαλαίου  $I_{MCS} = 3 \rightarrow$  Modulation Order = QPSK  $\rightarrow I_{TBS} = 3$ . TBS = 568 bits / 1 ms και ο αριθμός  $n_{TS}$  των μεταδιδόμενων bits ανά PRB είναι  $568/10 = 56,8$  bits/1ms.

**Βήμα 5: Προσδιορισμός της χωρητικότητας και της απόδοσης επιλεχθέντος MCS σχήματος μετάδοσης.**

Σημασία έχει να υπολογίσουμε τις παρακάτω δύο μετρικές:

- Channel Utilization per TTI = αριθμός PRB's ανά TTI του χρήστη / συνολικό διαθέσιμο αριθμό TTI του κυττάρου. Για κύτταρο με εύρος φάσματος 20 MHz θα

έχουμε Channel utilization factor per TTI = 10/100 = 10%. Αυτό προσδιορίζει ότι μέγιστος αριθμός cell edge users θα περιοριστεί στους 10.

- Effective Coding rate στο κανάλι PUSCH ο οποίος και προσδιορίζει το επίπεδο προστασία (channel coding) από τα σφάλματα. Δίδεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$CR = \frac{TBS}{\#RB \cdot \#RE \cdot (1 - overhead) \cdot M_{order}} \quad (3.22)$$

Όπου  $M_{order}$  είναι ο αριθμός των bits/symbol του επιλεγθέντος MCS (2 για QPSK, 4 για 16QAM και 6 για 64QAM), και overhead είναι ο ποσοστιαίος αριθμός των Reference signals, PRACH, PUCCH = 23,37% από 3GPP. Άρα αντικαθιστώντας για #RE per subframe = 168 και TBS = 568 bits/1ms θα έχουμε CR = 0,22. Αυτό σημαίνει ότι από τα 568 bits τα 0,22 x 568 = 124 bits θα είναι κώδικας Turbo και τα υπολοιπόμενα 568 – 124 = 443 bits θα είναι user data.

- **Υπολογισμός του μέσου αριθμού  $n$  μονάδων χρόνου 1ms που στην υπηρεσία (ένα MAC πακέτο) δεν αποδίδονται scheduling decisions από τον MAC scheduler.**

Η εκτίμηση των ακέραιων περιόδων χρόνου  $n$  που στην υπηρεσία (ένα MAC πακέτο) δεν αποδίδονται scheduling decisions από τον MAC scheduler είναι αρκετά δύσκολο εφόσον εξαρτάται από εξειδικευμένο λογισμικό του οποίου δεν γνωρίζουμε λεπτομέρειες λειτουργίας. Ένας ακριβής κατά μέσο όρο και εύκολος τρόπος είναι η χρήση στατιστικών του δικτύου. Πράγματι κάθε vendor έχει ενσωματώσει στο λογισμικό λειτουργίας των δικτυακών κόμβων εξειδικευμένους counters οι οποίοι μετράνε συγκεκριμένα στατιστικά συμβάντα στο δίκτυο. Ακολουθώντας την τεχνολογία Ericsson υπάρχει ο counter **pmSessionTimeUe** ο οποίος και καταγράφει τον μέσο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης υπηρεσίας μίας φορητής συσκευής στο δίκτυο συμπεριλαμβάνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο scheduled και non-scheduled. Εκτελώντας drive tests στο δίκτυο έχουμε για την ώρα αιχμής για έναν χρήστη στα άκρα του κυττάρου μία μέση τιμή χρόνου εξυπηρέτησης για την αποστολή ενός πακέτου, παραδείγματος χάριν για FTP 3 MByte έχουμε **pmSessionTimeUe** = 117 s. Γνωρίζοντας από το προηγούμενο βήμα ότι ο MAC scheduler θα αποδώσει TBS = 568 bits/1ms έχουμε ρυθμό μετάδοσης 568 kbits/sec και επομένως θα έπρεπε το πακέτο, εφόσον και εάν ο scheduler απέδιδε ανελλιπώς σε κάθε subframe το σύνολο  $n_{RB} = 10$  PRB's, να κατέβει στην συσκευή σε χρόνο  $3000 \times 8 \text{ kbits} / 568 \text{ kbps} = 42,25 \text{ sec}$ . Επομένως η αναμενόμενη καθυστέρηση προκύπτει από την διαφορά  $117 \text{ sec} - 42,25 \text{ sec} = 74,75 \text{ sec} = 74750 \text{ ms} = 74750 \text{ subframes}$ . Αυτή η καθυστέρηση προκύπτει από τον χρόνο όπου ο χρήστης δεν έγινε scheduled, από τον μέσο αριθμό αναμεταδόσεων με χρήση HARQ = 4 και από τον συνολικό αριθμό IP πακέτων μεγέθους  $M_i$ , δηλαδή (File size /  $M_i$ ):

$$4 \cdot m + n \cdot \frac{File}{M_i} T_s = 74750 \text{ ms} \Rightarrow m + n \cdot \frac{File}{M_i} = 18687,5$$

- **Υπολογισμός του μέσου αριθμού  $m$  αριθμό των αναμεταδόσεων ενός πακέτου λόγω ράδιο-καναλιού**

Η εκτίμηση του μέσου αριθμού αναμεταδόσεων  $m$  υπολογίζεται από το BLER = 10% που βάλαμε ως στόχο στον σχεδιασμό. Στην χειρότερη περίπτωση στα 100 MAC πακέτα τα 10 θα αναμεταδοθούν, επομένως στα συνολικά  $\lceil \text{FTP MByte} / 568\text{bits} \rceil = \lceil 42,25 \rceil = 43$  MAC πακέτα μετάδοσης θα αναμεταδοθούν τα  $m = \lceil 43 \cdot 0,1 \rceil = \lceil 4,3 \rceil = 5$  MAC πακέτα. Ως παράδειγμα μπορούμε να πούμε ότι στις υπηρεσίες που εξυπηρετούνται από το LTE δίκτυο ο μέσος όρος μεγέθους IP πακέτου είναι περίπου 1500 bytes, εκτός από VoIP, Messaging και on-line gaming όπου είναι μικρότερο. Επομένως για  $M_i = 1500$  bytes προκύπτει ότι

$$\lceil 5+n \rceil \frac{3\text{Mbyte}}{1500} = 18687,5 \Rightarrow \lceil 5+n \rceil = \lceil 9,34 \rceil \Rightarrow n = 5 \text{ subframes non-scheduled.}$$

- **Υπολογισμός της συνολικής καθυστέρησης**

Η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης ενός  $M_i$  πακέτου στο MAC επίπεδο υπολογίζεται ως ακολούθως. Για  $M_i = 1500$  bytes, TBS = 568 bits,  $M_{\text{over}} = 20$  bytes,  $n_{\text{AP}} = 1$  διότι στην χειρότερη περίπτωση έχουμε TX Diversity,  $m = 5$  και  $n = 5$ :

$$W_{\text{Mac}} = \left( \frac{12000 + \lceil 12000/568 \rceil \cdot 160}{568} + 10 \right) \cdot 1\text{ms} = 37.077\text{ms}$$

## Αναφορές

- [1] 3GPP Technical Specification 36.212 Multiplexing and Channel Coding (FDD) - (Release 8).
- [2] 3GPP TS 36.213, 3rd Generation Partnership Project, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Physical Layer Procedures (Release 8), TS 2008.
- [3] Ericsson course "LTE/SAE System Overview", LZT123 8828 R1A
- [4] Ericsson course "LTE Air Interface", LZU1087897
- [5] S. Louvros, A.C. Iossifides, K. Aggelis, A. Baltagiannis, G. Economou, "A Semi-Analytical Macroscopic MAC Layer Model for LTE Uplink", Proc. Of 5<sup>th</sup> IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2012), May 2012.
- [6] [http://www.google.co.in/search?q=LTE+antenna+Kathrein&biw=1280&bih=709&source=lms&tbm=isch&sa=X&ei=gFr6UZPCMYSrAfukYDgBA&ved=0CacQ\\_AUoAQ](http://www.google.co.in/search?q=LTE+antenna+Kathrein&biw=1280&bih=709&source=lms&tbm=isch&sa=X&ei=gFr6UZPCMYSrAfukYDgBA&ved=0CacQ_AUoAQ)
- [7] NTMS 2012 conference
- [8] M. Kawser, N. Hamid, Md. Hasan, M. Alam, M. Rahman "Downlink SINR to COI Mapping for Different Multiple Antenna Techniques in LTE" International Journal of Information and Electronics Engineering 09/2012; 2(5):756-760. DOI:10.7763/IJIEE.2012.V2.201
- [9] S. Louvros, K. Angelis, A. Baltagiannis, "LTE Cell Coverage Planning Algorithm Optimizing User Cell Throughput", Proceedings of 11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Telecommunications (ConTEL 2011), pp. 51-58, June 2011

[10] Abdul Basid, Syed, Dimensioning of LTE Network. Description of Models and Tools, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution, Master Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Helsinki University of Technology, February 20, 2009.

[11] Beniero T., Redana S., Hamalainen J., Raaf B., "Effect on relaying on coverage on 3GPP LTE-advanced" IEEE Vehicular Technology Conference, 2009. (VTC), pp. 1-5, April 26-29 2009.

[12] 3GPP TS 23.203, "Policing and Charging Control Architecture", Rel-11, V11.4.0, 2011

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

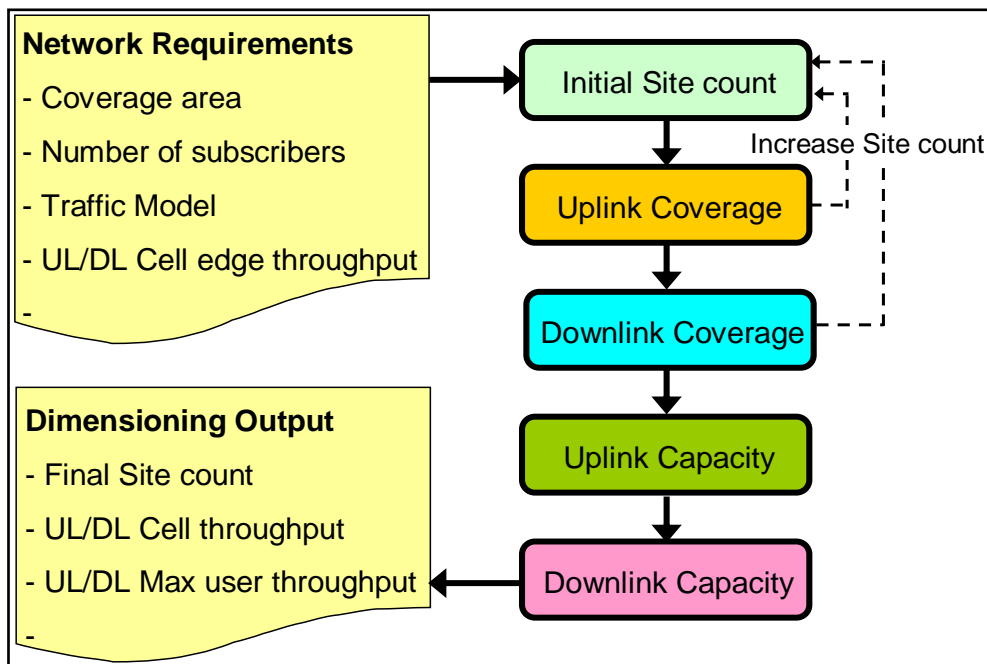


#### **ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: Ανάλυση αλγόριθμου σχεδιασμού ράδιο Δικτύου LTE**

##### ***4.1 Εισαγωγικά Σχόλια – πρακτικός σχεδιασμός Ράδιο Δικτύου LTE***

Ο σχεδιασμός του ράδιο δικτύου LTE μπορεί να παρουσιαστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης και υπό διαφορετικές συνθήκες σχεδιασμού. Η διαφοροποιήσεις έχουν να κάνουν κυρίως με τα σχεδιαστικά εργαλεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, τα θεωρητικά μαθηματικά μοντέλα, τα μοντέλα προσομοίωσης ή τέλος τα ήμι-εμπειρικά (semi-empirical) μοντέλα. Αναφορικά με τα σχεδιαστικά εργαλεία, χρησιμοποιούνται κυρίως από εταιρείες (Ericsson, NOKIA, HUAWAI, κλπ) και από παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας (Cosmote, Vodafone, Wind) και είναι αρκετά ακριβά λογισμικά τα οποία απευθύνονται σε επαγγελματίες. Τέτοια λογισμικά είναι το TEMS cell planner, Comet, Qualcomm, Forsk και πολλά άλλα. Προφανώς σε αυτήν την πτυχιακή εργασία δεν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε κάποιο τέτοιο λογισμικό διότι ο σκοπός μας είναι να προτείνουμε κάποιον αλγόριθμο σχεδιασμού απλό, αρκετά ακριβή και ταυτόχρονα εφικτό από οποιονδήποτε φοιτητή ή μηχανικό κινητής τηλεφωνίας. Στην διεθνή βιβλιογραφία θα βρούμε πολλές αναφορές σε εργασίες οι οποίες προτείνουν μαθηματικά μοντέλα για τον σχεδιασμό, κάτι το οποίο θα αποφύγουμε επίσης καθώς σε πολλές περιπτώσεις δεν προσεγγίζουν την πραγματικότητα αλλά προτείνουν λύσεις περισσότερο βασισμένες σε μαθηματικές δεξιότητες. Μία καλή προσέγγιση θα ήταν ο συνδυασμός πρότασης σχεδιασμού με την χρήση λογισμικού προσομοίωσης και κάποιον απλοϊκό αλγόριθμο. Λογισμικά προσομοίωσης μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο και στην διεθνή βιβλιογραφία (ένα απλό και γρήγορο είναι το λογισμικό MatLab) αλλά το βασικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε στην περίπτωση αυτή είναι ότι ο υπολογισμός της χωρητικότητας και της ρυθμαπόδοσης εξαρτάται κυρίως από τον MAC scheduler [1] και όπως έχουμε προαναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια είναι vendor specific και δεν έχουμε

πληροφορίες σχετικές. Η μόνη λύση θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε λογισμικό προσομοίωσης του κατασκευαστή (Ericsson simulator, NOKIA simulator κλπ) αλλά αυτό δεν είναι εύκολα προσβάσιμο. Η πτυχιακή αυτή εστιάζεται σε ένα ημί-εμπειρικό μοντέλο ανάλυσης το οποίο βασίζεται σε αληθινές μετρήσεις και σε παραδοχές βασισμένες στα διεθνή πρότυπα της 3GPP (3GPP standards). Η συγγραφέας θεωρεί ότι, εφόσον ο scheduler κάθε παρόχου εξοπλισμού (vendor) αποτελεί μυστικό το οποίο δεν κοινοποιείται, ο σωστότερος τρόπος αξιολόγησης και αποτύπωσης της λειτουργίας του σε διαφορετικές συνθήκες φορτίου και παρεμβολών είναι η εκτέλεση πραγματικών μετρήσεων πεδίου (real drive tests). Θεωρούμε τον scheduler ως ένα μέλαν δοχείο (black box) του οποίου μόνο τις εισόδους (inputs) και εξόδους (outputs) μπορούμε να χειριστούμε και να ελέγξουμε. Επομένως θα αποτυπώσουμε σε όλη την διαδικασία της μελέτης διάφορες καμπύλες εξαχθείσες από τις πραγματικές μετρήσεις μας σε έναν MAC scheduler τεχνολογίας Ericsson eNodeB RBS 6000. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό TEMS investigator και TEMS cell planner, το οποίο δόθηκε προς χρήση περιστασιακά στον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Λούβρο Σπυρίδων από τον κ. Κωστόπουλο Παναγιώτη, CEO της εταιρείας βελτιστοποίησης και μετρήσεων δικτύου Teledrom AB στην Σουηδία, τον οποίο θα ήθελε η συγγραφέας να ευχαριστήσει από το βήμα της παρούσης συγγραφής. Το μοντέλο αυτό θεωρείται ήμι-εμπειρικό διότι εμπλέκει πραγματικές μετρήσεις δικτύου και εξαχθείσες καμπύλες-διαγράμματα με θεωρητικές προσεγγίσεις και εκτιμήσεις μαθηματικών τύπων και τεχνικών προδιαγραφών της 3GPP (3GPP specs).



Σχήμα 4.1 Διαδικασία σχεδιασμού ράδιο κάλυψης δικτύου LTE

Η διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου ακολουθεί κάποια βήματα βάσει απαιτήσεων και περιορισμών που θέτουν κυρίως οι πελάτες (στην περίπτωση μας ο πάροχος υπηρεσίας ο οποίος και ζητεί τον σχεδιασμό). Συνοψίζοντας στο σχήμα 4.1 οι βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού ενός δικτύου είναι ο προσδιορισμός της αρχικής περιοχής κάλυψης, η εκτίμηση του αριθμού των συνδρομητών οι οποίοι θα καλύπτονται γεωγραφικά και το ποσοστό τους το οποίο στην ώρα αιχμής θα ζητήσει υπηρεσία από το κύτταρο, το μοντέλο υπολογισμού



των απωλειών του καναλιού επικοινωνίας (radio pathloss model) καθώς και η απαιτούμενη από τον πελάτη ελάχιστη και μέγιστη ρυθμαπόδοση. Η ελάχιστη ρυθμαπόδοση χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της έκτασης της ράδιο κάλυψης του κυττάρου (cell range), η δε μέγιστη στον απαιτούμενο αριθμό ράδιο πόρων (Physical Resource Blocks – PRB) και στο επίπεδο παρεμβολής (SINR) ώστε το κύτταρο την ώρα αιχμής να μπορεί να την προσφέρει στο σύνολο των συνδεδεμένων συνδρομητών. Η ανάλυση μας θα ακολουθήσει ξεχωριστές φάσεις για το uplink και το downlink με σαφή προτεραιότητα στο uplink [2], εφόσον θεωρούμε ότι στις πλείστες των περιπτώσεων το uplink είναι η ζεύξη με τα μεγαλύτερα προβλήματα προσβάσεως λόγω uplink/downlink unbalance και power control. Στην παρούσα πτυχιακή μας ενδιαφέρουν κυρίως περιβάλλοντα με κάλυψη outdoor σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις:

- **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1<sup>η</sup>: outdoor to outdoor σε κέντρο πόλης με ανοιχτές περιοχές κάλυψης.** Αυτό είναι και το σύνθετο σε αστικά περιβάλλοντα όπου θεωρούμε ότι το δίκτυο LTE χρησιμοποιείται κυρίως για την ενίσχυση της ρυθμαπόδοσης των προσφερομένων IP-based υπηρεσιών διαδικτύου σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες HSPA, HSPA+ και WCDMA R99 σε ανοικτά περιβάλλοντα όπως πλατείες και μεγάλοι δρόμοι χωρίς εμπόδια. Η περιοχή ράδιο κάλυψης τέτοιων κυττάρων θα πρέπει εκ των πραγμάτων να είναι μικρής έκτασης ώστε να έχουμε αυξημένη ρυθμαπόδοση, κατ' εκτίμηση στα 500 μέτρα με κεραιές χαμηλωμένου tilt για αποφυγή παρεμβολής και χρήση booster στην εκπομπή.
- **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2<sup>η</sup>: outdoor to indoor** όπου τα κύτταρα εξυπηρέτησης (donors) βρίσκονται εκτός κτιρίων, εγκατεστημένα είτε σε ταράτσες κτιρίων είτε πακτωμένα σε τοίχους κτιρίων. Τα κύτταρα αυτά θα καλύπτουν κυρίως περιοχές με στενούς δρόμους και οικίες – πολυκατοικίες ή παλαιά οικοδομήματα με **στόχο της ράδιο κάλυψης το εσωτερικό των κτιρίων, εταιρειών ή οικιών**. Τέτοια κύτταρα θα πρέπει να έχουν περιορισμένη περιοχή ράδιο κάλυψης ώστε να αντιπαρέρχονται τις αναμενόμενες απώλειες σήματος λόγω της διάτρησης των τοίχων των κτιρίων ή λόγω των ανακλάσεων από κτίρια με υαλώδη περίβλημα (κλασικό παράδειγμα σύγχρονων κτιρίων Βωβού στην Αθήνα). Σε αυτή την περίπτωση η κατ' εκτίμηση ράδιο κάλυψη θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 150 - 250 μέτρα με κεραιές σε υψηλές οροφές κτιρίων με πολύ χαμηλωμένου tilt για καλλίτερη διείσδυση του σήματος εντός των κτιρίων και βέβαια χρήση booster στην εκπομπή.

Επομένως πρωτίστως μελετάμε το uplink και εφόσον πληρούνται οι προδιαγραφές και οι σχεδιαστικοί περιορισμοί του πελάτη (operator determined restrictions) εν συνεχεία προχωράμε στο downlink. Στην παρούσα πτυχιακή αποφασίστηκε να μελετηθεί και να καλυφθεί με υπηρεσίες LTE **η περιοχή της παλαιάς πόλης της Κέρκυρας**, δηλαδή το ιστορικό κέντρο, όπως παρουσιάζεται από τον χάρτη στο Google Earth στο σχήμα 4.2. Η επιλογή αυτή δεν ήταν τυχαία καθώς η πόλη της Κέρκυρας αποτελεί τον τόπο καταγωγής της συγγράφουσας, το δε ιστορικό κέντρο στην παλαιά πόλη παρουσιάζει ιδιαίτερες σχεδιαστικές δυσκολίες. Πράγματι το ιστορικό κέντρο αποτελείται από παλαιά κτίρια – οικοδομήματα της εποχής της Ενετοκρατίας (Γαληνοτάτη της Βενετίας), Γαλλοκρατίας (Ναπολέον Βοναπάρτης – περιοχή Liston) και Αγγλοκρατίας (Adams και

λοιποί αρμοστές της Βρετανικής αυτοκρατορίας) με πολύ πυκνή δόμηση, ψηλά κτίρια με παχύς τοίχους, σχήμα 4.3. Αυτός ο συνδυασμός δημιουργεί στενά δρομάκια (καντούνια) σε όλη την έκταση του ιστορικού κέντρου στα οποία το ράδιο σήμα αδυνατεί ως επί το πλείστον να διεισδύσει και να προσφέρει ικανοποιητική κάλυψη. Στην περίπτωση του GSM δεν δημιουργεί ανυπέρβλητα εμπόδια καθώς και με ελάχιστο σήμα μπορεί ο χρήστης να εγκαθιδρύσει φωνητική υπηρεσία κλήσης με χαμηλή βέβαια ποιότητα.



Σχήμα 4.2 Περιοχή σχεδιασμού ιστορικού κέντρου πόλεως Κέρκυρας

Εντούτοις για υπηρεσίες δεδομένων του δικτύου LTE αυτή η γεωγραφική κατανομή κάλυψης αποβαίνει καταστροφική εφόσον η ρυθμαπόδοση συναρτάται άμεσα από τον λόγο SINR και τις αποφάσεις του channel dependant scheduler, με συνέπεια η ρυθμαπόδοση να είναι υπερβολικά χαμηλή έως και ανύπαρκτη σε πολλές περιπτώσεις. Επομένως σε ένα τέτοιο γεωγραφικό περιβάλλον κέντρου πόλεως με τέτοιες φτωχές ρυθμαποδόσεις το δίκτυο LTE χάνει το συγκριτικό του πλεονέκτημα έναντι άλλων δικτύων (όπως το GPRS) και καθίσταται απαγορευτικό λόγω του αυξημένου κόστους σχεδιασμού (απαιτείται υπερβολικά μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική ρυθμαπόδοση στα καντούνια και εντός των οικιών). Επομένως σε ένα τέτοιο περιβάλλον σε αυτήν την πτυχιακή θα προσπαθήσει η συγγράφουσα να προσεγγίσει το πρόβλημα του σχεδιασμού LTE με περιορισμούς στον προϋπολογισμό ισχύος σήματος (power & link budget) και στον προϋπολογισμό εξόδων (revenue & implementation budget) μίας εταιρείας παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 4.3 Παρουσίαση πυκνής δόμησης στο γεωγραφικό περιβάλλον σχεδιασμού – ιστορικό κέντρο πόλεως Κερκύρας

## 4.2 Σχεδιαστικά στάδια – Uplink scenario

### 4.2.1 Απαιτήσεις και Περιορισμοί του πελάτη (operator determined restrictions)

Θεωρούμε ότι έχουμε  $N_{sub}$  χρήστες σε ένα cell οι οποίοι προκύπτουν από δημογραφικά δεδομένα του operator. Αυτό μπορεί εύκολα να εξαχθεί από την υπάρχουσα κίνηση των πρότερων δικτύων GSM/GPRS & WCDMA στην εν λόγω περιοχή κάλυψης. Ο κάθε χρήστης κατά την εγγραφή του στο δίκτυο του operator έχει κατά μέσο όρο εγγραφεί στην βάση δεδομένων HLR να κατεβάσει  $D_{sub,UL}$  GBytes. Το σύνολο των δεδομένων που αποστέλλονται από ένα μέσο συνδρομητή ( $T_{sub,UL}$ ) σε kbps υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο που απεικονίζετε στο σχήμα 4.4.

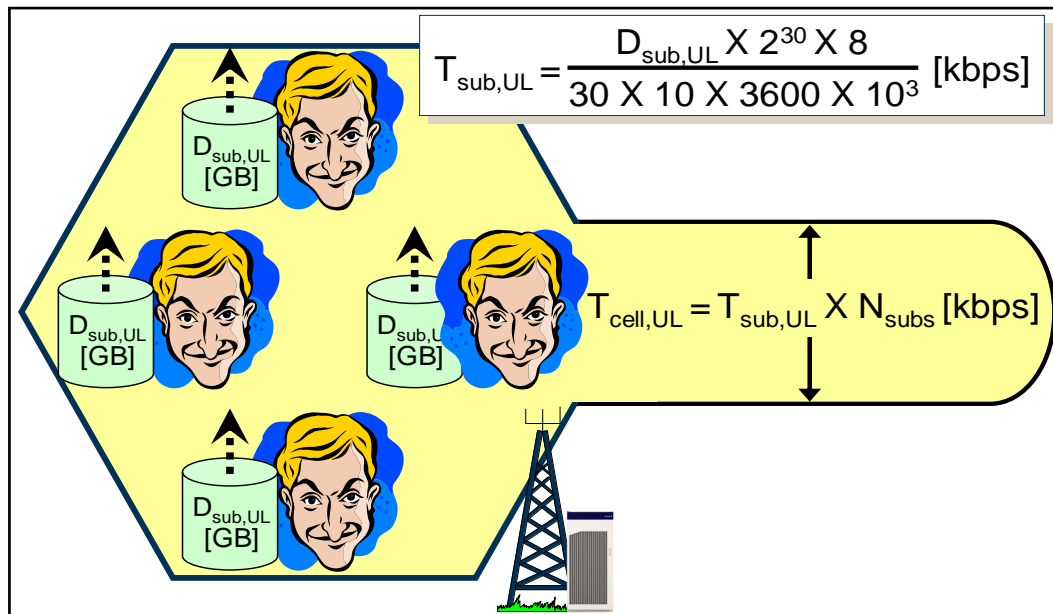
Εν τέλει η συνολική κίνηση η οποία θα εξυπηρετηθεί από το κύτταρο συνυπολογίζοντας τους  $N_{sub}$  χρήστες υπολογίζεται από τον τύπο 4.1.

$$T_{cell,UL} = T_{sub,UL} \cdot N_{subs} [kbps] \quad (4.1)$$

Αναμένουμε ότι, εφόσον έχουμε OFDM τεχνική προσπέλασης και οι χρήστες στο ίδιο κύτταρο διαχωρίζονται στο χρόνο και στη συχνότητα, η αύξηση της στάθμης του θορύβου στην άνω ζεύξη εξαρτάται μόνο από την παρεμβολή από τα γειτονικά κύτταρα. Για να ληφθεί υπόψη αυτή η αύξηση θορύβου, πρέπει να συμπεριλάβουμε στον υπολογισμό του

link budget ένα περιθώριο παρεμβολής (Interference margin ( $B_{IUL}$ )). Η διαδικασία υπολογισμού του  $B_{IUL}$  μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα βήματα:

- Interfering Cell UL RB rate ( $R_{RB,UL}$ )
- Interfering Cell UL SINR target ( $\gamma_{target}$ )
- Average uplink system load ( $Q_{UL}$ )
- Uplink interference margin ( $B_{IUL}$ )

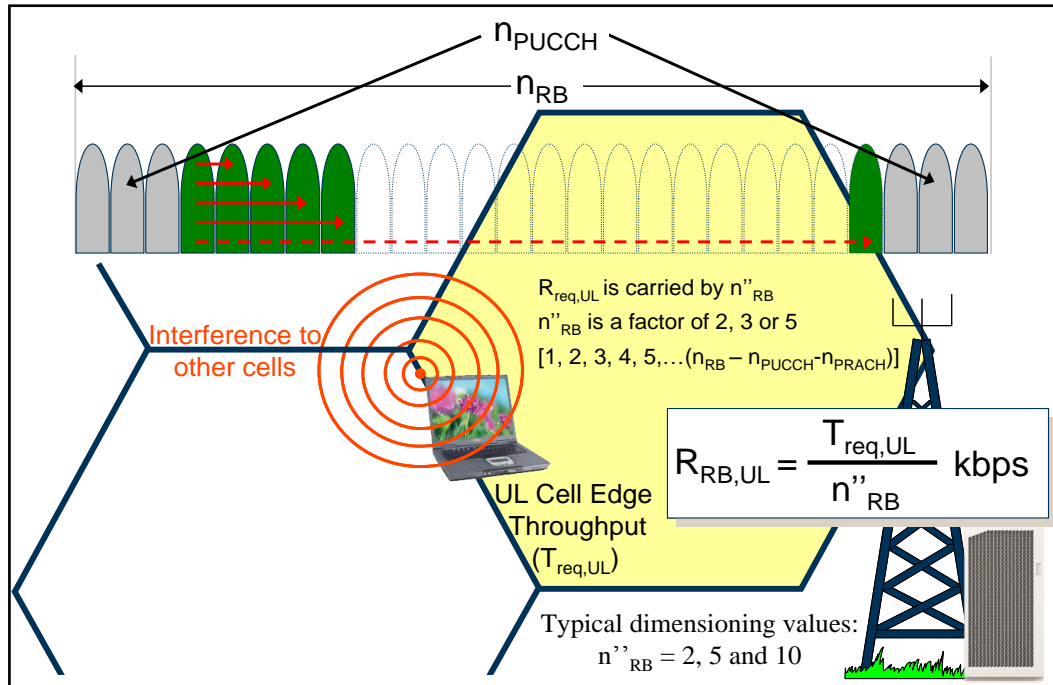


Σχήμα 4.4 Uplink Cell Throughput

#### 4.2.2 Uplink bit rate per RB ( $R_{RB,UL}$ ) & επιθυμητός σηματοθορυβικός λόγος $\gamma_{target}$

Κάθε κύτταρο LTE θα πρέπει να διαστασιοποιηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει ένα συγκεκριμένο απαιτούμενο throughput (το οποίο συνήθως δίδεται από τον operator ως σχεδιαστικός περιορισμός) στα άκρα του κυττάρου  $T_{req,UL}$  με μία συγκεκριμένη πιθανότητα κάλυψης. Εφόσον έχουμε OFDM τεχνική ασυρμάτου προσβάσεως ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης (throughput) στα άκρα του κυττάρου  $T_{req,UL}$  θα υποστηριχθεί από έναν αριθμό Physical Resource Blocks (PRB's)  $n''_{RB}$ . Ο αριθμός των PRB's  $n''_{RB}$  που θα χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει το συγκεκριμένο throughput αποφασίζεται από τον scheduler στο eNodeB και είναι επί της ουσίας η πηγή της αύξησης του θορύβου στα γειτονικά κύτταρα (intercell interference). Ο αριθμός των PRB's  $n''_{RB}$  μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, από  $n''_{RB} = 1$  μέχρι τον αριθμό που υποστηρίζει το Bandwidth του καναλιού ( $N_{RB}$ ) (κεφάλαιο 3 σχήμα 3.16) μείον τον αριθμό που προορίζεται για PUCCH ( $n_{PUCCH}$ ). Στα άκρα του κυττάρου αναμένεται η ποιότητα του radio link να είναι αρκετά κακή με πολύ χαμηλό  $\gamma$  (SINR) επομένως ο MAC scheduler θα αποδώσει ελάχιστους πόρους, και από εμπειρία λόγω

Ericsson simulators ή μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο έχουμε τυπικές τιμές  $n''_{RB} = 2, 3$  ή  $5$  όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.5. Η αναμενόμενη λοιπόν ρυθμαπόδοση ανά PRB υπολογίζεται ως  $R_{RB,UL} = T_{req,UL}/n''_{RB}$  στα άκρα του κυττάρου.



Σχήμα 4.5 Rate per Resource Block on cell edge

Η σχέση μεταξύ ρυθμού μετάδοσης ανά PRB's,  $T$ , και Signal-to-Noise Ratio  $\gamma$  (SNR), στο LTE σε αυτήν την εργασία καθορίζεται από μια σειρά προσομοιώσεων του ασυρμάτου καναλιού η οποία και καθορίζεται από την Ericsson στο σύγγραμμα LTE Radio Network Design [3]. Σε αυτήν την προσομοίωση για το downlink θεωρούνται οι ακόλουθες παράμετροι [4]:

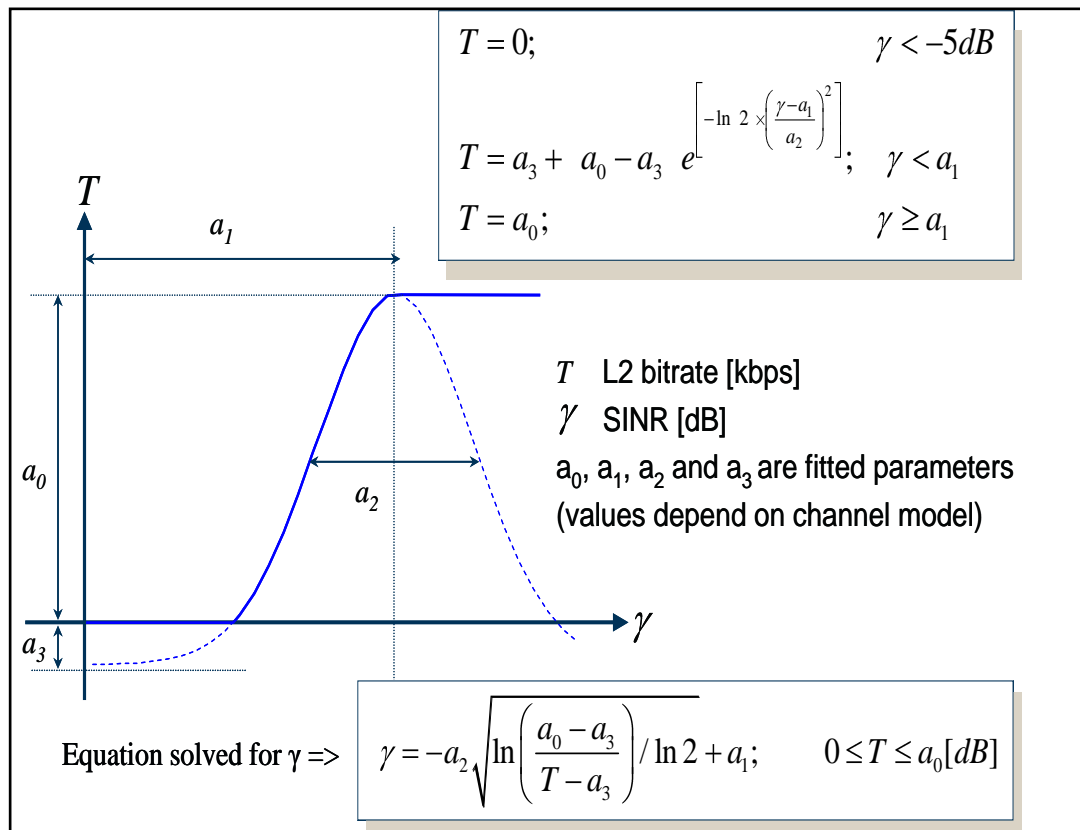
- Τεχνικές κεραίας: 2-branch RX diversity
- Modulation schemes: QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- Channel models: EPA5, EVA70 and ETU300.

Ενώ αντιστοίχως για το Downlink ισχύουν οι ακόλουθοι παράμετροι [4]:

- Τεχνικές κεραίας: 2x2 MIMO, TX diversity, 1x2 MRC
- Modulation schemes: QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- Channel models: EPA5, EVA70 and ETU300.

Στο μοντελό προσομοίωσης της Ericsson θεωρούμε ένα κανάλι EPA5 όπου αναφέρεται σε πεζούς χρήστες οι οποίοι κινούνται με  $3 \text{ Km/h}$  και επομένως αναμένουμε να έχουμε

Doppler shift 5 MHz στην μπάντα των 2,6 GHz. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στο σχήμα 4.6 όπου προφανώς μετράμε την αναμενόμενη ρυθμαπόδοση ανά PRB στο MAC επίπεδο (Layer 2 OSI model) ώστε να αποφύγουμε να υπολογίσουμε τα layer 1 signaling channels (κεφάλαιο 2).



Σχήμα 4.6 Rate per Resource Block on cell edge vs. SINR

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση παρουσιάζονται μοντελοποιημένα με τέσσερις παραμέτρους  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  και  $a_3$ . Αυτοί οι παράμετροι μοντελοποίησης αλλάζουν ανά μοντέλο καναλιού και στην συγκεκριμένη περίπτωση για το μοντέλο καναλιού EPA5 έχουν τις τιμές  $a_0 = 460$  kbps,  $a_1 = 20,76$  dB,  $a_2 = 13,28$  dB και  $a_3 = 5$  kbps. Προφανώς η χρήση αυτής της καμπύλης σε σχεδιαστικά προβλήματα δεν ενδείκνυται και επομένως ζητείται να έχουμε ένα σαφή και εύχρηστο μαθηματικό τύπο. Εάν εφαρμόσουμε τεχνικές curve fitting με χρήση εκθετικών τιμών (λόγω της εκθετικής μορφής της καμπύλης) θα προκύψει ο τύπος 4.2:

$$\begin{aligned}
 T &= 0; & \gamma &< -5dB \\
 T &= a_3 + (a_0 - a_3) e^{\left[ -\ln(2) \times \left( \frac{\gamma - a_1}{a_2} \right)^2 \right]}; & \gamma &< a_1 \\
 T &= a_0; & \gamma &\geq a_1
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Επιλύοντας από το σχήμα 4.6 επομένως για συγκεκριμένο επιθυμητό  $R_{RB,UL} = T_{req,UL}/n''_{RB}$  μπορούμε να υπολογίσουμε το επιθυμητό  $\gamma_{target}$  όπως καταγράφεται από πραγματικές μετρήσεις ή simulators.

### 4.2.3 Το αναμενόμενο φορτίο του κυττάρου (expected cell load) $Q_{UL}$

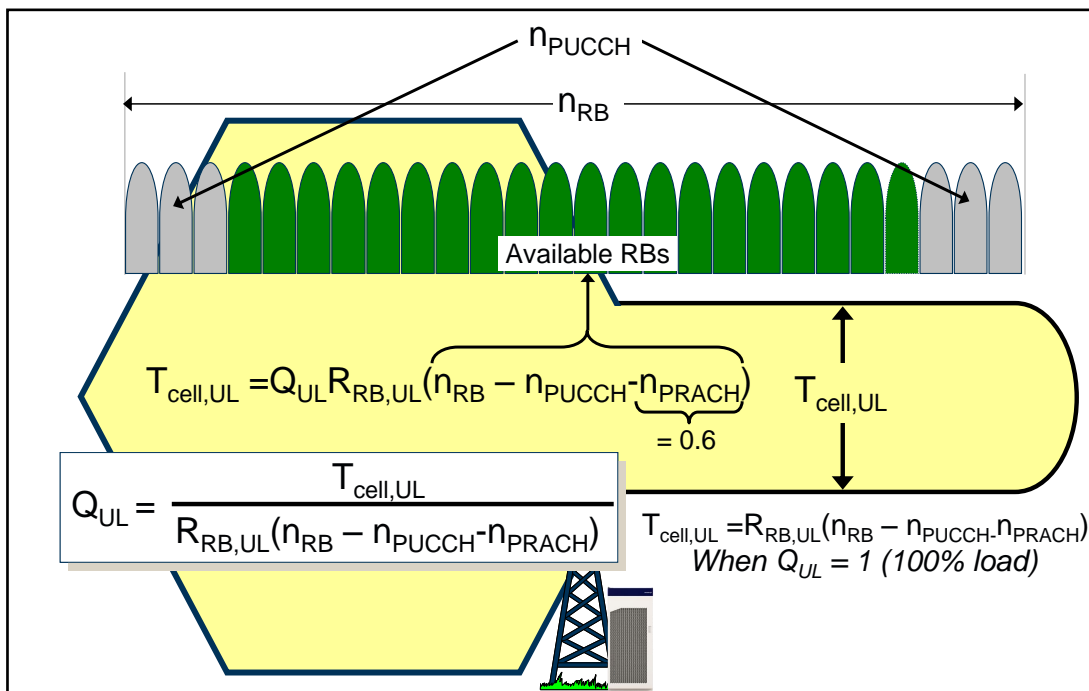
Σε ένα LTE κύτταρο η ρυθμαπόδοση του κυττάρου στην άνω ζεύξη  $T_{cell,UL}$  ισούτε με το γινόμενο του system utilization ή του φορτίου ( $Q_{UL}$ ), του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας (bps) ανά RB ( $R_{RB,UL}$ ) και του διαθέσιμου αριθμού των ραδιο-πόρων (RBs) στο σύστημα ( $n_{RB} - n_{PUCCH}$ ), εξίσωση 4.3

$$T_{cell,UL} = Q_{UL} \cdot R_{RB,UL} \cdot (n_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH}) \quad (4.3)$$

Η ρυθμαπόδοση του κυττάρου στην άνω ζεύξη  $T_{cell,UL}$  έχει ήδη υπολογιστεί από τον τύπο 4.1, ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (bps) ανά PRB  $R_{RB,UL}$  έχει υπολογιστεί ήδη από το σχήμα 4.6 βάσει προσομοίωσης και ο αριθμός των διαθέσιμων ραδιοπόρων στο σύστημα βρίσκεται εύκολα από το φάσμα εκπομπής πληροφορίας του κυττάρου. Επομένως πάρα πολύ εύκολα μπορούμε να λύσουμε την εξίσωση ως προς το φορτίο και να προκύψει ένα επί τοις εκατό φορτίο κίνησης στο κύτταρο. Αυτή η τιμή του  $Q_{UL}$  συμβολίζει το επί τοις εκατό ποσοστό των διαθέσιμων PRB's του κυττάρου τα οποία χρησιμοποιούνται λόγω του εξυπηρετούμενου ρυθμού μετάδοσης  $T_{cell,UL}$  στο κύτταρο, εξίσωση 4.4.

$$Q_{UL} = \frac{T_{cell,UL}}{R_{RB,UL} \cdot (n_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH})} \quad (4.4)$$

Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η όλη ιδέα [4]



#### Σχήμα 4.7 Φορτίο κυττάρου vs. Κυτταρικής ρυθμαπόδοσης $T_{cell,UL}$

Προφανώς εάν στο κύτταρο το φορτίο χρήσης πόρων είναι  $Q_{UL} = 100\% = 1$  τότε ο τύπος 4.4 γίνεται:

$$T_{cell,UL} = R_{RB,UL} \cdot (n_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH}) \quad (4.5)$$

Αυτό προφανώς δεν είναι ποτέ επιθυμητό σε ένα κυτταρικό σχεδιασμό διότι τότε αυτό το κύτταρο θεωρείται congested και η intercell interference η οποία θα προκληθεί στα γειτονικά cells θα είναι μεγάλη, συμβάλλοντας στην αποδόμηση της ποιότητας (Degradation of Service) και της ρυθμαπόδοσης του δικτύου.

#### 4.2.4 Το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης παρεμβολής πάνω από το υπόβαθρο θορύβου $B_{IUL}$ (Interference margin above Noise Floor).

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης της δια-κυτταρικής παρεμβολής (intercell interference) στο δίκτυο. **Αυτό σημαίνει ότι εάν στην άνω ζεύξη (uplink Radio Link - RL) η επικοινωνία της φορητής συσκευής με το BTS δίδει μία σηματοδορυβική σχέση  $\gamma_{RL} > \gamma_{target}$  τότε έχουμε περιθώρια αύξησης της αναμενόμενης παρεμβολής των γειτονικών κυττάρων, επομένως μπορούμε να επιτρέψουμε περισσότερη παρεμβολή στην ζεύξη. Εάν αντιθέτως  $\gamma_{RL} < \gamma_{target}$  τότε σαφώς δεν μπορούμε να δεχτούμε καμία περαιτέρω αύξηση της παρεμβολής διότι θα αποβεί καταστροφική στην αναμενόμενη ρυθμαπόδοση  $R_{RB,UL}$ .** Αυτό το περιθώριο αύξησης της δια-κυτταρικής παρεμβολής (intercell interference) στο κάθε κύτταρο το συμβολίζουμε με την παράμετρο  $B_{IUL}$ . Είναι αναμενόμενο ότι το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης της παρεμβολής στην άνω ζεύξη  $B_{IUL}$  θα εξαρτηθεί από τους παρακάτω παράγοντες:

- Μέσο αναμενόμενο φορτίο κυττάρου στην άνω ζεύξη (**Average uplink system load ( $Q_{UL}$ )**). Έχει ήδη υπολογιστεί από την προηγούμενη παράγραφο
- Ο επιθυμητός μέσος όρος του λόγου SINR (**Uplink SINR target ( $\gamma_{target}$ )**). Αυτός είναι ο επιθυμητός σηματοδορυβικός λόγος ώστε να έχουμε μία καλή ποιότητα επικοινωνίας στην ζεύξη.
- Συντελεστής παρεμβολής (**Uplink Intercell Interference Factor (F)**). Στην ουσία αυτός ο λόγος υπολογίζει πόσο ισχυρότερο είναι το σήμα λήψης στην άνω ζεύξη στον σταθμό βάσης eNodeB του κυττάρου εξυπηρέτησης σε σχέση με τα γειτονικά κύτταρα τα οποία παρεμβάλουν με ένα φορτίο  $Q_{UL}$ .

Ο συντελεστής παρεμβολής (F) στην άνω ζεύξη είναι ο λόγος της μέσης τιμής της παρεμβολής των γειτονικών κυττάρων προς την μέση τιμή του κυττάρου εξυπηρέτησης. Η τιμή του συντελεστή (F) εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της σχεδίασης του δικτύου, όπως ο αριθμός των κυττάρων ανά σταθμό βάσης, το μέγεθος του κυττάρου, τα χαρακτηριστικά διάδοσης της ραδιο- ακτινοβολίας, το ύψος τη κεραίας, το άνοιγμα εύρους διαγράμματος

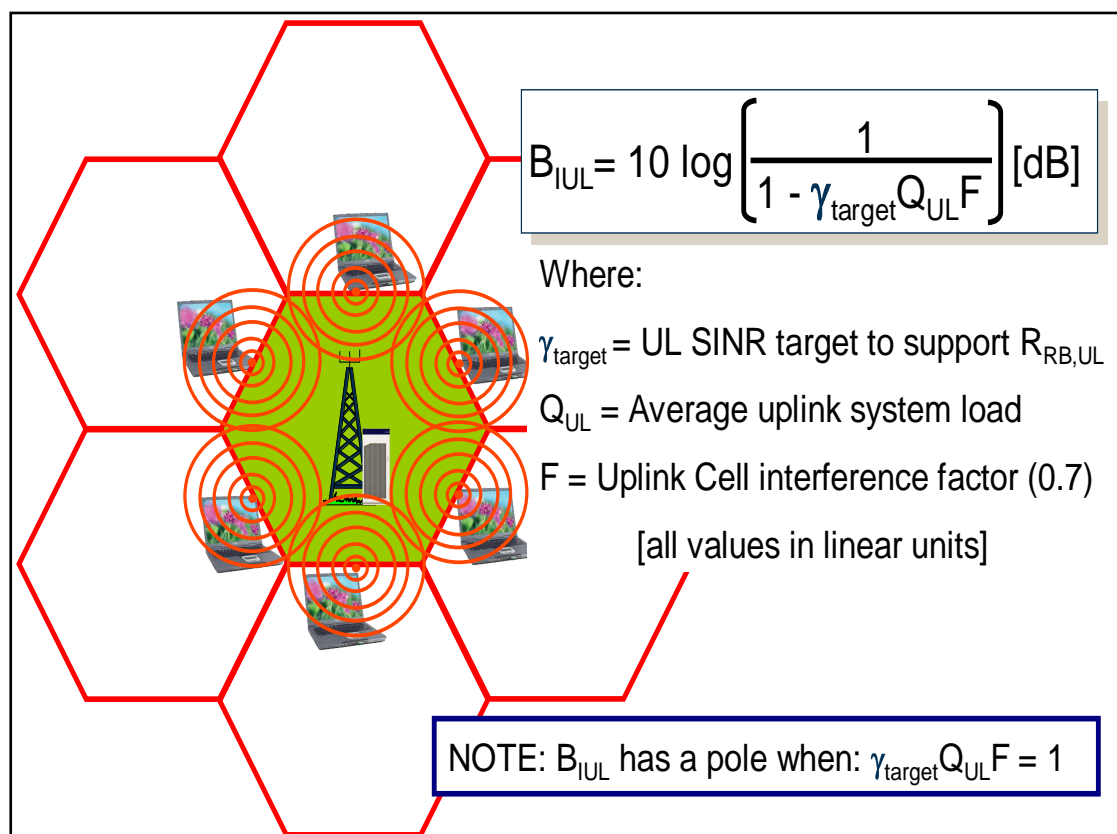


ακτινοβολίας της κεραίας και το down-tilt της κεραίας (τυπικές τιμές σχεδιασμού  $6^\circ$  με  $8^\circ$ ). Αυτός ο συντελεστής μπορεί να προκύψει είτε από πραγματικές μετρήσεις είτε από προσομοιώσεις. Η Ericsson έχει εκτελέσει προσομοιώσεις και προτείνει στους σχεδιαστές να χρησιμοποιήσουν τυπική τιμή  $F = 70\% = 0,7$ . Αυτή η τιμή σημαίνει ότι η μέση τιμή της παρεμβολής των γειτονικών κυττάρων είναι 0,7 φορές την τυπική μέση τιμή της ισχύος λήψης στο κύτταρο εξυπηρέτησης, ήτοι  $I_{neighbor} = 0,7 \times I_{serving}$ . Υποψιαζόμαστε βάσει των παραπάνω εξηγηματικών σχολίων ότι ο υπολογισμός της αναμενόμενης αύξησης της παρεμβολής  $B_{IUL}$  υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\gamma_{target} = \frac{1}{Q_{UL} \cdot F} \left( 1 - \frac{1}{B_{IUL}} \right) \quad (4.6)$$

Αυτό διότι εφόσον πάντα στον σχεδιασμό θα πρέπει να ισχύει ότι  $Q_{UL} < 1$  και εν γένει  $F < 1$  τότε πάντα  $Q_{UL} \cdot F < 1$  και επομένως  $1 / Q_{UL} \cdot F > 1$  που σημαίνει ότι εν γένει θα είμαστε πάντα μία σηματοθορυβική σχέση πάντα καλλίτερη από την επιθυμητή. Επομένως μπορούμε να έχουμε από τον τύπο 4.6 πάντα μία τιμή περιθωρίου αύξησης της παρεμβολής  $B_{IUL} > 1$ . Επιλύοντας την σχέση 4.6 ως προς αυτό το περιθώριο προκύπτει εν τέλει το περιθώριο αύξησης της παρεμβολής το οποίο παρουσιάζεται και στο σχήμα 4.8:

$$B_{IUL} = \frac{1}{1 - \gamma_{target} \cdot Q_{UL} \cdot F} \geq 1 \Rightarrow B_{IUL} [dB] = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{1 - \gamma_{target} \cdot Q_{UL} \cdot F} \right) \quad (4.7)$$



Σχήμα 4.8 Περιθώριο αύξησης της παρεμβολής (intercell interference)

**Παρατήρηση:**

Στον σχεδιασμό μας θα πρέπει πάντα  $\gamma_{target} > 1 / (Q_{UL} \cdot F) \Rightarrow \gamma_{target} \cdot Q_{UL} \cdot F > 1$  διότι αν παρ' ελπίδα συμβεί να ισχύσει  $\gamma_{target} \cdot Q_{UL} \cdot F = 1$  τότε ο τύπος 4.7 απειρίζεται. Αυτός ο απειρισμός έχει το φυσικό νόημα ότι το περιθώριο που έχουμε είναι απεριόριστο κάτι το οποίο προφανώς δεν αληθεύει!!! Επομένως εάν το  $B_{IUL}$  φτάσει στο σημείο που μηδενίζεται ο παρονομαστής  $\gamma_{target} \cdot Q_{UL} \cdot F = 1$  για οποιονδήποτε συνδυασμό τους θα πρέπει να καθοριστεί μία κατάλληλη τιμή  $Q_{UL}$  η οποία να πληροί τις απαιτήσεις των operators.

**4.2.5 Ευαισθησία δέκτη (ENodeB Receiver uplink sensitivity)  $S_{eNodeB}$**

Εφόσον έχουμε υπολογίσει το αναμενόμενο επιθυμητό  $\gamma_{target}$  το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την ευαισθησία του δέκτη. Ως ευαισθησία του δέκτη eNodeB ( $S_{eNodeB}$ ) ορίζουμε το ελάχιστο σήμα που απαιτείται σε σχέση με τον θόρυβο-παρεμβολή στην άνω ζεύξη (uplink) ώστε να μπορέσει το eNodeB να αποκωδικοποιήσει, ύστερα από το Gain της κεραίας λήψης και τις απώλειες του συστήματος κυματοδηγός-ενώσεις-πομποδέκτης, σωστά τα πακέτα πληροφορίας που λαμβάνει. Αυτό θα εξαρτηθεί βασικά από το επίπεδο θερμικού θορύβου (noise floor) και από την αναμενόμενη παρεμβολή. Το επίπεδο θορύβου εξαρτάται από:

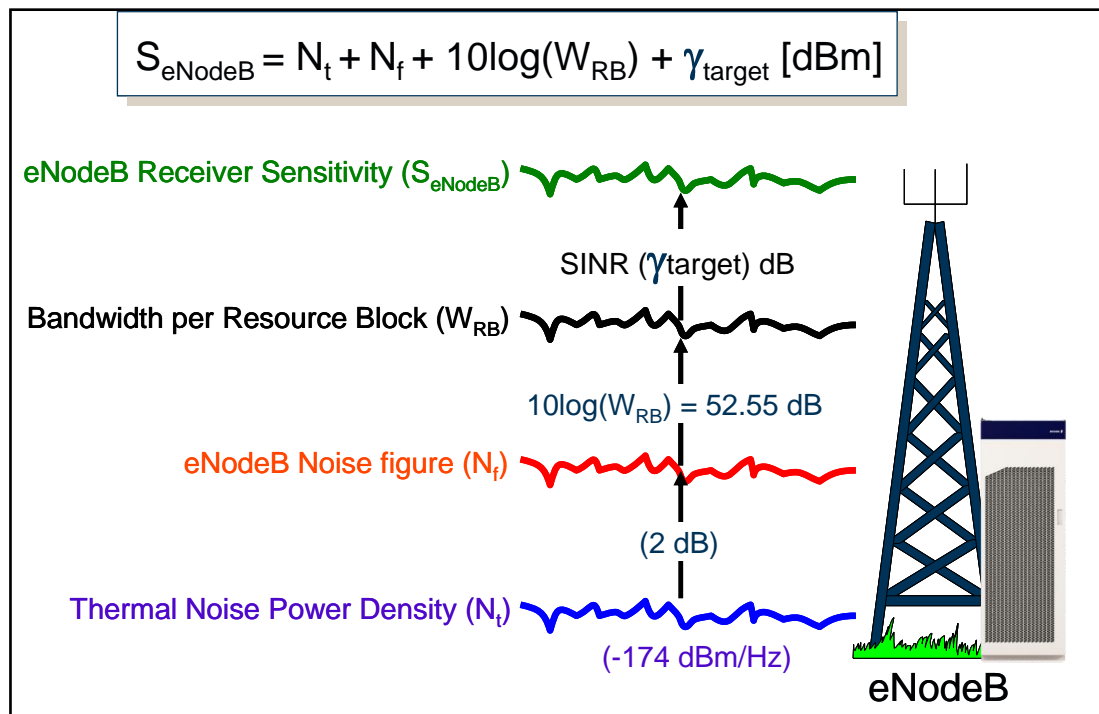
- τη θερμική φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου ( $N_t$ ) σε dBm/Hz [4]. Η θερμική πυκνότητα ισχύος θορύβου ( $N_t$ ) υπολογίζεται από την φυσική ως  $N_t = 10 \log(KT/10^{-3})$  dBm/Hz όπου  $K = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K η σταθερά του Boltzman και  $T = 290$  (17° C) η απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin. Επιλύοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι  $N_t = -174$  dBm/Hz.
- την αύξηση του θορύβου λόγω του ηλεκτρονικού εξοπλισμού του eNodeB ( $N_f$ ) το οποίο καλείται Noise Figure με τυπική τιμή 2 dB.
- το εύρος ζώνης εκπομπής του κυττάρου ( $W_{RB}$ ) ανά PRB το οποίο και είναι 180 kHz  $\Rightarrow 10 \log(W_{RB}) = 10 \log(180,000) = 52.55$  dB.

Στον σχεδιασμό της κυτταρικής κάλυψης θα πρέπει η επιθυμητή σηματοθορυβική σχέση  $\gamma_{target}$  η οποία προκύπτει από το σχήμα 4.6 να είναι στην χειρότερη περίπτωση τουλάχιστον ίση με το πηλίκο της ελάχιστης ισχύος λήψης (ευαισθησία δέκτη) προς τον θόρυβο στο ασύρματο κανάλι. Ο τύπος που μας καθορίζει την ευαισθησία του δέκτη λοιπόν δίδεται ως ακολούθως [4]:

$$\gamma_{target} = \frac{S_{eNodeB}}{N_t \cdot N_f \cdot W_{RB}} \Rightarrow S_{eNodeB} = \gamma_{target} \cdot N_t \cdot N_f \cdot W_{RB} [Watt] \Rightarrow$$

$$S_{eNodeB} [dBm] = N_t [dBm] + N_f [dB] + W_{RB} [dB] + \gamma_{target} [dB] \quad (4.8)$$

Στο σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η όλη σχεδιαστική ιδέα:



Σχήμα 4.9 Καθορισμός ευαισθησίας δέκτη  $S_{eNodeB}$

#### 4.2.6 Υπολογισμός μέγιστης απώλειας ισχύος (maximum uplink path loss $L_{p,max}$ )

Εφαρμόζοντας ένα τυπικό link budget και θεωρώντας ότι η ισχύς εκπομπής ανά PRB από την φορητή συσκευή συμβολίζεται ως  $P_{UE,RB}$  και η ισχύς λήψης στο uplink ανά PRB συμβολίζεται με την ευαισθησία του σταθμού βάσεως ως  $S_{eNodeB}$ , μπορούμε να γράψουμε τον τύπο 4.9 [4]:

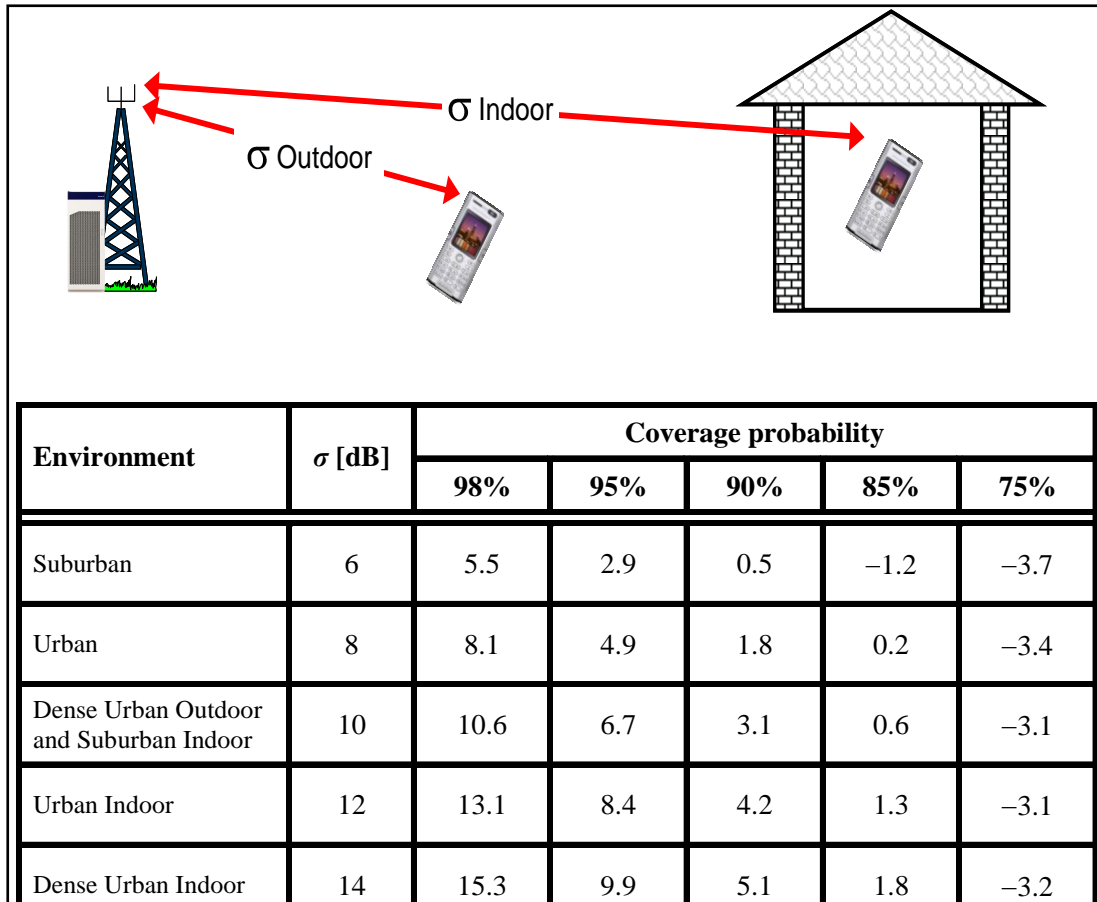
$$P_{receiver}^{uplink} = S_{eNodeB} = \frac{P_{UE,RB} \cdot G_a}{L_{p,max} \cdot L_{BL} \cdot L_{CPL} \cdot L_{BPL} \cdot L_J \cdot L_f \cdot B_{IUL} \cdot B_{LNF}} \Rightarrow$$

$$L_{p,max} [dB] = P_{UE,RB} - S_{eNodeB} [dBm] + G_a - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} - L_J - L_f - B_{IUL} - B_{LNF} \quad (4.9)$$

Όπου υπολογίζουμε τις ακόλουθες απώλειες στην ζεύξη:

- $L_{BL}$  είναι οι απώλειες προερχόμενες από το ανθρώπινο σώμα. Ο αναγνώστης θα πρέπει να θυμάται ότι κατά την επικοινωνία στην ζεύξη η ακτινοβολία περνάει δια μέσου σημείων του ανθρώπινου σώματος με κυρίαρχο όργανο τον ανθρώπινο εγκέφαλο εφόσον ο χρήστης κρατάει την φορητή συσκευή κοντά στην κεφαλή του.

- $L_{CPL}$  είναι οι απώλειες εποχούμενων συνδρομητών (κυρίως μέσα σε αυτοκίνητα). Το αυτοκίνητο είναι μία μεταλλική κατασκευή η οποία και λειτουργεί ως κλωβός Faraday αποσβένοντας την ακτινοβολία. Εάν ο σχεδιασμός λαμβάνει χώρα σε περιοχές όπου δεν αναμένονται εποχούμενοι χρήστες τότε θα πρέπει να μην υπολογιστεί στις πράξεις μας ( $L_{CPL} = 1$  ή  $L_{CPL} [dB] = 0$ ).
- $L_{BPL}$  είναι οι απώλειες διείσδυσης εντός κτιρίων. Θυμηθείτε ότι εάν σχεδιάζουμε σε κέντρο πυκνοκατοικημένης περιοχής τότε η κυτταρική κάλυψη περιλαμβάνει πολλούς τοίχους, επομένως η αναμενόμενη συνολική απώλεια θα πρέπει να υπολογιστεί ως  $N \times L_{BPL}$  όπου  $N$  ο αριθμός των τοίχων. Εάν ο σχεδιασμός λαμβάνει χώρα σε ανοιχτές περιοχές κάλυψης (πλατείες ή αγροτικές περιοχές – rural areas) τότε θα πρέπει να μην υπολογιστεί στις πράξεις μας ( $L_{BPL} = 1$  ή  $L_{BPL} [dB] = 0$ ).
- $L_j$  είναι οι απώλειες των συνδέσεων των κυματοδηγών
- $L_f$  είναι οι απώλειες των κυματοδηγών
- $B_{IUL}$  είναι το περιθώριο παρεμβολής που υπολογίσαμε σε προηγούμενη παράγραφο
- $G_a$  είναι το κέρδος (gain) της κεραίας λήψης στο BTS.
- $B_{LNF}$  είναι οι αναμενόμενες απώλειες στα άκρα του κυττάρου λόγω φαινομένων σκίασης (shadowing) τα οποία καλούνται και Log-Normal Fading. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούμε τον τύπο του Jake από την διεθνή επιστημονική και ερευνητική βιβλιογραφία. Ο τύπος του Jake υπολογίζει τις αναμενόμενες απώλειες βάσει του περιβάλλοντος διάδοσης και του επιθυμητού επί τοις εκατό ποσοστού κάλυψης της περιοχής του κυττάρου στα άκρα. Στον ακόλουθο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα τυπικές τιμές των αναμενόμενων απωλειών:



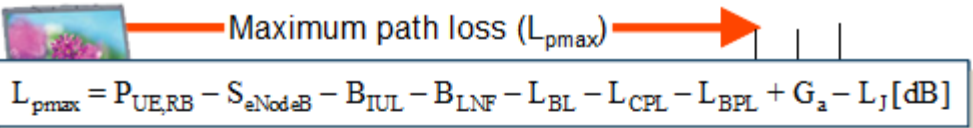
Σχήμα 4.10 Απώλειες σκίασης (Log-Normal Fading or Shadowing) βάσει Jake

Τυπικές τιμές απωλειών παρουσιάζονται στο σχήμα 4.11 [3]

Loss Type	Description	Notation	Value [dB]
Body loss	Handheld speech	$L_{BL}$	3
	Handheld (lap-palmtop), data	$L_{BL,data}$	0
Car penetration loss	Covered car, without external antenna	$L_{CPL}$	6
Building penetration loss	Dense urban	$L_{BPL}$	18
	Urban		18
	Suburban		12
ASC loss	Loss attributed to the ASC in the downlink	$L_{ASC}$	0.2
Jumper & connector loss	Jumper and connectors between ASC and RBS	$L_{J+C}$	1
Antenna jumper loss	Jumper between ASC and antenna	$L_J$	0.2
Feeder loss	LCF 1/2" loss per 100m	$L_F$	11
	LCF 7/8" loss per 100m		6.3
	LCF 1-1/4" loss per 100m		4.6
	LCF 1-5/8" loss per 100m		2.8

Σχήμα 4.11 Τυπικές τιμές απωλειών

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται η όλη ιδέα του σχεδιασμού με τον υπολογισμό του  $L_{p,max}$ :



$$L_{p,max} = P_{UE, RB} - S_{eNodeB} - B_{IUL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_J \text{ [dB]}$$

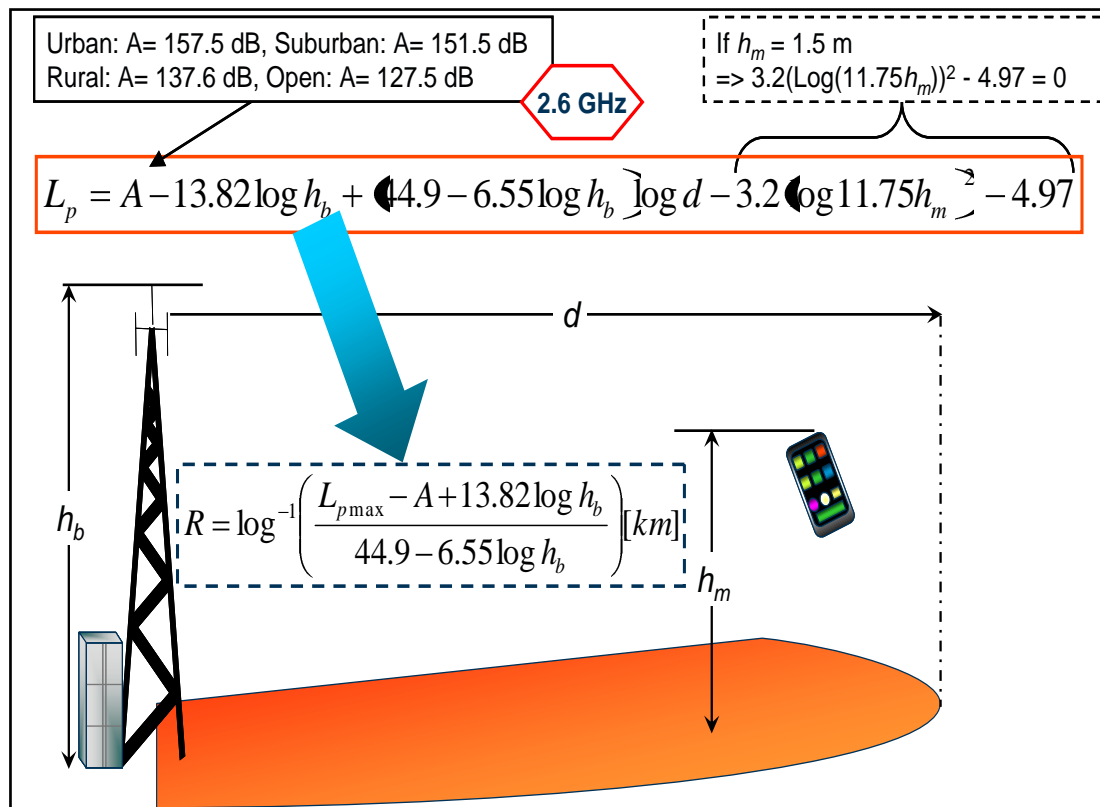
Where:

- $P_{UE, RB}$  = UE power per RB =  $10 \log \left[ \frac{P_{UE, RB} \text{ [mW]}}{N_{RB}} \right]$  [dBm]
- $S_{eNodeB}$  = eNodeB receiver sensitivity [dBm]
- $B_{IUL}$  = Uplink interference margin [dB]
- $B_{LNF}$  = log-normal fading margin [dB]
- $L_{BL}$  = Body loss [dB]
- $L_{CPL}$  = Car penetration loss [dB]
- $L_{BPL}$  = Building Penetration Loss [dB]
- $G_a$  = Antenna Gain [dBi]
- $L_J$  = Antenna Jumper loss [dB]

Σχήμα 4.12 Υπολογισμός μέγιστης απώλειας

#### 4.2.7 Υπολογισμός μεγέθους κυττάρου (estimated cell range) cell<sub>range</sub>

Χρησιμοποιώντας τον τύπο του Okumura – Hata προσαρμοσμένο στην συχνότητα των 2.6 GHz της μπάντας που χρησιμοποιείται εν γένει στην Ευρώπη μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση – μέγεθος του κυττάρου το οποίο καλύπτει τις προδιαγραφές του πελάτη (operator) στο uplink. Στο σχήμα 4.13 παρουσιάζεται ο υπολογισμός [3]:



Σχήμα 4.13 Υπολογισμός μεγέθους κυττάρου κάλυψης

Στον παραπάνω τύπο του Okumura – Hata υπολογίζοντας τυπική τιμή ύψος ανθρώπου (ο οποίος και φέρει την φορητή συσκευή) στα 1,5m ο τελευταίος όρος στον τύπο Okumura-Hata θα γίνει μηδέν όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

$$\begin{aligned} &\Rightarrow 3.2(\log(11.75 \cdot 1.5))^2 - 4.97 \\ &\Rightarrow 3.2(\log(17.626))^2 - 4.97 \\ &\Rightarrow 3.2(1.246129)^2 - 4.97 \\ &\Rightarrow (3.2 \cdot 1.5528) - 4.97 \\ &\Rightarrow 4.97 - 4.97 = 0 \end{aligned}$$

Επίσης για τον υπολογισμό του cell range η μέγιστη απώλεια διαδρομής στην άνω ζεύξη είναι γνωστή και υπολογισμένη από την προηγούμενη παράγραφο ως  $L_{p, \max}$  και το ύψος κεραίας του RBS ( $H_b$ ) δίνεται σε μέτρα.

### 4.3 Σχεδιαστικά στάδια – Downlink scenario

Για τον υπολογισμό της κάτω ζεύξης θα βασιστούμε στο μέγεθος του κυττάρου όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.2.7 [3]. Αυτό θα είναι και το εναρκτήριο βήμα μας προς την ολοκλήρωση της διαδικασίας σχεδιασμού. Για τον υπολογισμό της κάλυψης στην κάτω ζεύξη απαιτούνται λοιπόν τα παρακάτω βήματα:

- **Υπολογισμός της εκτίμησης αύξησης του θορύβου στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (Downlink noise rise at cell edge).** Σε ένα LTE δίκτυο στην κάτω ζεύξη, λόγω της τεχνικής προσβάσεως OFDM, οι χρήστες του ίδιου κυττάρου διαχωρίζονται στο χρόνο (TTI) και στη συχνότητα (PRB's) και επομένως δεν υφίσταται intacell interference. Η αναμενόμενη αύξηση της στάθμης του θορύβου εξαρτάται μόνο από την γεωγραφική κατανομή των χρηστών των γειτονικών κυττάρων και την αναμενόμενη παρεμβολή από αυτά τα γειτονικά κύτταρα (intercell interference). Το ποσό της αύξησης θορύβου στα άκρα του κυττάρου ( $B_{IDL}$ ) στην κάτω ζεύξη θα πρέπει επομένως να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του link budget. Για τον υπολογισμό του ( $B_{IDL}$ ) στην κάτω ζεύξη απαιτούνται τα παρακάτω βήματα:
- Υπολογισμός μέγιστης εξασθένησης σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ ) (Downlink maximum signal attenuation ( $L_{sa,max}$ )).
- Εκτίμηση της αύξησης του θορύβου στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ( $B_{IDL}$ ) (Downlink noise rise at cell edge)
- **Η εκτίμηση της ρυθμαπόδοσης στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (Downlink Throughput at cell edge).** Αυτό σημαίνει ότι εάν στην κάτω ζεύξη (downlink Radio Link - RL) η επικοινωνία της φορητής συσκευής με το BTS δίδει μία σηματοθορυβική σχέση  $\gamma_{RL} > \gamma_{target}$  τότε έχουμε περιθώρια αύξησης της αναμενόμενης παρεμβολής των γειτονικών κυττάρων και μπορούμε να επιτρέψουμε περισσότερη παρεμβολή. Εάν αντιθέτως  $\gamma_{RL} < \gamma_{target}$  τότε σαφώς δεν μπορούμε να δεχτούμε καμία περαιτέρω αύξηση της παρεμβολής διότι θα αποβεί καταστροφική στην αναμενόμενη ρυθμαπόδοση  $R_{RB,UL}$ . Αυτό το περιθώριο αύξησης της διακυτταρικής παρεμβολής (intercell interference) στο κάθε κύτταρο το συμβολίζουμε με την παράμετρο  $B_{IDL}$ .

#### 4.3.1 Υπολογισμός μέγιστης εξασθένησης σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ )

Η μέγιστη εξασθένηση σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ ) είναι η μέγιστη αναμενόμενη εξασθένηση μεταξύ του σήματος εξόδου στον σταθμό βάσης eNodeB και του σήματος εισόδου στον δέκτη του UE στα άκρα του κυττάρου. Επομένως η ποσότητα  $L_{sa,max} = L_{sa,cellrange}$  μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$L_{sa,max} = \frac{L_{p,max} \cdot B_{LNF} \cdot L_{BL} \cdot L_{CPL} \cdot L_{BPL} \cdot L_J \cdot L_f}{G_a} \Rightarrow$$

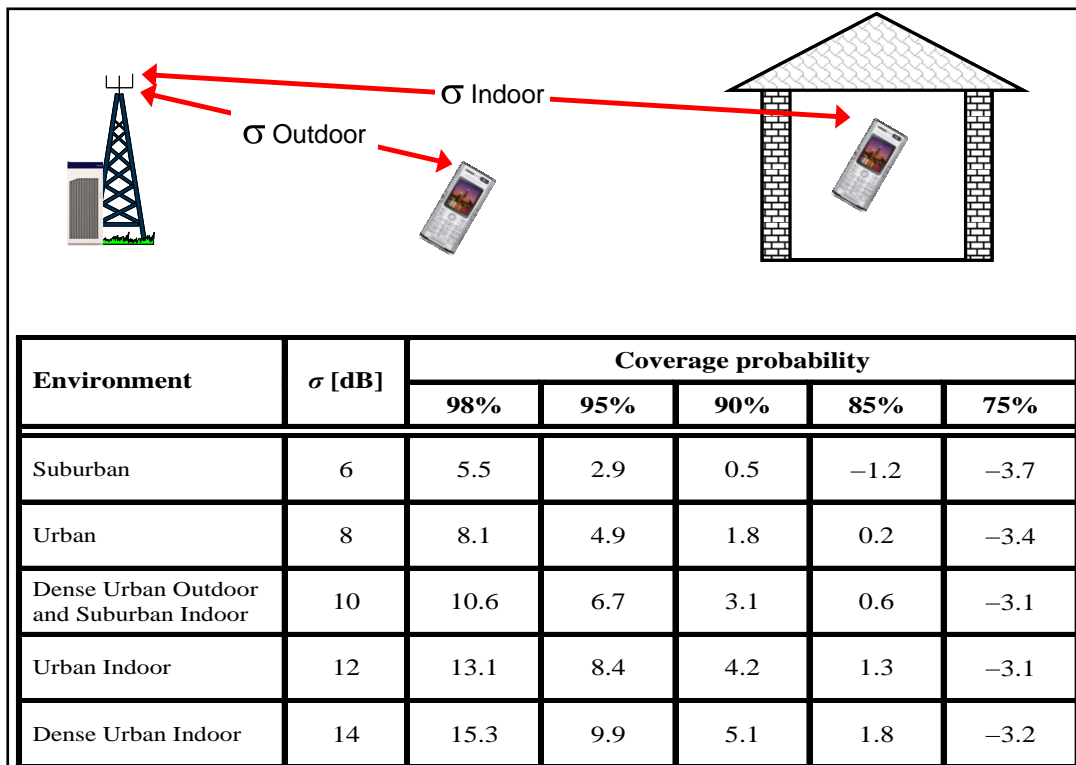
$$L_{sa,max} [dB] = L_{p,max} [dB] + B_{LNF} [dB] + L_{BL} [dB] + L_J [dB] +$$

$$+ L_f [dB] + L_{CPL} [dB] + L_{BPL} [dB] - G_a [dBi] \quad (4.10)$$



Όπου ισχύουν οι ίδιες τυπικές τιμές στις παραμέτρους με την παράγραφο 4.2.6. Οι παράμετροι του τύπου 4.10 είναι οι ακόλουθες:

- $B_{LNF}$  είναι το **log-normal fading** περιθώριο εξασθένησης,  $B_{LNF}$  είναι οι αναμενόμενες απώλειες στα άκρα του κυττάρου λόγω φαινομένων σκίασης (shadowing) τα οποία καλούνται και Log-Normal Fadings. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούμε τον τύπο του Jake από την διεθνή επιστημονική και ερευνητική βιβλιογραφία. Ο τύπος του Jake υπολογίζει τις αναμενόμενες απώλειες βάσει του περιβάλλοντος διάδοσης και του επιθυμητού επί τοις εκατό ποσοστού κάλυψης της περιοχής του κυττάρου στα άκρα. Στον ακόλουθο σχήμα 4.14 παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα τυπικές τιμές των αναμενόμενων απωλειών:

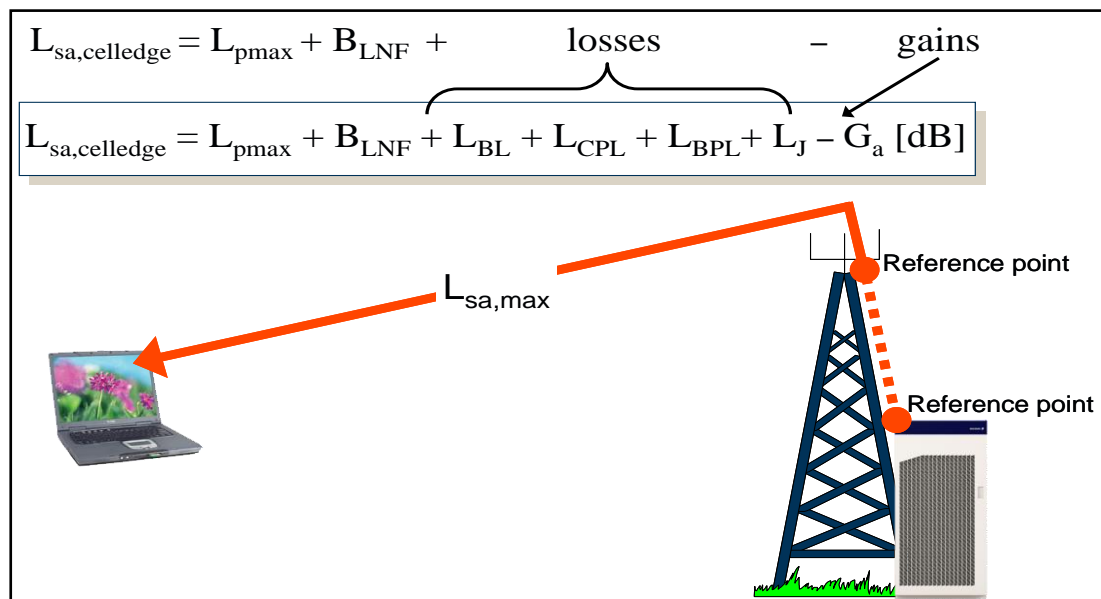


Σχήμα 4.14 Απώλειες σκίασης (Log-Normal Fading or Shadowing) βάσει Jake

- $G_a$  είναι το κέρδος (gain) της κεραίας του eNodeB λόγω κατευθυντικότητας
- $L_{BL}$  είναι οι απώλειες προερχόμενες από το ανθρώπινο σώμα. Ο αναγνώστης θα πρέπει να θυμάται ότι κατά την επικοινωνία στην ζεύξη η ακτινοβολία περνάει δια μέσου σημείων του ανθρωπίνου σώματος με κυρίαρχο όργανο τον ανθρώπινο εγκέφαλο εφόσον ο χρήστης κρατάει την φορητή συσκευή κοντά στην κεφαλή του.
- $L_{CPL}$  είναι οι απώλειες εποχούμενων συνδρομητών (κυρίως μέσα σε αυτοκίνητα). Το αυτοκίνητο είναι μία μεταλλική κατασκευή η οποία και λειτουργεί ως κλωβός Faraday αποσβένοντας την ακτινοβολία. Εάν ο σχεδιασμός λαμβάνει χώρα σε περιοχές όπου δεν αναμένονται εποχούμενοι χρήστες τότε θα πρέπει να μην υπολογιστεί στις πράξεις μας ( $L_{CPL} = 1$  ή  $L_{CPL}$  [dB] = 0).

- $L_{BPL}$  είναι οι απώλειες διείσδυσης εντός κτιρίων. Θυμηθείτε ότι εάν σχεδιάζουμε σε κέντρο πυκνοκατοικημένης περιοχής τότε η κυτταρική κάλυψη περιλαμβάνει πολλούς τοίχους, επομένως η αναμενόμενη συνολική απώλεια θα πρέπει να υπολογιστεί ως  $N \times L_{BPL}$  όπου  $N$  ο αριθμός των τοίχων. Εάν ο σχεδιασμός λαμβάνει χώρα σε ανοιχτές περιοχές κάλυψης (πλατείες ή αγροτικές περιοχές – rural areas) τότε θα πρέπει να μην υπολογιστεί στις πράξεις μας ( $L_{BPL} = 1$  ή  $L_{BPL} [dB] = 0$ ).
- $L_J$  είναι οι απώλειες των συνδέσεων των κυματοδηγών
- $L_f$  είναι οι απώλειες των κυματοδηγών

Στο σχήμα 4.15 παρουσιάζεται η όλη διαδικασία:



Σχήμα 4.15 Υπολογισμός μέγιστης απώλειας ισχύος στα άκρα του κυττάρου

#### 4.3.2 Εκτίμηση της παρεμβολής πάνω από τον θόρυβο υποβάθρου στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (Downlink Interference rise estimation above Noise Floor) $B_{IDL}$

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης της διακυτταρικής παρεμβολής (intercell interference) στο δίκτυο. Είναι αναμενόμενο ότι το επιτρεπόμενο περιθώριο αύξησης της παρεμβολής στην κάτω ζεύξη  $B_{IDL}$  θα εξαρτηθεί από τους παρακάτω παράγοντες [3, 4]:

- eNodeB power per RB at the reference point ( $P_{tx,RB}$ )
- Average downlink system load ( $Q_{DL}$ )
- Downlink Cell edge interference factor ( $F_c$ )

- Thermal Noise Power Density ( $N_t$ )
- UE noise figure ( $N_f$ )
- Bandwidth per Resource Block ( $W_{RB}$ )
- DL maximum signal attenuation ( $L_{sa,max}$ )

Ο υπολογισμός της αναμενόμενης αύξησης της παρεμβολής  $B_{IDL}$  υπολογίζεται ως ακολούθως, σχήμα 4.16, 4.17:

$$B_{IDL} = 1 + \left( \frac{P_{tx, RB} \cdot Q_{DL} \cdot F_C}{10^{\frac{N_t + N_f + 10 \log W_{RB}}{10}} \cdot L_{sa, celledge}} \right) \Rightarrow$$

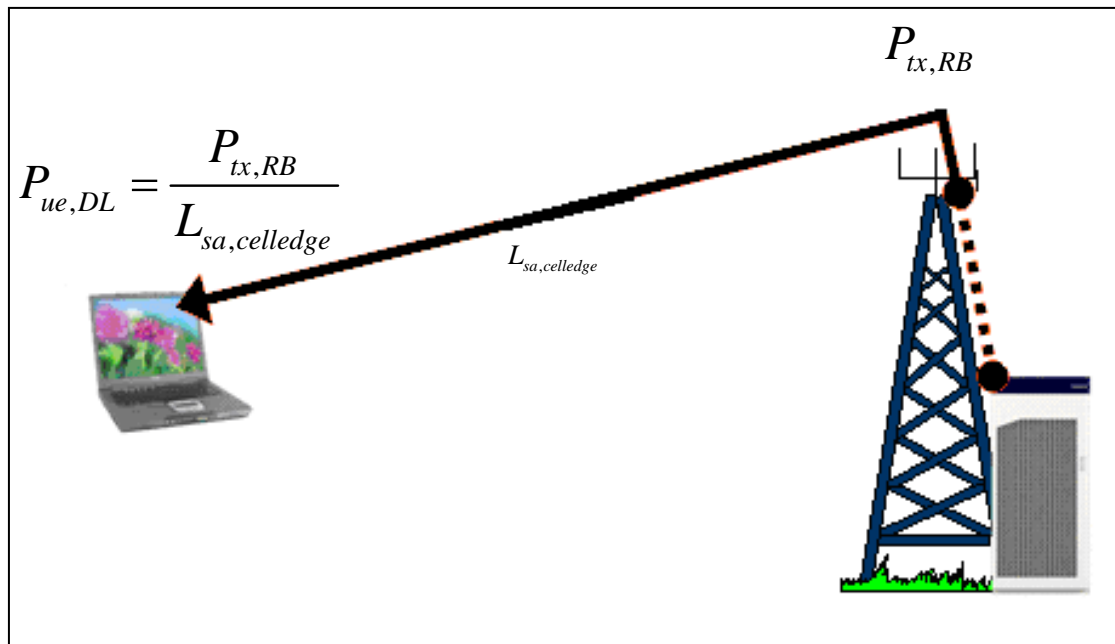
$$B_{IDL} = 10 \log_{10} \left( 1 + \left( \frac{P_{tx, RB} \cdot Q_{DL} \cdot F_C}{10^{\frac{N_t + N_f + 10 \log W_{RB}}{10}} \cdot L_{sa, celledge}} \right) \right) [dB] \quad (4.11)$$

Η ερμηνεία του παραπάνω τύπου είναι απλή. Κατ'αρχάς η παράμετρος  $B_{IDL}$  είναι η αναμενόμενη παρεμβολή πάνω από τον θόρυβο υποβάθρου (noise floor). Επομένως αν δεν υπάρχει κανένα φορτίο λόγω γειτονικών συνδρομητών σε γειτονικά κύτταρα ( $Q_{DL} = 0$ ) τότε δεν αναμένεται να έχουμε περισσότερη παρεμβολή πάνω από τον θόρυβο υποβάθρου, άρα  $B_{IDL} = 1$ . Εάν υπάρχει κίνηση στα γειτονικά κύτταρα ( $0\% < Q_{DL} < 100\%$ ) αναμένεται να έχουμε αύξηση στην παρεμβολή, επομένως  $B_{IDL} = 1 + N_I$ . Ο αναμενόμενος θόρυβος  $N_I$  πάνω από τον θόρυβο υποβάθρου μπορεί να υπολογιστεί ως το γινόμενο της σηματοθορυβικής σχέσης επί του αναμενόμενου επιβαρυντικού φορτίου της intercell interference από τα γειτονικά κύτταρα με την ποσοστιαία συνεισφορά τους λόγω κατευθυντικότητας  $F_C$ . Επομένως προκύπτει ως ακολούθως:

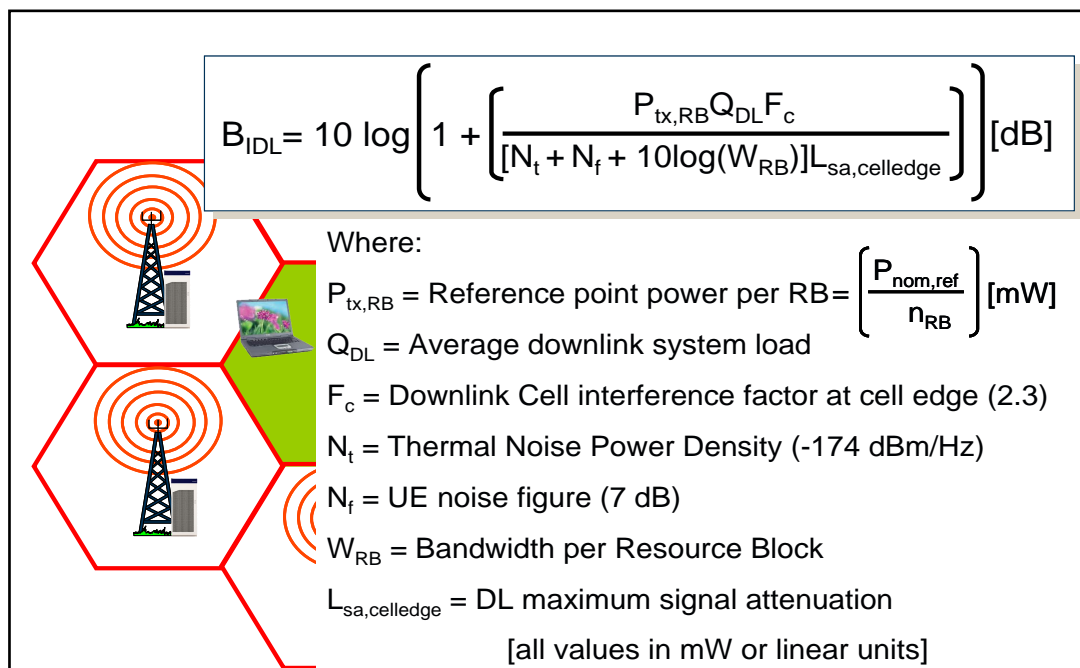
$$N_I = \frac{P_{tx, RB} / L_{sa, celledge}}{N_t \cdot N_f \cdot W_{RB}} \cdot Q_{DL} \cdot F_C = \frac{P_{tx, RB}}{N_t \cdot N_f \cdot W_{RB} \cdot L_{sa, celledge}} \cdot Q_{DL} \cdot F_C \Rightarrow$$

$$N_I = \gamma \cdot \frac{Q_{DL} \cdot F_C}{L_{sa, celledge}}$$

Επομένως αποδεικνύεται ο τύπος 4.11.



Σχήμα 4.16 Λήψη στο downlink



Σχήμα 4.17 Υπολογισμός μέγιστης απώλειας ισχύος στα άκρα του κυττάρου

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένας έλεγχος ισχύος για μεμονωμένα RBs, η ονομαστική (nominal) ισχύς στο σημείο αναφοράς ( $P_{nom,ref}$ ) μοιράζεται ισομερώς μεταξύ του αριθμού των RBs που υποστηρίζεται κάθε φορά από το εύρος ζώνης του καναλιού ( $n_{RB}$ ). Αυτό σημαίνει ότι η ονομαστική ισχύς ανά RB στο σημείο αναφοράς ( $P_{tx,RB}$ ) δίνεται από τον τύπο  $P_{nom,ref}/n_{RB}$ . Με εκπεμπόμενη ισχύ 60W στο eNodeB μπορεί να θεωρηθεί ότι η ονομαστική ισχύς στο σημείο αναφοράς ( $P_{nom,ref}$ ) είναι 40W. Ο αριθμός των RBs ( $n_{RB}$ ) μπορεί να είναι από

6 έως 100 για εύρος ζώνης καναλιού από 1.4 έως 20MHz. Η τιμή του φορτίου στην κάτω ζεύξη ( $Q_{DL}$ ) δίνεται συνήθως ως μία από τις εισόδους του σχεδιασμού. Το ποσοστό θορύβου του UE μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι 7dB. Ο παράγοντας παρεμβολής ( $F_c$ ) στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη περιγράφει τον λόγο της λαμβανόμενης ισχύος από όλα τα παρεμβαλλόμενα κύτταρα με την λαμβανόμενη ισχύ του επιθυμητού κυττάρου σε ένα κοντινό σημείο στην άκρη του κυττάρου. Η τιμή του ( $F_c$ ) στην εξίσωση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού κυττάρου, όπως ο αριθμός των sectors, το μέγεθος του κυττάρου, τα χαρακτηριστικά διάδοσης κύματος, το ύψος της κεραίας, το πλάτος δέσμης και το down-tilt. **Τυπικές τιμές προκύπτουν από προσομοιώσεις και η Ericsson δίνει 1,8 [4].**

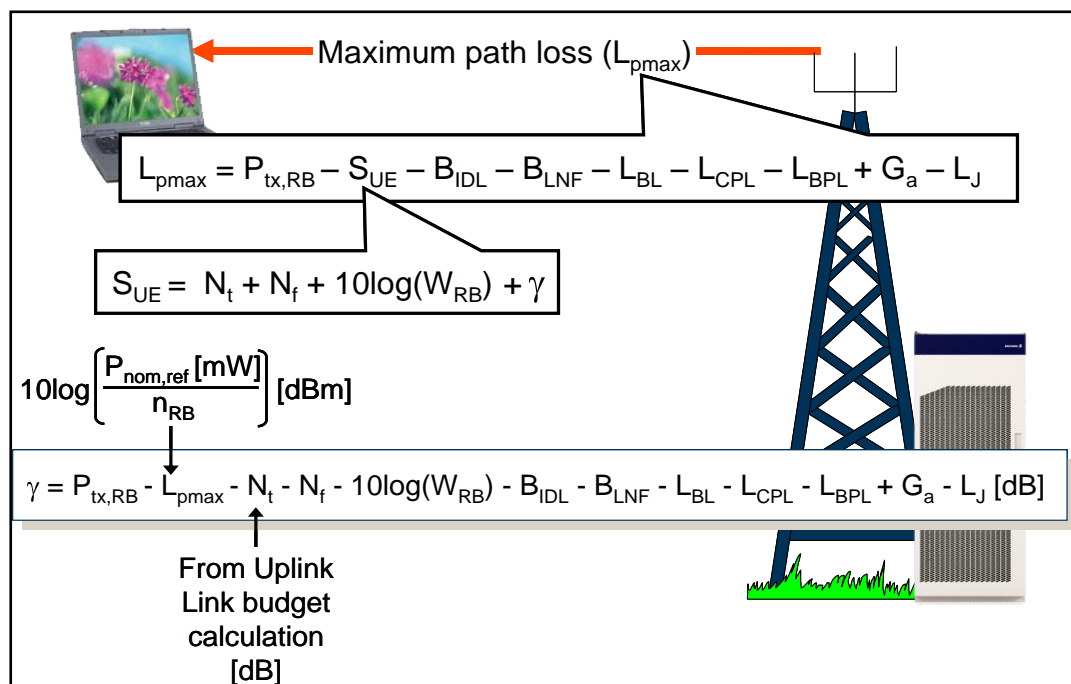
### 4.3.3 Υπολογισμός μεγίστης εξασθένησης σήματος στην κάτω ζεύξη ( $L_{sa,max}$ )

Η διαδικασία διαστασιοποίησης της ρυθμαπόδοσης στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παρακάτω όρων:

- Downlink cell edge SINR ( $\gamma$ )
- Downlink cell edge bit rate per RB ( $R_{RB,DL}$ )
- Downlink cell edge throughput ( $T_{edge,DL}$ )

#### 4.3.3.1 Downlink cell edge SINR ( $\gamma$ )

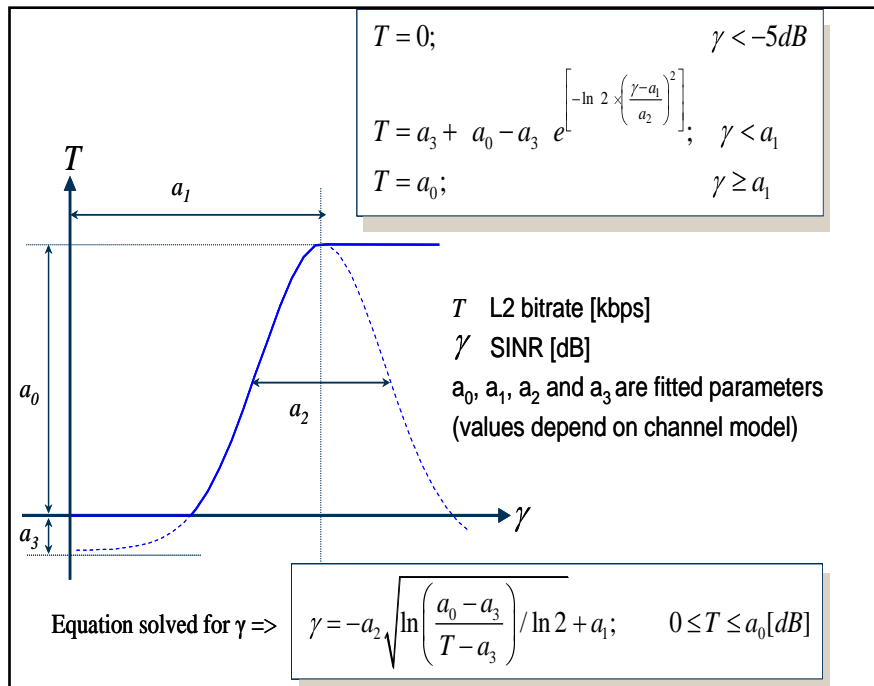
Ο τύπος που υπολογίζει το μέγιστο path loss ( $L_{pmax}$ ) και την ευαισθησία του δέκτη του εξοπλισμού χρήστη ( $S_{UE}$ ), μπορεί να λυθεί ως προς  $\gamma$  για τον υπολογισμό του SINR ( $\gamma$ ) στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη, σχήμα 4.18



Σχήμα 4.18 Υπολογισμός μεγίστης απώλειας ισχύος στα άκρα του κυττάρου

### 4.3.3.2 Semi-empirical parameters in DL

Πριν αρχίσουμε τον υπολογισμό του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας (bps) στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη, πρέπει να υπολογίσουμε τις ημι-εμπειρικές παραμέτρους για την κάτω ζεύξη, οι οποίες προκύπτουν από προσομοιώσεις ή πραγματικές μετρήσεις, σχήμα 4.19 [4].



Σχήμα 4.19 Rate per Resource Block on cell edge vs. SINR

Οι παράμετροι  $a_0, a_1, a_2, a_3$  υπολογίζονται από την διαδικασία του curve fitting της καμπύλης του σχήματος 4.19 και παρουσιάζονται στο σχήμα 4.20.

- $a_0$  and  $a_3$  adjusted with regards to control channel configuration

$$a_0 = a_{0,\max} \cdot \left(1 - \frac{n_{PDCCCH}}{14} - \frac{n_{ant}}{28} - \frac{48 - n_{ant}}{140 \cdot n_{RB}}\right)$$

$$a_3 = a_{3,\max} \cdot \left(1 - \frac{n_{PDCCCH}}{14} - \frac{n_{ant}}{28} - \frac{48 - n_{ant}}{140 \cdot n_{RB}}\right)$$

$n_{ant}$  = Number of configured antenna ports

$n_{PDCCCH}$  = Number of allocated symbols for PDCCCH

$n_{RB}$  = Total number of RBs

Antenna arrangement	OLSM 2x2		
	epa5	eva70	etu300
Channel Model/ Doppler frequency	epa5	eva70	etu300
$a_{0,\max}$ [kbps]	1583.8	1409.5	1162.8
$a_1$ [dB]	34.03	34.99	31.93
$a_2$ [dB]	18.37	18.16	16.84
$a_{3,\max}$ [kbps]	-18.6	-10.2	-8.4

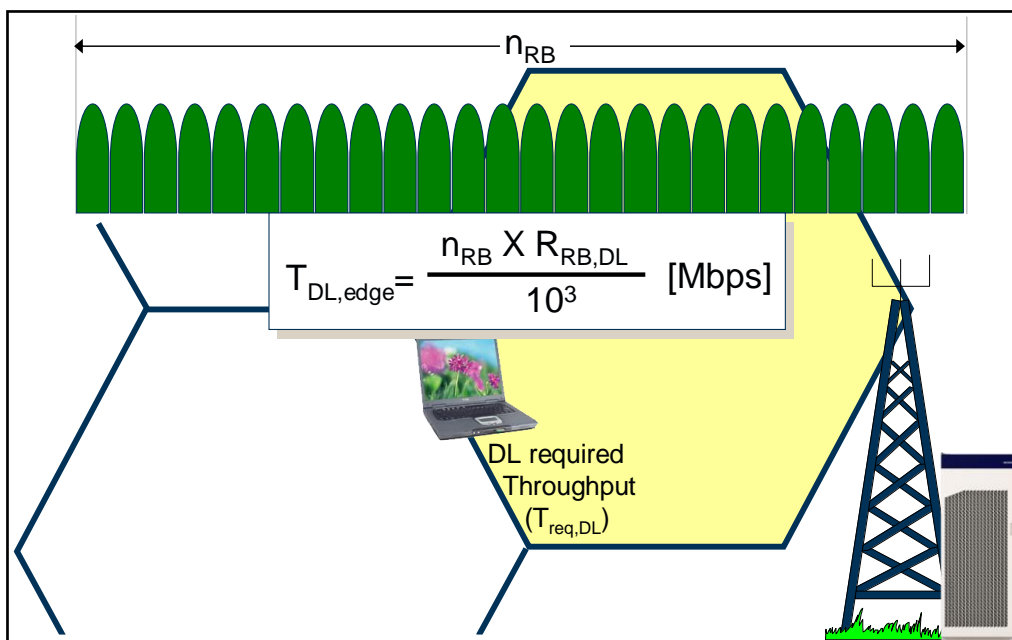
A complete list can be found in the Coverage and Capacity Dimensioning CPI

Σχήμα 4.20 Παράμετροι υπολογισμού SINR vs  $R_{B,DL,edge}$  στα άκρα του κυττάρου

Δεδομένου ότι το SINR ( $\gamma$ ) στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη έχει υπολογιστεί, στην υπό-παράγραφο 4.3.3.1, μπορεί να αντικατασταθεί στον πρώτο τύπο του ημι-εμπειρικού μοντέλου LTE έτσι ώστε να υπολογιστεί η τιμή του 'T'. Το αποτέλεσμα αυτό θα είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (bps) στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ανά RB ( $R_{RB,DL}$ ).

#### 4.3.3.3 Εκτιμώμενη Ρυθμαπόδοση στην κάτω ζεύξη στα άκρα του κυττάρου (Downlink Cell Edge Throughput) ( $T_{DL,edge}$ )

Η αναμενόμενη ρυθμαπόδοση στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ( $T_{DL,edge}$ ) πρέπει να πληρεί τις προδιαγραφές που έχουν θέσει οι πελάτες, ήτοι ο operator για τον οποίον σχεδιάζουμε το δίκτυο. Επομένως η αναμενόμενη ρυθμαπόδοση στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ( $T_{DL,edge}$ ) πρέπει να είναι μεγαλύτερη την απαιτούμενη ρυθμαπόδοση στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ( $T_{req,DL}$ ). Η ρυθμαπόδοση στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη ( $T_{DL,edge}$ ) μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας το ( $R_{RB,DL}$ ) με τον αριθμό των RBs που υποστηρίζονται από το εύρος ζώνης του καναλιού ( $n_{RB}$ ), σχήμα 4.21.



Σχήμα 4.21 Downlink cell edge throughput στα άκρα του κυττάρου

#### Αναφορές

[1] 3GPP Technical Specification 36.212 Multiplexing and Channel Coding (FDD) - (Release 8).

[2] 3GPP TS 36.213, 3rd Generation Partnership Project, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Physical Layer Procedures (Release 8), TS 2008.

[3] Ericsson course "LTE Radio Network Design"

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE



Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την υλοποίηση (πραγματικός σχεδιασμός) κάλυψης του ράδιο δικτύου LTE. Για τον σχεδιασμό του δικτύου θα χρησιμοποιήσουμε μια εφαρμογή υλοποιημένη σε λογισμικό πακέτο Microsoft excel η οποία διευκολύνει τον σχεδιασμό μας. Για να κάνουμε μια λειτουργική επίδειξη της εφαρμογής επιλέξαμε την πόλη της Κέρκυρας διότι η συγκεκριμένη πόλις, όπως διευκρινίστηκε στο κεφάλαιο 4 της πτυχιακής εργασίας, αποτελείται από ανοικτούς χώρους (πλατείες) και ταυτόχρονα από την παλιά πόλη η οποία αποτελείται από στενά σοκάκια (καντούνια) καμάρες και ψηλά κτήρια. Η αρχιτεκτονική αυτή μας δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού διαφορετικών κυττάρων, ανάλογα με την αρχιτεκτονική του χώρου.



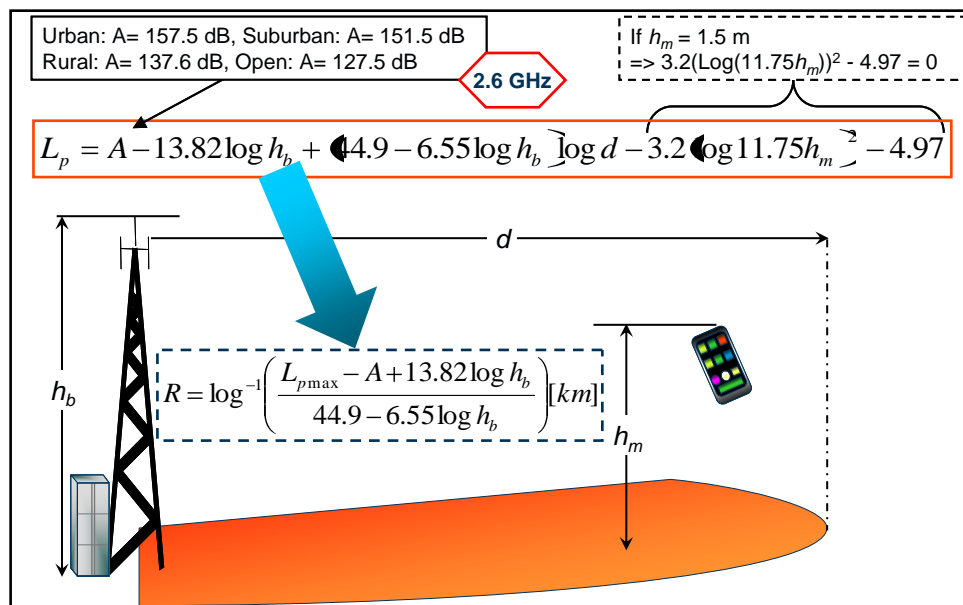
Σχήμα 5.1: πλατεία και παλαιά πόλη Κέρκυρας



## 5.1 Σχεδιασμός Δικτύου – Εφαρμογή

Πριν ξεκινήσουμε τον σχεδιασμό, θα εξηγήσουμε την χρησιμότητα κάποιων συγκεκριμένων παραμέτρων στην εφαρμογή excel κατά τον σχεδιασμό καθώς και τον τρόπο όπου οι παράμετροι αυτοί μεταβάλλονται κάθε φορά ανάλογα με την περιοχή κάλυψης (ανοικτός χώρος, πυκνοκατοικημένος χώρος κλπ).

- Στον σχεδιασμό που ακολουθεί θα θέλαμε να προσδιορίσουμε (παρουσία του πελάτη) το μέγεθος του κυττάρου, δηλαδή την απόσταση κάλυψης σε Km [1]. Εντούτοις θεωρούμε καλλίτερο να προσδιορίσουμε την απαιτούμενη απώλεια ισχύος (pathloss) η οποία και συνδέεται με την αναμενόμενη pathloss  $L_{pmax}$  βάσει του τύπου R του μοντέλου Okomura-Hata, σχήμα 5.2:



Σχήμα 5.2: Μοντέλο κυτταρικής κάλυψης κατά Okomura - Hata

Επομένως η παράμετρος  $L_{sa,cellrange}$  προσδιορίζει τις αναμενόμενες απώλειες κατά τον σχεδιασμό μας. Ενδεικτικές τιμές για την παράμετρο αυτή, όταν πρόκειται για ανοικτούς χώρους, είναι τα 110-115 dB ενώ για πυκνοκατοικημένες περιοχές η τιμή του pathloss αναμένεται να αυξάνεται κατά  $N \times 6$  dB, όπου N ο αριθμός των τοίχων των κατοικιών-σπιτιών στην περιοχή κάλυψης. Αυτό λοιπόν θα το ονομάσουμε στο σχεδιαστικό tool ως BL-Lwall. Όπως θα δούμε και στον σχεδιασμό του δικτύου που θα ακολουθήσει, όταν η παράμετρος  $L_{sa,cellrange}$  αυξάνεται, μεγαλώνει και η περιοχή κάλυψης (Cell range, max), ενώ το Rate στα άκρα του κυττάρου ( $R_{celledge}$ ) μειώνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή όσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή κάλυψης, τόσο μεγαλύτερη

θα είναι και η απόσταση των συνδρομητών οι οποίοι θα βρίσκονται στα άκρα του κυττάρου από την κεραία, άρα και μικρότερο αναμενόμενο rate.

- Η παράμετρος  $P_0$  αφορά την ευαισθησία του δέκτη (eNodeB BTS receiver) στα άκρα του κυττάρου. Ισχύει πάντα ότι  $P_{UE} < 30$  dBm, όπου  $P_{UE}$  αποτελεί ενδεικτικά την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής του κινητού λόγω του hardware – εκ βιομηχανικής κατασκευής. Τα φορητά τηλέφωνα στην πλειοψηφία τους εκπέμπουν  $P_{UE}=1W=30$ dBm. Για τον υπολογισμό του  $P_0$  θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$P_0 = P_{UE} + G_{BTS} - L - 10 \log 2 \quad (5.1)$$

Το ερώτημα είναι γιατί έχουμε το  $10 \log 2$  στον παραπάνω τύπο. Η ιδέα ακολουθεί:

Θεωρούμε ένα κινητό το οποίο εκπέμπει στο uplink ισχύ  $P_{UE}$  και έναν σταθμό βάσης ο οποίος λαμβάνει ισχύ  $P_0$ . Εφόσον θεωρούμε ότι χρησιμοποιείται 2x2 MIMO τεχνολογία και στις φορητές συσκευές τότε η συνολική ισχύς που

εκπέμπεται ανά κεραία και channel path είναι  $\frac{P_{UE}}{2}$ . Επομένως ισχύουν οι κάτωθι πράξεις:

$$P_0 = \frac{\frac{P_{UE}}{2} * G_{BTS} * G_{UE}}{L} \Rightarrow 10 \log_{10} P_0 = P_0 [dBm] = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_{UE} * G_{BTS} * G_{UE}}{2 * L} \right] \Rightarrow$$

$$P_0 [dBm] = 10 \log_{10} P_{UE} + 10 \log_{10} G_{BTS} + 10 \log_{10} G_{UE} - 10 \log_{10} 2 - 10 \log_{10} L$$

$$P_0 [dBm] = 10 \log_{10} P_{UE} + 10 \log_{10} G_{BTS} + 10 \log_{10} 1 - 10 \log_{10} 2 - 10 \log_{10} L$$

$$P_0 [dBm] = P_{UE} [dBm] + G_{BTS} [dB] - L [dB] - 10 \log_{10} 2$$

- Η παράμετρος  $Q_{pusch}$  δηλώνει το επί τοις εκατό ποσοστό χρήσης των PRBs (physical resource blocks) [2] από τα συνολικά διαθέσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται από τους χρήστες του κυττάρου. Παραδείγματος χάριν εάν έχουμε ένα κύτταρο με διαθέσιμο εύρος ζώνης 20MHz αυτό αντιστοιχείται σε 100 PRBs, επομένως για φορτίο  $Q_{pusch} = 0,7$  αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες στο κύτταρο χρησιμοποιούν το 70% από τα συνολικά διαθέσιμα PRBs, δηλαδή  $0.7 \times 100 = 70$  PRBs. Τα υπόλοιπα 30% είναι ελεύθερα και αυτό θεωρείται καλό διότι ελαττώνει την παρεμβολή (inter cell interference).
- Η παράμετρος IRC\_Beta (Interference Reduction combining\_Beta) (κελί στο excel Microsoft tool F26) είναι ένα προτεινόμενο 3GPP Radio Feature το οποίο ελαχιστοποιεί την παρεμβολή όπου ισχύει πάντα  $0 < \beta < 1$

- Αν  $\beta=0 \rightarrow$  δεν λειτουργεί (δεν έχει ενεργοποιηθεί από τον operator)
  - Αν  $\beta=1 \rightarrow$  πλήρης απαλοιφή παρεμβολών (δεν επιτυγχάνεται ποτέ λόγω μεγάλου αριθμού χρηστών οι οποίοι παρεμβάλουν από τα γειτονικά κύτταρα)
- Η παράμετρος  $\gamma_{\text{target}}$  ( $\text{SINR}_{\text{target}}$  ή  $\gamma_0$ ) (κελί F31) είναι το όριο λήψεως ώστε να έχω καλή ποιότητα με μεγάλο throughput. Σε αυτήν τη περίπτωση ο scheduler προσπαθεί πάντα να αποδώσει τόσους πόρους (PRBs) στον εκάστοτε χρήστη ώστε στη λήψη στο uplink να επιτυγχάνεται ανά PRB η επιθυμητή  $\text{SINR}_{\text{receiver}} = \text{SINR}_{\text{target}} = \gamma_0$ . Αυτό ισχύει διότι όσο περισσότερα PRB's δοθούν στο uplink σε έναν χρήστη τόσο λιγότερη ισχύς θα ληφθεί ανά PRB στο uplink εφόσον θεωρούμε ότι έχουμε ισομερή κατανομή ισχύος σε όλα τα PRB's. Στον σχεδιασμό μας θα θέσουμε για υψηλό throughput  $\gamma_{\text{target}} = -3$  όπου  $\gamma_0 = \text{SINR}_{\text{target}}$ 
    - Αν  $\gamma_{\text{actual}} > \gamma_0 \rightarrow$  παρεμβολή (inter-cell interference) στα γειτονικά κύτταρα που χρησιμοποιούν το ίδιο PRB εκείνη την ώρα του 1 ms (εκπέμπεται περισσότερη ισχύς από όση χρειάζεται).
    - Αν  $\gamma_{\text{actual}} < \gamma_0 \rightarrow$  αναμένεται να έχουμε πολλά retransmissions λόγω αναμενόμενων σφαλμάτων, άρα και χαμηλό throughput.

Τέλος το πρώτο μέρος του σχεδιασμού θα αφορά ανοικτούς χώρους κάλυψης (πλατεία) και το δεύτερο μέρος θα αφορά την περιοχή της παλαιάς πόλης. Θεωρούμε ότι το δίκτυο θα παίζει στην μπάντα των 2,6GHz σε φάσμα 20MHz. Ο τύπος της κεραίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι η Andrew (CommScope) HWX-6516DS-VTM, ακολουθεί στα σχήματα 5.3, 5.4 η τεχνική περιγραφή της απόδοσης της κεραίας από τον κατασκευαστή.

CHARACTERISTICS		HWX-6516DS-VTM			
General Specifications		DualPol® Antenna, 1710-2690 M			
Antenna Type	DualPol®				
Brand	DualPol®   Teletilt®				
Operating Frequency Band	1710 - 2690 MHz				
Electrical Specifications		1710-1880	1850-1990	1920-2170	2500-2690
Frequency Band, MHz		1710-1880	1850-1990	1920-2170	2500-2690
Beamwidth, Horizontal, degrees		68	68	67	62
Gain, dBd		15.7	15.7	15.8	16.5
Gain, dBi		17.8	17.8	17.9	18.6
Beamwidth, Vertical, degrees		7.4	6.9	6.4	5.0
Beam Tilt, degrees		0-10	0-10	0-10	0-10
Upper Sidelobe Suppression (USLS) by Beam Tilt, dB		0° 4° 10°	0° 4° 10°	0° 4° 10°	0° 4° 10°
Front-to-Back Ratio at 180°, dB		17 17 17	18 18 17	18 18 17	20 20 17
Isolation, dB		28	31	33	28
VSWR   Return Loss, db		30	30	30	30
Intermodulation Products, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc		1.5:1   14.0	1.5:1   14.0	1.5:1   14.0	1.5:1   14.0
Input Power, maximum, watts		-150	-150	-150	-150
Polarization		250	250	250	250
Impedance, ohms		±45°	±45°	±45°	±45°
Lightning Protection		50	50	50	50
		dc Ground	dc Ground	dc Ground	dc Ground

Σχήμα 5.3: Χαρακτηριστικά κεραίας HWX-6516DS-VTM

Product Specifications	
HWX-6516DSVTM	
<b>Mechanical Specifications</b>	
Color	Light gray
Connector Interface	7-16 DIN Female
Connector Location	Bottom
Connector Quantity	2
Radome Material	PVC, UV resistant
Wind Loading, maximum	272.7 N @ 150 km/h 61.3 lbf @ 150 km/h
Wind Speed, maximum	241.0 km/h   149.8 mph
<b>Dimensions</b>	
Depth	105.0 mm   4.1 in
Length	1390.0 mm   54.7 in
Width	170.0 mm   6.7 in
Net Weight	5.4 kg   11.8 lb

Σχήμα 5.4: Προδιαγραφές κεραίας HWX-6516DS-VTM

Αρχικά για τον σχεδιασμό του δικτύου θα ορίσουμε κάποιους σχεδιαστικούς περιορισμούς (απαιτήσεις) σχήμα 5.5, οι οποίοι θα ισχύουν για όλα τα κύτταρα τεχνολογίας LTE που θα απαιτηθεί να σχεδιάσουμε.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2	<b>Input requirements:</b>	[kbps]								Legend		UL input				
3	UL celledge rate	1000	coverage prob			0.95						DL input				
4	UL high rate	10000										Partial calc				
5	UL cell thrp	8000										Partial calc and various input				
6	DL cell edge rate	3000	coverage prob			0.95						Approximated inputs from graphs				
7	DL cell thrp	15000										Output fulfilling req				
8												Output not fulfilling req				

Σχήμα 5.5: προδιαγραφές σχεδιασμού

- Το  $UL_{\text{celledge rate}}$  αφορά το επιθυμητό throughput που πρέπει να επιτύχει ο χρήστης στα άκρα του κυττάρου στην άνω ζεύξη (UL).
- Το  $UL_{\text{high rate}}$  αφορά το μέγιστο throughput που οφείλει να πετύχει ένας χρήστης όταν είναι κοντά στην κεραία στην άνω ζεύξη (UL)
- Το  $UL_{\text{cell thrp}}$  αφορά το μέσο όρο (average throughput) στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην άνω ζεύξη (UL).
- $DL_{\text{celledge rate}}$  αφορά το επιθυμητό throughput που πρέπει να επιτύχει ο χρήστης στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (DL).

- Το  $DL_{cell\ thrp}$  αφορά το μέσο όρο (average throughput) στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην κάτω ζεύξη (DL).
- Το coverage prob αφορά την επί τοις εκατό πιθανότητα κάλυψης στα άκρα του κυττάρου, αναλογιζόμενοι τα φαινόμενα Shadowing (Log Normal Fading) και Rayleigh Fading. Αυτό χρησιμοποιείται από το tool βάσει της μαθηματικής προσέγγισης του Jake [3]

## 5.2 Σχεδιασμός κυτταρικής κάλυψης - Πλατεία Κερκύρας



Για την κυτταρική κάλυψη της περιοχής της πλατείας, σχήμα 5.6, απαιτείται ένας σταθμός βάσης τεχνολογίας LTE με τρία cells. Η απόσταση κάλυψης για το πρώτο cell θα είναι 264m, για το δεύτερο cell 266m και για το τρίτο cell 295m.

Στο σχεδιαστικό εργαλείο excel, σχήμα 5.7, έχουμε σχεδιάσει τρία κύτταρα όπου θεωρούμε και για τα τρία κύτταρα ότι οι χρήστες θα χρησιμοποιούν το 70% από τα συνολικά διαθέσιμα PRBs κάθε κυττάρου, δηλαδή  $0.7 \times 100 = 70$  PRBs.

Το  $L_{rmax}$  για την πρώτη περίπτωση είναι 112,5dB, αυτό προκύπτει από  $L_{rmax} = C11 - K23 - K25 - K24 + K26$  (κελιά). Στην δεύτερη περίπτωση είναι 117,5 dB, αυτό προκύπτει από  $L_{rmax} = D11 - L23 - L25 - L24 + L26$ . Στην τρίτη περίπτωση είναι 119,5 dB, αυτό προκύπτει από  $L_{rmax} = E11 - M23 - M25 - M24 + M26$ . Η ευαισθησία του δέκτη στα άκρα του κυττάρου ( $P_0$ ) θα είναι -95dBm. Αποδεικνύεται ότι το pathloss στην ζεύξη μας δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 140,5 dB διότι εάν

συμβεί αυτό θα απαιτηθεί  $P_{UE}$  μεγαλύτερο των 30 dBm το οποίο δεν μπορεί να υποστηριχθεί από την συσκευή του χρήστη (εφόσον έχουμε προαναφέρει ότι θεωρούμε μέγιστη τιμή  $P_{UE} = 30$  dBm).



Σχήμα 5.6: πλατεία

Ακολουθεί η απόδειξη:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P_{UE} + G_{BTS} - L - 10\log 2 \Rightarrow -95 = P_{UE} + 18,5 - 140,5 - 10\log 2 \\
 P_{UE} &= -95 - 18,5 + 140,5 + 10\log 2 \Rightarrow P_{UE} = -95 - 18,5 + 140,5 + 3 \Rightarrow P_{UE} \\
 &= 30 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα των κυττάρων που σχεδιάσαμε, έτσι ώστε να αποφασίσουμε ποια από αυτά πληρούν τους σχεδιαστικούς περιορισμούς (απαιτήσεις πελάτη) που έχουμε θέσει παραπάνω και τις αποστάσεις κάλυψης που απαιτούνται για τα τρία cells τα οποία θα καλύψουν την περιοχή της πλατείας, σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε από το Wikimapia (σχήμα 5.6) όπου cell1=0,264km, cell2=0.266km, cell3=0.295km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		It1	It2	It3									
11		Lsa_cellrange	115	120	122					High bit rat	SINRh	13,51556	17,17159	18,4814
12		P0	-95	-95	-95						n'rb,h	97,4	97,4	95,4
13		Qpusch	0,7	0,7	0,7						Rrb,h	448,6853	502,2547	511,0198
14											<b>Rh= highest rate</b>	<b>43702</b>	<b>48920</b>	<b>48751</b>
15	Noise rise										Cell trp			
16		Nt	-174	-174	-174						equals P0 as			
17		Wrb	180000	180000	180000						Prx,rb,ave	-98,57143	-102,1429	-103,5714
18		Nf,tma	1	1	1						SINRave	9,944131	10,02874	9,909968
19		Nf,ru	1,58	1,58	1,58						Rrb,ul,ave	365,8982	368,077	365,0164
20		Lf	1	1	1						<b>Tcell= throughput</b>	<b>24947</b>	<b>25095</b>	<b>24376</b>
21		Gtma	1	1	1						Cell Size			
22											Lbl	3	3	3
23	Thermal Noise	Nrb,ul	-119,5	-119,5	-119,5						Lbpl	18	18	18
24											Lopl	0	0	0
25		lrb,ul	-103,4	-107,5	-109,2						Ga	18,5	18,5	18,5
26		Biul	10,945	7,2891	5,9793	IRC_Beta	0,6				<b>Lpmax</b>	<b>112,5</b>	<b>117,5</b>	<b>119,5</b>
27											<b>cell range, max, km</b>	<b>0,2005</b>	<b>0,278</b>	<b>0,3168</b>
28	Cell edge bit rate													
29		Blmf	4,9	4,9	4,9									
30	att at cell edge	Lsa,celledge	119,9	124,9	126,9									
31	alloc RBs	n'rb,celledge	28,944	21,24	18,119	gamma0	-3							
32		Pue,rb,celledge	8,3844	9,7284	10,419									
33		Prx,rb,celledge	-111,5	-115,2	-116,5									
34		SINRcelledge	-3	-3	-3									
35														
36		a0	513,7	513,7	513,7									
37		a1	19,7	19,7	19,7									
38		a2	14,5	14,5	14,5									
39		a3	-35,1	-35,1	-35,1									
40		a4	2	2	2									
41		Rrb,celledge	65,278	65,278	65,278									
42		Rcelledge	1889	1387	1183									
43														

Σχήμα 5.7: σχεδιασμός κυτταρικής κάλυψης στο UL

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το σχεδιαστικό εργαλείο (σχήματα 5.7, 5.8), παρατηρούμε ότι το δεύτερο και το τρίτο κύτταρο πληρούν όλες τις προϋποθέσεις σε ότι αφορά τους σχεδιαστικούς περιορισμούς (σχήμα 5.5) και τις αποστάσεις κάλυψης που απαιτούνται για τα τρία cells. Από την άλλη το πρώτο κύτταρο πληροί τις προϋποθέσεις σχετικά με τους σχεδιαστικούς περιορισμούς αλλά όχι και την απόσταση κάλυψης, η οποία είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, cell range= 0.2005km. Επομένως τα κύτταρα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε στον σχεδιασμό μας θα είναι το δεύτερο και το τρίτο.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για την άνω και κάτω ζεύξη σε ότι αφορά τα κύτταρα 2 και 3, τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για την περιοχή κάλυψης της πλατείας.

#### Κύτταρο2:

- UL Rcelledge =1387kbps. Το throughput στα άκρα του κυττάρου στην άνω ζεύξη προκύπτει από,  $R_{celledge} = D31 * D41$  (κελιά).
- UL Rh (highest rate) = 48920kbps. Η μέγιστη ρυθμαπόδοση που οφείλει να πετύχει ένας χρήστης στην άνω ζεύξη προκύπτει από,  $R_h = L12 * L13$ .
- UL Tcell (throughput) =24376kbps. Το average throughput στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην άνω ζεύξη προκύπτει από  $T_{cell} = E13 * M19 * M12$ .

- Cell range=0.278km. Η απόσταση κάλυψης του κυττάρου προκύπτει από Cell range = $10^{((M27 - 157,5 + 13,82 \cdot \text{LOG}(30))/(44,9-6,55 \cdot \text{LOG}(30)))}$
- DL R (rate)=3217,18kbps. Η ρυθμαπόδοση που πρέπει να επιτύχει ο χρήστης στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη προκύπτει από  $R = 100 \cdot S36$ .
- DL Tcell (throughput)=18023,7kbps. Το average throughput στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην κάτω ζεύξη προκύπτει από  $T_{\text{cell}} = S23 \cdot 100 \cdot S45$ .

Q	R	S	T
<b>DL C&amp;C</b>			
	Lpmax	117,5	←
	Binf	4,9	
	Lbl	3	
	Lbpl	18	
	Lcpl	0	
	Ga	18,6	
	Lj	0	
	Lsa,cellrange	119,9	
	Ptx	40	
	Ptx,rb	0,4	
	Fc	2,3	
	Qpdsch	0,55	
	Qooh	0,118	
	Nf,ue	7	
	Nrb,dl	-114,447275	
	Bidl	22,01643132	
	<small>(also DL control ch coverage)</small>		
	SINRcelledge	-6,34355615	
	npoooh	1	
	a0	1352,338943	
	a1	34,03	
	a2	18,37	
	a3	-15,8817429	
	Rrb	32,17180285	
<b>LB</b>	<b>R</b>	<b>3217,18</b>	
<b>DL Cap</b>			
	H	0,36	
	F	0,7	
	Bidl,ave	16,91208628	
	SINRave	8,052763578	
	Rrb,dl	327,7039736	
	Rave,dl	32770,39736	
	Tcell	18023,7	

Q	R	S	T
<b>DL C&amp;C</b>			
	Lpmax	119,5	←
	Binf	4,9	
	Lbl	3	
	Lbpl	18	
	Lcpl	0	
	Ga	18,6	
	Lj	0	
	Lsa,cellrange	121,9	
	Ptx	40	
	Ptx,rb	0,4	
	Fc	2,3	
	Qpdsch	0,55	
	Qooh	0,118	
	Nf,ue	7	
	Nrb,dl	-114,447275	
	Bidl	20,03236883	
	<small>(also DL control ch coverage)</small>		
	SINRcelledge	-6,36445357	
	npoooh	1	
	a0	1352,338943	
	a1	34,03	
	a2	18,37	
	a3	-15,8817429	
	Rrb	32,04490752	
<b>LB</b>	<b>R</b>	<b>3204,49</b>	
<b>DL Cap</b>			
	H	0,36	
	F	0,7	
	Bidl,ave	14,9635	
	SINRave	8,041349558	
	Rrb,dl	325,8250247	
	Rave,dl	32582,50247	
	Tcell	17920,4	

Σχήμα 5.8: κύτταρο2 DL, κύτταρο3 DL

Όπως μπορούμε να δούμε η απόσταση κάλυψης (Cell range)η οποία προέκυψε για το κύτταρο2 ικανοποιεί πλήρως την απόσταση που απαιτείται να καλύψουν τα cells 1 και 2.



Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το cell1 και cell2 θα έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

CELL1	
UL Rcelledge	1387kbps
UL Rh	48920kbps
UL Tcell	25095kbps
Cell range	0.278km
DL R	3217,18kbps
DL Tcell	18023,7kbps

CELL2	
UL Rcelledge	1387kbps
UL Rh	48920kbps
UL Tcell	25095kbps
Cell range	0.278km
DL R	3217,18kbps
DL Tcell	18023,7kbps

### Κύτταρο3:

- UL Rcelledge =1183kbps. Το throughput στα άκρα του κυττάρου στην άνω ζεύξη προκύπτει από,  $R_{celledge} = E31 * E41$  (κελιά).
- UL Rh (highest rate) =48751kbps. Η μέγιστη ρυθμαπόδοση που οφείλει να πετύχει ένας χρήστης στην άνω ζεύξη προκύπτει από,  $R_h = M12 * M13$ .
- UL Tcell (throughput) =25095kbps. Το average throughput στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην άνω ζεύξη προκύπτει από  $T_{cell} = E13 * M19 * M12$ .
- Cell range=0.3168km. Η απόσταση κάλυψης του κυττάρου προκύπτει από  $Cell\ range = 10^{((M27 - 157,5 + 13,82 * LOG(30)) / (44,9 - 6,55 * LOG(30)))}$
- DL R (rate)=3204,49kbps. Η ρυθμαπόδοση που πρέπει να επιτύχει ο χρήστης στα άκρα του κυττάρου στην κάτω ζεύξη προκύπτει από  $R = 100 * S36$ .
- DL Tcell (throughput)=17920,4kbps. Το average throughput στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου στην κάτω ζεύξη προκύπτει από  $T_{cell} = S23 * 100 * S45$ .

Όπως μπορούμε να δούμε η απόσταση κάλυψης (Cell range) η οποία προέκυψε για το κύτταρο2 ικανοποιεί την απόσταση που απαιτείται να καλύψει το cell3. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το cell3 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

CELL3	
UL Rcelledge	1183kbps
UL Rh	48751kbps
UL Tcell	25095kbps
Cell range	0.3168km
DL R	3204,49kbps
DL Tcell	17920,4kbps

### 5.3 Παλαιά Πόλη Κερκύρας



Όταν σχεδιάζουμε ένα δίκτυο LTE θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι για να έχει καλή απόδοση (το καλλίτερο δυνατό throughput) θα πρέπει η περιοχή κάλυψης κάθε cell να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Για το λόγο αυτό θα χωρίσουμε την παλαιά πόλη αρχικά σε μεγάλες περιοχές κάλυψης και την κάθε περιοχή κάλυψης θα την χωρίσουμε σε υποπεριοχές, έτσι ώστε να διευκολύνουμε την διαδικασία του σχεδιασμού. Βέβαια ο σχεδιασμός πολλών μικρών περιοχών κάλυψης σημαίνει αύξηση του κόστους υλοποίησης

(περισσότερος εξοπλισμός), πράγμα το οποίο δεν είναι πάντα επιθυμητό από τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο το οποίο να πληροί τις απαιτήσεις τις οποίες έχουμε ορίσει σχήμα 5.5 με το δυνατόν μικρότερο κόστος. Στον σχεδιασμό μας θα θεωρήσουμε ότι οι χρήστες θα χρησιμοποιούν το 40% από τα συνολικά διαθέσιμα PRBs κάθε cell, δηλαδή  $0.4 \times 100 = 40$  PRBs. Αυτό προκύπτει από σχεδιαστική εμπειρία και μετρήσεις στην Σουηδία.

### Περιοχή 1

Την πρώτη περιοχή κάλυψης την έχουμε χωρίσει σε τέσσερις υποπεριοχές, όπου για την κάθε μία υποπεριοχή θα χρησιμοποιήσουμε έναν σταθμό βάσης με τρία cells.



Σχήμα 5.9: Περιοχή1 Παλαιάς Πόλης

1<sup>o</sup> cell

Το πρώτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0.121km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		33								Lrmax	127.5		
11	<b>CELL1</b>	Lsa Cellrange	130								Erlf	4.9		
12		P0	-95								L0l	3		
13		Qpdsch	0.4								L0pl	18		
14											Lc0l	0		
15	Noise rise										GA	18.6		
16											Lj	0		
17		NI	-174								Lsa Cellrange	129.9		
18		WTD	180000											
19		NIrma	1								Pr	40		
20		NIrU	1.58								PrLrD	0.4		
21		Lr	1								Fc	2.3		
22		Gma	1								Qpdsch	0.55		
23	Thermal Noise										Qcon	0.118		
24		NrD Ul	-119.461								NIrUe	7		
25		RbD Ul	-115.919								NrD dl	-114.447275		
26		BWl	1.34068	RfC_Beta	0.6						BWl	12.25542113		
27											(also DL control on coverage)			
28	Cell edge bit rate										SINRcelledge	-5.5075622		
29		Erlf	4.9								700000	1		
30	Bit at cell edge	Lsa Cellrange	134.9								80	1352.338943		
31	Bit/s RBs	NrD Cellrange	8.33607	qam128	-3						81	34.03		
32		PurLr Cellrange	13.78								82	18.37		
33		PrLrD Cellrange	-121.12								83	-15.8817429		
34		SINRcelledge	-3								RrD	30.23866017		
35											LB			
36											R	3029.87		
37											DL Cap			
38											H	0.36		
39											F	0.7		
40											BWl Ave	7.642835784		
41											SINR Ave	7.36201405		
42											RrD dl	301.5188271		
43											R Ave dl	30151.80271		
											Tcell	165689		

Σχήμα 5.10: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 1 για την περιοχή 1

Βλέπουμε από το σχήμα 5.10 ότι η παράμετρος στο downlink  $SINR_{cell\ range}$  δεν πληροί τις προϋποθέσεις εφόσον στο tool έχουμε κόκκινο κελί. Τι είναι αυτό το οποίο δεν πληρείται; Ο υπολογισμός του  $\gamma_{target} = SINR_{cell\ range}$  ο οποίος δίδεται στο κεφάλαιο 4 της πτυχιακής και ομοίως υπολογίζεται από το tool είναι ο ακόλουθος:

$$\gamma_{target} = P_{tx, RB} - L_{pmax} - N_t - N_f - 10\log(W_{RB}) - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_{JA}$$

Σε αυτόν τον τύπο η παράμετρος  $P_{tx, RB}$  δεν μεταβάλλεται ποτέ εφόσον θεωρούμε πάντα 100 PRB's διαθέσιμα και hardware TRX με ισχύ 40 Watts. Η μόνη παράμετρος η οποία το επηρεάζει είναι η  $L_{pmax}$  η οποία και ρυθμίζει στον σχεδιασμό την κυτταρική εμβέλεια κάλυψης. Το επιθυμητό όριο ώστε στο downlink να μπορεί η φορητή συσκευή να αποκωδικοποιεί σωστά τα δεδομένα χρήστη και τα control channels L3 signaling (το οποίο και έχει βρεθεί από μετρήσεις ή προσομοιώσεις) είναι περίπου -6 dB. Προφανώς επειδή ο σχεδιασμός στα όρια (άκρα) του κυτάρου είναι στην οριακή τιμή του  $\gamma_{target}$  (για αυτό και κοκκινίζει το κελί) θεωρούμε ότι δεν θα έχουμε σημαντικό πρόβλημα. Εξάλλου θα πρέπει ο αναγνώστης να κατανοήσει ότι ένα δίκτυο LTE δεν λειτουργεί απομονωμένα από άλλα υφιστάμενα δίκτυα όπως το HSPA και το R99 WCDMA. Επομένως σε τέτοιες οριακές περιοχές κάλυψης θα μπορούσαν κάλλιστα οι network optimizers να ορίσουν παραμέτρους intersystem handover.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL1 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL1

UL Rcelledge	545kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	12851kbps
Cell range	0.1113km
DL R	3029,87kbps
DL Tcell	16589kbps

2<sup>o</sup> cell

Το δεύτερο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0.076km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		RS											
11	<b>CELL2</b>	Lsa, cellrange	124			High bit rate	SINRn		21.1345956		Lpmax	121.5		
12		P0	-95			nrb, h		95.4			EIR	4.9		
13		Qpdsch	0.4			Rb, h		513.7			L0l	3		
14						Rh= highest rate		<b>49007</b>			L0pl	18		
15	Noise rise										L0l	0		
16		Nt	-174			Cell trp					Ga	18.6		
17		Wtd	180000			equis P0 as	Prc, d, ave		-105		Lsa, cellrange	123.9		
18		Nr, ma	1			SINRave		11.1345956			Pcr	40		
19		Nr, ru	1.98			Rb, d, ave		395.795553			Prc, d	0.4		
20		Lr	1			Tcell= throughput		<b>45104</b>			F0	2.3		
21		Gma	1								Qpdsch	<b>0.55</b>		
22						Cell size					Qcon	0.118		
23	Thermal Noise	Nrb, ul	-119.461			L0l		3			Nr, ue	7		
24		Rb, ul	-110.892			L0pl		18			Nrb, dl	-114.447215		
25		Bu, ul	3.32801			L0l		0						
26						Ga		18.5			Brdl	18.0575089		
27	Cell edge bit rate					Lpmax		<b>121.5</b>			(also DL control on coverage)			
28						cell range, max, km		<b>0,0752</b>			SINRcolledge	<b>-5.2835102</b>		
29		EIR	4.9								power	1		
30	sm at cell edge	Lsa, celledge	128.9								30	1352.339943		
31	alloc RBs	nrb, celledge	21.0505			BL -L, wall		24			31	34.03		
32		Prc, d, celledge	9.7653								32	18.37		
33		Prc, d, celledge	-119.135								33	-15.8817429		
34		SINRcolledge	-3								Rb, d	31.84532062		
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		Rb, celledge	55.2775											
42		Rcellledge	<b>1375</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
LB				
R	<b>3184,53</b>			
DL Cap				
H	0.36			
F	0.7			
Brdl, ave	13.04375083			
SINRave	7.961091223			
Rb, dl	322.9050836			
Rave, dl	32290.50836			
Tcell	<b>17759,8</b>			

Σχήμα 5.11: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 2 για την περιοχή 1

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL2 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL2 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

## CELL2

---

UL Rcelledge	1375kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15104kbps
Cell range	0.075km
DL R	3184,53kbps
DL Tcell	17759,8kbps

---

3<sup>o</sup> cell

Το τρίτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0.076km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL CAC										DL CAC			
11	<b>CELL3</b>	Lsa_Cellrange	124								Lpmax		121.5	
12		P0	-95								Bwr		4.9	
13		Qpusch	0.4								L0l		3	
14											Lp0l		18	
15	Noise rise										Lc0l		0	
16											Ga		18.6	
17											U		0	
18											Lsa_Cellrange		123.9	
19											Px		40	
20											Pbwr		0.4	
21											Fc		2.3	
22											Qpusch		0.55	
23	Thermal Noise										Qccch		0.118	
24											Nr/ue		7	
25											Nr/dl		-114.447275	
26											Bwdl		18.0675089	
27	Cell edge bit rate										(also DL control or coverage)			
28											SINR@celledge		-6.63853409	
29											modem		1	
30	at cell edge										B0		1352.339843	
31	allc RBS										a1		34.03	
32											a2		-15.8017429	
33											a3		31.84532062	
34											RTO		31.84532062	
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

Σχήμα 5.12:

Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 3 για την περιοχή 1



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL3 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL3 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL3

---

UL Rcelledge	1375kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15104kbps
Cell range	0.075km
DL R	3184,53kbps
DL Tcell	17759,8kbps

---

4<sup>o</sup> cell

Το τέταρτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0.076km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		13								DL C&C			
11	<b>CELL4</b>	Lsa cellrange	124								Lrmax	121,5		
12		P0	-95								Blr	4,9		
13		Qpsch	0,4								L0l	3		
14											L0l1	18		
15	Noise rise										L0l2	0		
16		Nt	-174								Gamma	18,6		
17		Wto	180000								Lj	0		
18		Ntma	1								Lsa cellrange	123,9		
19		Ntlu	1,58								Pt	40		
20		Lt	1								Ptx,ld	0,4		
21		Gamma	1								Fc	2,3		
22											Qpsch	0,55		
23	Thermal Noise	Ntd,ul	-119,461								Occup	0,118		
24		Rfd,ul	-110,882								Nt,ld	7		
25		Bwul	3,32601								Nt,dl	-114,447215		
26											Btdl	18,0575089		
27											(also DL control on coverage)			
28	Cell edge bit rate	Blr	4,9								SINRcelledge	-6,33563403		
29		Lsa cellrange	128,9								noocon	1		
30	ant at cell edge	nrt,celledge	21,0605								30	1352,338943		
31	dllos rfs	Ptx,ld,celledge	9,7653								31	34,03		
32		Rtx,ld,celledge	-119,135								32	18,37		
33		SINRcelledge	-3								33	-15,8817429		
34											RTO	31,84532062		
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lrmax	121,5			
Blr	4,9			
L0l	3			
L0l1	18			
L0l2	0			
Gamma	18,6			
Lj	0			
Lsa cellrange	123,9			
Pt	40			
Ptx,ld	0,4			
Fc	2,3			
Qpsch	0,55			
Occup	0,118			
Nt,ld	7			
Nt,dl	-114,447215			
Btdl	18,0575089			
(also DL control on coverage)				
SINRcelledge	-6,33563403			
noocon	1			
30	1352,338943			
31	34,03			
32	18,37			
33	-15,8817429			
RTO	31,84532062			
LB				
R	3184,53			
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
Bwd,ave	13,04375963			
SINRave	7,561091723			
RTO,dl	322,9650636			
Rave,dl	32290,50036			
Tcell	17759,8			

Σχήμα 5.13: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 4 για την περιοχή 1

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL4 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL4 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

CELL4	
UL Rcelledge	1375kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15104kbps
Cell range	0.075km
DL R	3184,53kbps
DL Tcell	17759,8kbps

5<sup>o</sup> cell

Το πέμπτο cell έχει υπολογιστή στο wikimarìa να έχει απόσταση cellrange=0.079km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>											DL C&C		
10	UL C&C													
11	<b>CELL5</b>	LSA_cellrange	125				High bit rate	SINRth		21.5628233				
12		P0	-95				nTb_n		95.4					
13		Qpusch	0.4				RbD_n		513.7					
14							Rh= highest rate		49007					
15	Noise rise	N1	-174				Cell trp							
16		N1					equais P0 as k	PkULd_ave		-105.714286				
17		W1D	180000				SINRave		10.5485376					
18		N1Tma	1				RbD_UL_ave		388.774315					
19		N1FLU	1.58				<b>Tcell= throughput</b>		14836					
20		L1	1											
21		Gma	1											
22							Cell size							
23	Thermal Noise	NrD_ul	-119.461				L0l		3					
24		RbD_ul	-111.73				L0pl		18					
25		BIUl	2.89788				L0pl		0					
26							G3		18.5					
27							<b>Lrmax</b>		122.5					
28	Cell edge bit rate						<b>cell range, max, km</b>		0.0803					
29		BIr	4.9											
30	am at cell edge	LSA_cellrange	129.9											
31	alloc RBs	nTb_cellrange	18.4622				BL -L wall		24					
32		PuLrD_cellrange	10.3372											
33		PuLrD_cellrange	-119.563											
34		SINRcellrange	-3											
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lrmax		122.5		
BIr		4.9		
L0l		3		
L0pl		18		
L0pl		0		
G3		18.5		
Lj		0		
LSA_cellrange		124.9		
P0		40		
PuLrD		0.4		
Fc		2.3		
Qpusch		0.55		
Cocst		0.118		
N1Tma		7		
NrD_ul		-114.447275		
BIUl		17.07506104		
(also DL control on coverage)				
SINRcellrange		-3.40718518		
nTbDn		1		
BIr		1352.339943		
BIr		34.03		
BIr		18.37		
BIr		-15.8817429		
BIr		31.70535987		
LB				
R		3170.64		
DL Cap				
H		0.36		
F		0.7		
BIUl_ave		12.08919672		
SINRave		7.50955192		
RbD_ul		320.8975335		
RbD_ul		32089.75335		
T cell		17649.4		

Σχίμα 5.14: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 5 για την περιοχή 1

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL5 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL5

---

UL Rcelledge	1205kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14836kbps
Cell range	0.0803km
DL R	3170,64kbps
DL Tcell	17649,4kbps

---



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL6 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL6

---

UL Rcelledge	650kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13331kbps
Cell range	0.1043km
DL R	3071,22kbps
DL Tcell	16890kbps

---

7<sup>o</sup> cell

Το έβδομο cell έχει υπολογιστή στο wikimarip να έχει απόσταση cellrange=0.040km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C	13									Lpmax	112.5		
11	<b>CELL7</b>	Lsa, cellrange	115								Bltr	4.9		
12		P0	-95								L0l	3		
13		Qpsch	0.4								Lp0l	18		
14											Lc0l	0		
15	Noise rise										Ga	18.6		
16		Nf	-174								Uj	0		
17		Wfo	180000								Lsa, cellrange	114.9		
18		Nf, mpa	1								Px	40		
19		Nf, ru	1.58								Pb, rb	0.4		
20		Lf	1								Fc	2.3		
21		Gma	1								Qpsch	0.55		
22											Ocon	0.118		
23	Thermal Noise	Nrb, ul	-119.461								Nf, ue	7		
24											Nrb, dl	-114.44275		
25		lrb, ul	-103.351								Bltr	26.99772505		
26		Blul	8.75918	IRC_Bess	0.6						/also DL control on coverage			
27											SINRcelledge	-6.32355016		
28	Cell edge bit rate	Bltr	4.9								nocon	1		
29		Lsa, celledge	119.9								30	1352.338943		
30	att at cell edge	nrb, celledge	47.7597	qam160	-3						31	34.03		
31	allcc RIs	Pue, rb, celledge	6.20848								32	18.37		
32		Prc, rb, celledge	-113.692								33	-15.8817429		
33		SINRcelledge	-3								Rrb	32.5211078		
34											LB			
35											R	3232.11		
36											DL Cap			
37											H	0.36		
38											F	0.7		
39											Bltr, ave	21.8511988		
40											SINR, ave	8.133651052		
41											Rrb, dl	329.3578577		
42											Rave, dl	32993.78577		
43											Tcell	18146.6		

Σχήμα 5.16: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 7 για την περιοχή 1



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL7 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL7 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL7

---

UL Rcelledge	3118kbps
UL Rh	46306kbps
UL Tcell	15989kbps
Cell range	0.0418km
DL R	3232,11kbps
DL Tcell	18146,6kbps

---



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL8 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL8

---

UL Rcelledge	901kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14170kbps
Cell range	0.0915km
DL R	3131,62kbps
DL Tcell	17345,1kbps

---

9<sup>o</sup> cell

Το ένατο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0.086km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13								Lpmax	123,5		
11	<b>CELL9</b>	Lsa, cellrange	126								Blr'	4,9		
12		P0	-9,5								L0l	3		
13		Qpusch	0,4								Lp0l	18		
14											Lc0l	0		
15	Noise rise										Ga	18,6		
16		Nr	-17,4								Lj	0		
17		Wro	180000								Lsa, cellrange	125,9		
18		NrTma	1								Pv	40		
19		NrTn	1,58								Pk,td	0,4		
20		Lr	1								Fc	2,3		
21		Gema	1								Qpusch	0,51		
22											Qocch	0,118		
23	Thermal Noise	NrD,ul	-119,461								Nr,ue	7		
24											NrD,dl	-114,44775		
25		RbD,ul	-112,558											
26		Blul	2,51007	RfC_Beta	0,6						BlDl	16,09705749		
27											(Also DL control on coverage)			
28	Cell edge bit rate										SINRcelledge	-3,42910253		
29		Blr'	4,9								modcch	1		
30	am at cell edge	Lsa, celledge	130,9								Bl	1352,33843		
31	allot RBs	nrD, celledge	16,0348	qemmo	-3						B1	34,03		
32		Pwr,td, celledge	10,9494								B2	18,37		
33		Pwr,td, celledge	-119,351								B3	-15,8817429		
34		SINRcelledge	-3								RbD	31,53277615		
35											LB			
36											R	3153,28		
37											DL Cap			
38											H	0,36		
39											F	0,7		
40											BlDl, ave	11,16799772		
41											SINRave	7,836352136		
42											RbD, dl	318,4167453		
43											Rave, dl	31841,67453		
											Tcell	17572,9		

Σχήμα 5.18: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 9 για την περιοχή 1

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL9 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL9 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL9

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153.28kbps
DL Tcell	17512.9kbps

---

10° cell

Το δέκατο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0.092km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		127								Lpmax	124.5		
11	<b>CELL 10</b>	Lsa, Cellrange	127								Blr	4.9		
12		P0	-95								L01	3		
13		Qpdsch	0.4								Lp01	18		
14											Lc01	0		
15	Noise rise										Ga	18.6		
16		Nf	-174								Lj	0		
17		Wp0	180000								Ls8, Cellrange	128.9		
18		Nf, Pma	1								P0	40		
19		Nf, P0	1.58								Pk, Lb	0.4		
20		Lf	1								Fc	2.3		
21		Gama	1								Qpdsch	0.55		
22											Qocch	0.118		
23	Thermal Noise	Nth, ul	-119.461								Nf, Ue	7		
24											Nth, dl	-114.447275		
25		lrb, ul	-113.405											
26		Blul	2.16201	RfC_Bea9	0.6						Blul	15.1245919		
27											/also DL control on coverage			
28	Cell edge bit rate	Blr	4.9								SINRcelledge	-5.45671761		
29		Ls8, celledge	131.9								noocch	1		
30	ant at cell edge	ntr0, celledge	13.7997	Qpma0	-3						B0	1362.339843		
31	alloc RBs	Pma, Lb, celledge	11.6013								B1	34.03		
32		Pma, Lb, celledge	-120.299								B2	18.37		
33		SINRcelledge	-3								B3	-15.8817429		
34											RfD	31.31620759		
35											LB			
36											R	3131.62		
37											DL Cap			
38											H	0.36		
39											F	0.7		
40											Eldl, ave	10.2509145		
41											SINR, ave	7.751758402		
42											RfD, dl	315.3648353		
43											Rave, dl	31536.48353		
											Tcell	47346.1		

Σχήμα 5.19: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 10 για την περιοχή 1

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL10 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL10

---

UL Rcelledge	901kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14170kbps
Cell range	0.0915km
DL R	3131,62kbps
DL Tcell	17345,1kbps

---

11° cell

Το ενδέκατο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0.083km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL11</b>	Lsa.cellrange	126			High bit rate	SINRn		21.596513					
12		P0	-95			nTb,n		95.4						
13		Qpusch	0.4			RbD,n		513.7						
14						Rh= highest rate		<b>49007</b>						
15	Noise rise	Nt	-174			Cell trp								
16						equais P0 35 k								
17		Wtd	180000			Prc,d,ave		-105.426571						
18		Nt,Pa	1			SINRave		10.5220599						
19		Nt,ru	1.58			RbD,ave		390.528128						
20		Lt	1			<b>Tcell= throughput</b>		<b>14525</b>						
21		Gama	1											
22						Cell size								
23	Thermal Noise	NrD,ul	-119.461			Lb1		3						
24		RbD,ul	-112.568			Lb0		18						
25		Buid	2.51007			Lb0		0						
26						G3		18.5						
27														
28	Cell edge bit rate					<b>Lpmax</b>		<b>123.5</b>						
29		Ebf	4.9			<b>cell range, max, km</b>		<b>0,0857</b>						
30	sn at cell edge	Lsa.celledge	130.9											
31	sn0c RBs	nTb.celledge	16.0348	gamma0	-3	BL-L wall		24						
32		Prc,d.celledge	10.9494											
33		Prc,d.celledge	-119.951											
34		SINRcelledge	-3											
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		RbD.celledge	65.2775											
42		<b>Rcelledge</b>	<b>1047</b>											
43														

	M	N	O	P
	DL C&C			
	Lpmax		123.5	
	Ebf		4.9	
	Lb1		3	
	Lb0		18	
	Lb0		0	
	G3		18.6	
	Lj		0	
	Lsa.cellrange		125.9	
	P0		40	
	Prc,d		0.4	
	Fo		2.3	
	<b>Qpusch</b>		<b>0,55</b>	
	Ocpn		0.118	
	Nt,ue		7	
	NrD,d		-114.447275	
	Buid		16.09705749	
	(also DL c0rtp0 or covetage)			
	<b>SINRcell0c0</b>		<b>-5.42818263</b>	
	PO0000n		1	
	30		1352.339943	
	31		34.03	
	32		18.37	
	33		-15.8817429	
	RbD		31.5927815	
	LB		<b>R</b>	
			<b>3153,29</b>	
	DL C&P			
	H		0.36	
	F		0.7	
	BID,ave		11.16799772	
	SINRave		7.839582136	
	RbD,d		318.4167453	
	Rave,d		31841.67453	
	<b>Tcell</b>		<b>17542,9</b>	

Σχήμα 5.20: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 11 στην περιοχή 1



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL11 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL11 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL11

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153.28kbps
DL Tcell	17512.9kbps

---

12<sup>o</sup> cell

Το δωδέκατο cell έχει υπολογιστή στο wikimarìa να έχει απόσταση cellrange=0.066km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL 12</b>	Lsa, cellrange	1222								Lpmax	119.5		
12		P0	-95								Eff	4.9		
13		Qpsch	0.4								L01	3		
14											L001	18		
15	Noise rise										L00	0		
16		Nt	-174								Ga	18.6		
17		Wto	180000								U	0		
18		N/Tma	1								Lsa, cellrange	121.9		
19		N/Tru	1.58								Pk	40		
20		L7	1								Pk,rb	0.4		
21		Gama	1								Fo	2.3		
22											Qpsch	0.55		
23	Thermal Noise	Nrb, ul	-119.461								Occup	0.118		
24		Rb, ul	-109.216								N/Tue	7		
25		Buid	4.30181	R/C_Beta	0.6						Nrb, dl	-114.44775		
26											Bidi	20.00296883		
27											(also DL control on cellrange)			
28	Cell edge bit rate	Bit	4.9								SINRcelledge	-5.35415557		
29		Lsa, celledge	126.9								modem	1		
30	att at cell edge	nrb, celledge	26.6618	gamma0	-3						30	1352.338943		
31	allco RBs	Pwa,rb, celledge	8.74111								31	34.03		
32		SINRcelledge	-118.159								32	18.37		
33			-3								33	-15.881729		
34											RFD	32.04459732		
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	119.5			
Eff	4.9			
L01	3			
L001	18			
L00	0			
Ga	18.6			
U	0			
Lsa, cellrange	121.9			
Pk	40			
Pk,rb	0.4			
Fo	2.3			
Qpsch	0.55			
Occup	0.118			
N/Tue	7			
Nrb, dl	-114.44775			
Bidi	20.00296883			
(also DL control on cellrange)				
SINRcelledge	-5.35415557			
modem	1			
30	1352.338943			
31	34.03			
32	18.37			
33	-15.881729			
RFD	32.04459732			
LB				
R	3204.49			
DL C&C				
H	0.36			
F	0.7			
Bidi, ave	14.9635			
SINRave	8.041348958			
Rb, dl	325.8250247			
Rave, dl	32582.59247			
Tcell	17920.4			

Σχήμα 5.21: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 12 στην περιοχή 1

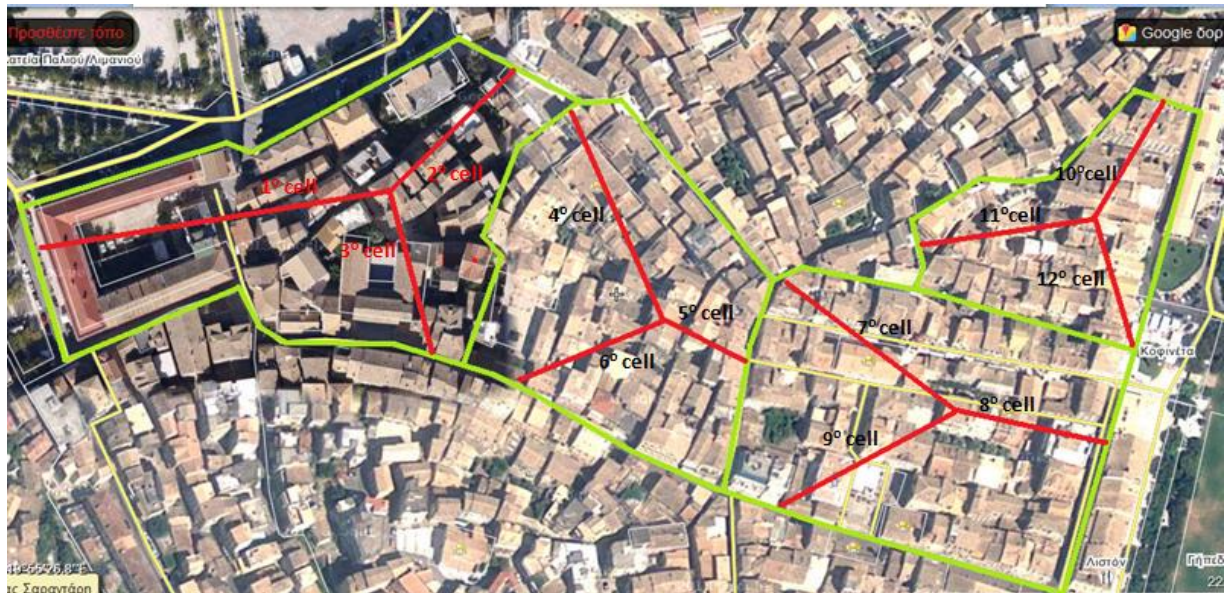
Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL12 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL12 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL12

UL Rcelledge	1740kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.066km
DL R	3204,49kbps
DL Tcell	17920,4kbps

### Περιοχή 2

Την δεύτερη περιοχή κάλυψης την έχουμε χωρίσει σε τέσσερις υποπεριοχές, όπου για την κάθε μία υποπεριοχή θα χρησιμοποιήσουμε έναν σταθμό βάσης με τρία cells.



Σχήμα 5.22: Περιοχή2 Παλαιάς Πόλης

1<sup>o</sup> cell

Το πρώτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,0142km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		133								DL C&C			
11	<b>CELL1</b>	Lsa.cellrange	133								Lrmax	130,5		
12		P0	-95								Blr'	4,9		
13		Qpusch	0,4								L0l	3		
14											L0pl	18		
15	Noise rise										L0ol	0		
16		Nr	-174								Gs	18,6		
17		Wro	180000								Lj	0		
18		Nrma	1								Lsa.cellrange	132,9		
19		NrFu	1,58								Pv	40		
20		Lf	1								Pkr,rb	0,4		
21		Gmsa	1								Fc	2,3		
22											Qpdsch	0,55		
23	Terminal Noise	NrD_ul	-119,461								Qcon	0,118		
24		RrD_ul	-118,432								NrLse	7		
25		BWul	0,00173								NrD_dl	-114,447215		
26											BlDl	9,505242073		
27	Cell edge bit rate										(also DL control ch coverage)			
29		Blr'	4,9								SINRcelledge	-6,83795723		
30	ant.at.cell edge	Lsa.celledge	137,9								r00000h	1		
31	8100 RBs	nrD.celledge	4,7413								30	1352,338943		
32		Pus,rb.celledge	16,241								31	34,03		
33		Pkr,rb.celledge	-121,659								32	18,37		
34		SINRcelledge	-3								33	-15,8817429		
35											RrD	28,40752344		
36											LB			
37											R	2840,75		
38											DL Cap			
39											H	0,36		
40											F	0,7		
41											BlDl,ave	5,329366023		
42											SINR,ave	5,675453332		
43											RrD,dl	278,329198		
											RrD,dl	278332,9198		
											Tcell	15308,1		

Σχήμα 5.23 Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 1 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL1 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL1

---

UL Rcelledge	310kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	11203kbps
Cell range	0.1354km
DL R	2840,75kbps
DL Tcell	15308,1kbps

---

2<sup>o</sup> cell

Το δεύτερο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,075km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		124								Lprmax		121,5	
11	<b>CELL2</b>	Lsa, cellrange									Blrt		4,9	
12		P0	-95								L01		3	
13		Qpdsch	0,4								L001		18	
14											Ga		0	
15	Noise rise										Uj		18,6	
16		Nr	-174								Lsa, cellrange		123,9	
17		Wtd	180000								Cell trp			
18		NrTma	1								equale P0 as k			
19		NrTl	1,58								Prc, Lb, ave		-105	
20		Lr	1								SINRave		11,13465985	
21		Gvma	1								Rtd, ul, ave		355,756533	
22											<b>Tcell= throughput</b>		<b>15104</b>	
23	Thermal Noise	NrD, ul	-119,461								Cell size			
24		Rtd, ul	-110,8921								L01		3	
25		Bvul	3,32801								L001		18	
26											Ga		0	
27											Lrmax		<b>121,5</b>	
28	Cell edge bit rate	Blrt	4,9								<b>cell range, max, km</b>		<b>0,0752</b>	
29	ant at cell edge	Lsa, cellrange	123,9											
30	altos RBs	nrb, cellrange	21,6605											
31		Prc, Lb, cellrange	8,7853								BL-L wall		24	
32		Rtd, Lb, cellrange	-119,135											
33		SINRcellrange	-3											
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		Rtd, cellrange	55,2775											
42		<b>Rcellledge</b>	<b>1375</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lprmax				121,5
Blrt				4,9
L01				3
L001				18
L001				0
Ga				18,6
Uj				0
Lsa, cellrange				123,9
Prc				40
Prc, Lb				0,4
Fc				2,3
<b>Qpdsch</b>				<b>0,55</b>
Qccn				0,118
NrTma				7
NrD, dl				-114,44775
Bvdl				18,0575089
(also DL control on coverage)				
SINRcellrange				<b>-5,33557402</b>
nrb, cellrange				1
Prc, Lb, cellrange				1352,339843
Rtd, Lb, cellrange				34,03
Rtd, dl				18,37
Rtd				-15,8817429
				\$1,845320652
DL C&P				
H				0,36
F				0,7
Bvdl, ave				13,04575853
SINRave				7,351091223
Rtd, dl				322,9050836
Rave, dl				32250,50036
<b>Tcell</b>				<b>17759,8</b>

Σχήμα 5.24: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 2 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL2 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL2 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL2

---

UL Rcelledge	1375kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15104kbps
Cell range	0.0752km
DL R	3184,53kbps
DL Tcell	17759,8kbps

---





Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL3 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL3 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL3

---

UL Rcelledge	1554kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15330kbps
Cell range	0.0704km
DL R	3195,63kbps
DL Tcell	17848,8kbps

---

### 4<sup>ο</sup> cell

Το τέταρτο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,100km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		153								DL C&C			
11	<b>CELL4</b>	Lsa_cellrange	128								Lrmax	125,5		
12		P0	-95				High bit rate	SINR <sub>h</sub>			Btr	4,9		
13		Qpsch	0,4				nrb <sub>h</sub>				L0l	3		
14							Rrb <sub>h</sub>				L0l	18		
15	Noise rise						<b>Rh= highest rate</b>				L0l	0		
16		NR	-174								GA	18,6		
17		Wro	180000				Cell trp				Ls_cellrange	127,9		
18		Nf <sub>trns</sub>	1				equas p0 as w	Prc <sub>td</sub> ave			Prc	40		
19		Nf <sub>ru</sub>	1,58				SINR <sub>ave</sub>				Prc <sub>td</sub>	0,4		
20		Lf	1				Rrb <sub>td</sub> ave	<b>Tcell= throughput</b>			Fc	2,3		
21		Gema	1								<b>Qpsch</b>	<b>0,55</b>		
22							Cell size				Qocch	0,118		
23	Thermal Noise	Nrb <sub>ul</sub>	-119,461				L0l				Nf <sub>de</sub>	7		
24		nrb <sub>ul</sub>	-114,243				L0l				Nrb <sub>di</sub>	-114,447275		
25		Btr <sub>ul</sub>	1,85243				L0l							
26							GA				Btr <sub>l</sub>	14,15900928		
27							<b>Lrmax</b>				(also DL control or coverage)			
28	Cell edge bit rate	Btr	4,9				<b>cell range, max, km</b>				<b>SINRcelledge</b>	<b>-5,49115112</b>		
29		Lsa_celledge	192,9								nrb <sub>occh</sub>	1		
30	ant at cell edge	nrb <sub>celledge</sub>	11,7714								B0	1352,338943		
31	aiioc RBS	Prc <sub>td</sub> celledge	12,2917								B1	34,03		
32		Prc <sub>td</sub> celledge	-120,608								B2	18,37		
33		SINRcelledge	-3								B3	-15,8817429		
34											Rrb	31,04688853		
35											<b>LB</b>			
36											<b>R</b>	<b>3104,67</b>		
37											<b>DL CAP</b>			
38											H	0,36		
39											F	0,7		
40											Btr <sub>l</sub> ave	9,357900518		
41											SINR <sub>ave</sub>	7,54543336		
42											Rrb <sub>td</sub> di	311,6307052		
43											Rave <sub>td</sub> di	31153,07052		
											<b>Tcell</b>	<b>17139,7</b>		

Σχήμα 5.26: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 4 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL4 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

#### CELL4

---

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.0977km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

---

5° cell

Το πέμπτο cell έχει υπολογιστή στο wikimarια να έχει απόσταση cellrange=0,038km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL CAC			
10	UL CAC		13											
11	<b>CELL5</b>	Lsa, Cellrange	114								Lrmax	11,5		
12		P0	-95								Blr	4,9		
13		Qpusch	0,4								L0l	3		
14											L0pl	18		
15	Noise rise										L0cl	0		
16											Ga	18,6		
17											Lj	0		
18											Lsa, cellrange	13,9		
19											P0	40		
20											P0r	40		
21											p0r,d	0,4		
22											Fg	2,3		
23	Thermal Noise										Qpdsch	0,55		
24											Qocn	0,118		
25											Nr,ue	7		
26											Nr,d,il	-114,447275		
27											Bl,d	127,3890485		
28	Cell edge hit rate										(also DL control on coverage)			
29											SINRcelledge	-5,323117164		
30	at cell edge										rhoocn	1		
31	at cell edge										rho	1392,339943		
32	at cell edge										rho	34,03		
33	at cell edge										rho	18,37		
34	at cell edge										rho	-15,8817429		
35											rho	32,39090951		
36											LB			
37											R	3,239,05		
38											DL Cap			
39											H	0,36		
40											F	0,7		
41											Bl,d,ave	122,6227485		
42											SINR,ave	8,182101307		
43											R,ave,dl	330,5845292		
											R,ave,dl	33068,45292		
											Tcell	18204,1		

Σχήμα 5.27: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 5 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL5 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL5

---

UL Rcelledge	3314kbps
UL Rh	45263kbps
UL Tcell	15971kbps
Cell range	0.0391km
DL R	3239,05kbps
DL Tcell	18204,1kbps

---

6° cell

Το έκτο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,065km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13								Lpmax	119,5		
11	<b>CELL6</b>	Lsa, cellrange	122								Blr	4,9		
12		P0	-95								Lol	3		
13		Qpusch	0,4								Lopl	18		
14											Lool	0		
15	Noise rise										Ga	18,6		
16		Nr	-174								Lj	0		
17		Wro	180000								Lsa, cellrange	121,9		
18		Nrma	1								Pv	40		
19		NrFu	1,58								Px, rd	0,4		
20		Lf	1								Fc	2,3		
21		Gama	1								Qpdsch	0,55		
22											Qcon	0,118		
23	Thermal Noise	NrD, ul	-119,461								Nr, ue	7		
24											NrD, dl	-114,447275		
25		lrb, ul	-109,216								BlrD	20,00226883		
26		Blul	4,30181	RC_Beta	0,6						(also DL control on coverage)			
27											procon	1		
28	Cell edge bit rate	Blr	4,9								30	1352,338943		
29		Lsa, celledge	126,9								31	34,03		
30	snr at cell edge	nrD, celledge	26,6518	gamma0	-3						32	18,37		
31	dlcc RBs	Pu, rd, celledge	8,74111								33	-15,8817429		
32		Pu, rd, celledge	-118,159								Rtd	32,04490752		
33		SINR, celledge	-3								LB			
34											R	3204,49		
35											DL C&P			
36											H	0,36		
37											F	0,7		
38											Blul, ave	14,9635		
39											SINR, ave	8,041349838		
40											Rtd, dl	325,82502427		
41											Rave, dl	32582,502427		
42											Rcelledge	1740		
43											Tcell	17920,4		

Σχήμα 5.28: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 6 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL6 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL6 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL6

---

UL Rcelledge	1740kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15518kbps
Cell range	0.066km
DL R	3204,49kbps
DL Tcell	17920,4kbps

---

7<sup>ο</sup> cell

Το έβδομο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,091km.

Σχήμα 5.29:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	DL C&C		13											
11	<b>CELL7</b>	Lsa, cellrange	127					High bit rate	SINR <sub>h</sub>	22.298916				
12		P0	-95					nT <sub>0,h</sub>	95.4					
13		Qpusch	0.4					R <sub>0,h</sub>	513.7					
14								<b>R<sub>h</sub> = highest rate</b>	<b>49007</b>					
15	Noise rise	N <sub>r</sub>	-174					Cell trp						
16		W <sub>0</sub>	180000					equis P0 as						
17		N <sub>r</sub> tr <sub>0</sub>	1					P <sub>r</sub> k <sub>0</sub> , ave	-107.142857					
18		N <sub>r</sub> tr <sub>0</sub>	1.58					SINR <sub>ave</sub>	10.1558345					
19		L <sub>r</sub>	1					R <sub>0</sub> , w <sub>0</sub> , ave	371.3362655					
20		G <sub>0</sub>	1					<b>Tcell = throughput</b>	<b>14170</b>					
21														
22								Cell size						
23	Thermal Noise	N <sub>r</sub> tr <sub>0</sub> , ul	-119.461					L <sub>0</sub>	3					
24		R <sub>0</sub> , ul	-113.408					L <sub>0</sub>	18					
25		B <sub>0</sub> , ul	2.16201					L <sub>0</sub>	0					
26								G <sub>0</sub>	18.5					
27								<b>L<sub>r</sub>max</b>	<b>124.5</b>					
28	Cell edge bit rate							<b>cell range, max, km</b>	<b>0,0915</b>					
29		Bl <sub>r</sub>	4.9											
30	Bl <sub>r</sub> at cell edge	Lsa, cellrange	131.9											
31	Bl <sub>r</sub> at cell edge	n <sub>r</sub> tr <sub>0</sub> , cellrange	13.797					BL-L wall	24					
32		P <sub>r</sub> k <sub>0</sub> , cellrange	11.6013											
33		P <sub>r</sub> k <sub>0</sub> , cellrange	-120.299											
34		SINR <sub>cellrange</sub>	-3											
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		R <sub>0</sub> , cellrange	65.2775											
42		<b>R<sub>0</sub>, cellrange</b>	<b>901</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
L <sub>r</sub> max	124.5			
Bl <sub>r</sub>	4.9			
L <sub>0</sub>	3			
L <sub>0</sub>	18			
L <sub>0</sub>	0			
G <sub>0</sub>	18.6			
L <sub>r</sub>	0			
Lsa, cellrange	128.9			
P <sub>r</sub> k	40			
P <sub>r</sub> k <sub>0</sub>	0.4			
F <sub>0</sub>	2.3			
Qpusch	<b>0.55</b>			
Open	0.118			
N <sub>r</sub> tr <sub>0</sub>	7			
N <sub>r</sub> tr <sub>0</sub> , dl	-114.447275			
Bl <sub>r</sub>	15.1245919			
(also DL control on coverage)				
SINR <sub>cellrange</sub>	<b>-6.45671764</b>			
n <sub>r</sub> tr <sub>0</sub>	1			
Bl <sub>r</sub>	1352.338943			
Bl <sub>r</sub>	34.03			
Bl <sub>r</sub>	18.37			
Bl <sub>r</sub>	-15.8817429			
R <sub>0</sub>	313.1620759			
DL Cap				
H	0.36			
F	0.7			
Bl <sub>r</sub> , ave	10.26306145			
SINR <sub>ave</sub>	7.751758402			
R <sub>0</sub> , dl	315.3646353			
R <sub>0</sub> , dl	31536.483353			
Tcell	<b>17345.1</b>			

Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 7 στην περιοχή 2



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL7 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL7

---

UL Rcelledge	901kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14170kbps
Cell range	0.0915km
DL R	3131,62kbps
DL Tcell	17345,1kbps

---

8<sup>o</sup> cell

Το όγδοο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,064km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL8</b>	Lsa, cellrange	122											
12		P0	-95											
13		Qpusch	0,4											
14														
15	Noise rise	NR	-174											
16														
17		WVD	180000											
18		NrTms	1											
19		NrTn	1,58											
20		Lf	1											
21		Gms	1											
22														
23	Thermal Noise	Nrb, ul	-119,461											
24		Rb, ul	-109,216											
25		Bl, ul	4,20181	RfC_Bias	0,6									
26														
27														
28	Cell edge bit rate	Bl, r	4,9											
29		Lsa, cellrange	126,9											
30	at cell edge	nrTb, cellrange	26,6618	gamma0	-3									
31	dlcc RfEs	Pwr, rb, cellrange	8,74111											
32		Pwr, rb, cellrange	-118,159											
33		SINR, cellrange	-3											
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		RfD, cellrange	65,2775											
42		Rcelledge	1740											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lrmax	119,5			
Bl, r	4,9			
Lol	3			
Lop1	18			
Lop2	0			
GA	18,6			
Lj	0			
Lsa, cellrange	121,9			
P0	40			
Pb, rb	0,4			
F0	2,3			
Qpusch	0,55			
Qccch	0,118			
NrTn	7			
NrTn, dl	-114,447275			
Bl, dl	20,03236883			
(also DL control on coverage)				
SINR, cellrange	-3,344593			
gamma0	1			
gamma0	1352,338943			
gamma0	34,03			
gamma0	18,37			
gamma0	-15,8817429			
gamma0	32,04450752			
LB				
R	3204,49			
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
Bl, dl, ave	14,9635			
SINR, ave	8,041349559			
RfD, dl	325,8250247			
RfD, dl	32592,50247			
Tcell	17920,4			

Σχήμα 5.30: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 8 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL8 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL8 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL8

---

UL Rcelledge	1740kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15518kbps
Cell range	0.066km
DL R	3204,49kbps
DL Tcell	17920,4kbps

---



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL9 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL9 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL9

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153,28kbps
DL Tcell	17512,9kbps

---

10<sup>o</sup> cell

Το δέκατο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,059km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		RS								DL C&C			
11	<b>CELL10</b>	Lsa, cellrange	121			High bit rate	SINRN		19,5135908		Lpmax	118,5		
12		P0	-95			nrb,h		95,4			Blvt	4,9		
13		Qpsch	0,4			Rrb,h		513,595519			Lbl	3		
14						<b>Rh= highest rate</b>		<b>49006</b>			Lop1	18		
15	Noise rise										Lop2	0		
16		NR	-174			Cell trp					Gamma	18,6		
17		Wro	180000			equale P0 as					Lsa, cellrange	120,9		
18		NRma	1			Prc,rb,ave		-102,267143			Px	40		
19		NRru	1,58			SINRave		11,7965379			Prc,rb	0,4		
20		L7	1			Rrb,ul,ave		410,523449			Fc	2,3		
21		Gamma	1			<b>Tcell= throughput</b>		<b>15670</b>			Qpsch	0,55		
22											Ocpn	0,118		
23	Thermal Noise	NRd,ul	-119,461			Cell size					NRue	7		
24		Rrb,ul	-108,378			Lbl					NRd,dl	-114,447275		
25		Blvt	4,84702			Lop1					Blvt	21,02349388		
26						Lop2					(also DL control on coverage)			
27						Gamma		18,5			SINRcellrange	6,33551592		
28	Cell edge bit rate					<b>Lpmax</b>		<b>118,5</b>			modcon	1		
29		Blvt	4,9			<b>cell range, max, km</b>		<b>0,0618</b>			30	1352,339943		
30	ant at cell edge	Lsa, celledge	125,9								31	34,03		
31	alloc RBs	nrb,celledge	29,6852								32	18,37		
32		Prc,rb,celledge	8,20632								33	-15,8017429		
33		Prc,rb,celledge	-117,514								Rrb	32,11553509		
34		SINRcelledge	-3											
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
DL CAP														
H													0,36	
F													0,7	
Blvt,ave													15,93492165	
SINRave													8,065928206	
Rrb,dl													326,0995271	
Rave,dl													32685,86271	
Tcell													<b>17977,8</b>	

Σχήμα 5.32: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 10 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL10 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL10 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL10

---

UL Rcelledge	1933kbps
UL Rh	49006kbps
UL Tcell	15670kbps
Cell range	0,0618km
DL R	3211,55kbps
DL Tcell	17977,8kbps

---





Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL11 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL11 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL11

---

UL Rcelledge	1375kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15104kbps
Cell range	0.0752km
DL R	3184,53kbps
DL Tcell	17759,8kbps

---



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL12 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL12 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL12

---

UL Rcelledge	1933kbps
UL Rh	49006kbps
UL Tcell	15670kbps
Cell range	0.0618km
DL R	3211,55kbps
DL Tcell	17977,8kbps

---

### Περιοχή 3

Την τρίτη περιοχή κάλυψης την έχουμε χωρίσει σε τρεις υποπεριοχές, όπου για την κάθε μία υποπεριοχή θα χρησιμοποιήσουμε έναν σταθμό βάσης με τρία cells.



Σχήμα 5.35: Περιοχή3 Παλαιάς Πόλης

1<sup>o</sup> cell

Το πρώτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,151km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C		N3								DL C&C			
11	<b>CELL1</b>	Lsa, cellrange	134			High bit rate	SINRth		23,7893557		Lrmax	131,5		
12		P0	-95			nTb,h		95,4			Bitr	4,9		
13		Qpusch	0,4			RbD,h		513,7			L0l	3		
14						<b>Rh= highest rate</b>		<b>49007</b>			L0l	18		
15	Noise rise										L0l	0		
16		NI	-174			Cell trp					L	0		
17		WTD	180000			equais P0 as k	PkLb,ave		-112,142857		Lsa, cellrange	133,9		
18		NrTma	1			SINRave		6,64649553			P0r	40		
19		NrTl	1,58			RbD,ul,ave		277,831256			pkLbD	0,4		
20		L7	1			<b>Tcell= throughput</b>		<b>10602</b>			F0	2,3		
21		Gms	1								<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>		
22						Cell size					Coen	0,118		
23	Thermal Noise	NrD,ul	-119,461			L0l		3			NrTue	7		
24		RbD,ul	-119,27			L0l		18			NrD,dl	-114,447215		
25		Bul	0,67135			L0l		0			BIDl	8,629465954		
26						G3		18,5			(also DL control on coverage)			
27											SINRcellrange	-6,86159218		
28	Cell edge bit rate	Bitr	4,9			<b>Lrmax</b>		<b>131,5</b>			/000001			
29		Lsa, cellrange	138,9			<b>cell range, max, km</b>		<b>0,1446</b>			80	1352,338943		
30	ant at cell edge	nTb, cellrange	3,88093								81	34,03		
31	ant at cell edge	PkLb, cellrange	17,1106								82	18,37		
32		PkLb, cellrange	-121,789								83	-15,8817429		
33		SINRcellrange	-3								RbD	27,49203501		
34											LB			
35											<b>R</b>	<b>2749,2</b>		
36											DL Cap			
37											H	0,36		
38											F	0,7		
39											BIDl,ave	4,647082486		
40											SINRave	6,357673259		
41											RbD,dl	287,9514046		
42											Rave,dl	26735,14046		
43											<b>Tcell</b>	<b>14737,3</b>		

Σχήμα 5.36: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 1 στην περιοχή 3

Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL1 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL1

---

UL Rcelledge	253kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	10602kbps
Cell range	0.1446km
DL R	2749,2kbps
DL Tcell	14737,3kbps

---

2<sup>o</sup> cell

Το δεύτερο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,096km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL2</b>	Lsa.cellrange	128				High bit rate	SINRn		22.6062747		Lpmax	125.5	
12		P0	-95				nTb,n		95.4			Bltr	4.9	
13		Qpusch	0.4				Rb,n		513.7			Lb1	3	
14							<b>Rh= highest rate</b>			<b>49007</b>		Lb0	18	
15	Noise rise	Nr	-174				Cell trp					Lc0	0	
16		Nr					equais P0 as n					Lc0	0	
17		Nrb	180000				Prc,r/b,ave			-107.667143		Lsa.cellrange	127.9	
18		NrTma	1				SINRave			9.7511318		Prc	40	
19		NrTn	1.58				RbD,ul,ave			360.501354		Prc,r/b	0.4	
20		Lr	1				<b>Tcell= throughput</b>			<b>13772</b>		Fc	2.3	
21		Gma	1									<b>Opdsch</b>	<b>0,55</b>	
22							Cell size					Opdsch	0.118	
23	Thermal Noise	Nrb,ul	-119.461				Lb1					NrTn	7	
24		RbD,ul	-114.243				Lb0					Nrb,dl	-114.447275	
25		Blul	1.85243				Lc0							
26							Ga			18.5		Blul	14.15906928	
27							<b>Lpmax</b>			<b>125.5</b>		(Also DL control on coverage)		
28	Cell edge bit rate						<b>cell range, max, km</b>			<b>0,0977</b>		SINRcelledge	<b>-6,45113412</b>	
29		Bltr	4.9									modsch	1	
30	ant at cell edge	Lsa.celledge	132.9									a0	1352.338943	
31	dllos PDS	nTb,celledge	11.7714				BL-L wall					a1	34.03	
32		Prc,r/b,celledge	12.2917									a2	18.37	
33		Prc,r/b,celledge	-120.608									a3	-15.8817429	
34		SINRcelledge	-3									RbD	31.04658685	
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		RbD,celledge	65.2775											
42		<b>Rcelledge</b>	<b>768</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	125.5			
Bltr	4.9			
Lb1	3			
Lb0	18			
Lc0	0			
Ga	18.6			
Lj	0			
Lsa.cellrange	127.9			
Prc	40			
Prc,r/b	0.4			
Fc	2.3			
<b>Opdsch</b>	<b>0,55</b>			
Opdsch	0.118			
NrTn	7			
Nrb,dl	-114.447275			
Blul	14.15906928			
(Also DL control on coverage)				
SINRcelledge	<b>-6,45113412</b>			
modsch	1			
a0	1352.338943			
a1	34.03			
a2	18.37			
a3	-15.8817429			
RbD	31.04658685			
LB	<b>R</b>	<b>3104,67</b>		
DL Cap	H	0.36		
F		0.7		
EbDl,ave	9.357900518			
SINRave	7.545345336			
RbD,dl	311.5207052			
Rave,dl	31153.07052			
<b>Tcell</b>	<b>17439,7</b>			

Σχήμα 5.37: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 2 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL2 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL2

---

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.0977km
DL R	310467kbps
DL Tcell	17139,7kbps

---



3° cell

Το τρίτο cell έχει υπολογιστή στο wikimania να έχει απόσταση cellrange=0,065km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL CAC			
10	UL CAC		83											
11	<b>CELL3</b>	Lsa, cellrange	122			High bit rate	SINR <sub>h</sub>	20,1333349			Lp <sub>max</sub>	119,5		
12		P0	-95			n <sub>T0,h</sub>	55,4				Bl <sub>r</sub>	4,9		
13		Qpusch	0,4			R <sub>0,h</sub>	513,7				L <sub>01</sub>	3		
14						Rh = highest rate	<b>49007</b>				L <sub>001</sub>	18		
15	Noise rise	Nt	-174			Cell trp					G <sub>0</sub>	18,6		
16		W <sub>0</sub>	180000			equis P0 as p <sub>PR<sub>0</sub>,ave</sub>	-103,571429				L <sub>0</sub>	0		
17		N <sub>T<sub>max</sub></sub>	1			SINR <sub>ave</sub>	11,5874654				LB	<b>R</b>	<b>3204,49</b>	
18		N <sub>T<sub>ru</sub></sub>	1,38			R <sub>0,ul,ave</sub>	406,553204				DL Cap	H	0,36	
19		L <sub>r</sub>	1			<b>Tcell = throughput</b>	<b>15518</b>				F	0,7		
20		G <sub>ma</sub>	1			Cell size					Bl <sub>0,ave</sub>	14,56335		
21						L <sub>01</sub>	3				SINR <sub>ave</sub>	8,041349358		
22						L <sub>001</sub>	18				R <sub>0,dl</sub>	325,8250247		
23	Thermal Noise	N <sub>0,ul</sub>	-119,461			G <sub>0</sub>	18,5				R <sub>ave,dl</sub>	32582,50247		
24		Bl <sub>0,ul</sub>	-109,216			Lp <sub>max</sub>	<b>119,5</b>				<b>Tcell</b>	<b>17920,4</b>		
25		Bl <sub>0,ul</sub>	4,30181	RC_Beta	0,6	cell range, max, km	<b>0,066</b>							
26														
27														
28	Cell edge bit rate	Bl <sub>r</sub>	4,9											
29	ant at cell edge	Lsa, celledge	126,9											
30	ant at cell edge	n <sub>T0, celledge</sub>	26,6618	cap <sub>max0</sub>	-3	EL-L wall	24							
31	dl0c RBs	P <sub>0,ul, celledge</sub>	8,74111											
32		P <sub>0,ul, celledge</sub>	-116,159											
33		SINR <sub>celledge</sub>	-3											
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		R <sub>0, celledge</sub>	65,2775											
42		R <sub>celledge</sub>	<b>1740</b>											
43														

Σχήμα 5.38: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 3 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL3 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL3 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL3

---

UL Rcelledge	1740kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15518kbps
Cell range	0.066km
DL R	3204,49kbps
DL Tcell	17920,4kbps

---

4<sup>o</sup> cell

Το τέταρτο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,085km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL4</b>	Lsa cellrange	126								Lpmax	123,5		
12		P0	-95								Blr	4,9		
13		Qpusch	0,4								Lbl	3		
14											Lpl	18		
15	Noise rise										Lpl	0		
16											Ga	18,6		
17		Nt	-174								Lj	0		
18		Wtd	180000								Lsa cellrange	125,9		
19		Ntma	1								Px	40		
20		Ntvd	1,58								Px	0,4		
21		Lt	1								Px	0,4		
22		Gma	1								Fg	2,3		
23	Thermal Noise	Ntd,ul	-119,461								Qpdsch	0,55		
24											Ocn	0,118		
25		Rtd,ul	-112,668								Nt,ue	7		
26		Blu	2,51007								Ntd,dl	-114,44725		
27											Bl,dl	16,09705749		
28	Cell edge bit rate										(also DL control cellrange)			
29		Blr	4,9								SINRcelledge	-5,4291025		
30	at cell edge	Lsa cellrange	130,9								npocsn	1		
31	at cell edge	ntrd cellrange	16,0348								npocsn	1		
32	at cell edge	Pue,td cellrange	10,9494								npocsn	1		
33		Px,td cellrange	-119,951								npocsn	1		
34		SINRcelledge	-3								npocsn	1		
35											npocsn	1		
36											npocsn	1		
37											npocsn	1		
38											npocsn	1		
39											npocsn	1		
40											npocsn	1		
41		Rtd cellrange	55,2775								npocsn	1		
42		Rcelledge	1047								npocsn	1		
43											npocsn	1		

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	123,5			
Blr	4,9			
Lbl	3			
Lpl	18			
Lpl	0			
Ga	18,6			
Lj	0			
Lsa cellrange	125,9			
Px	40			
Px	0,4			
Fg	2,3			
Qpdsch	0,55			
Ocn	0,118			
Nt,ue	7			
Ntd,dl	-114,44725			
Bl,dl	16,09705749			
(also DL control cellrange)				
SINRcelledge	-5,4291025			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
npocsn	1			
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
Bl,dl,ave	11,16799772			
SINR,ave	7,839852106			
Rtd,dl	318,4167453			
Rave,dl	31841,67453			
Tcell	17612,9			

Σχήμα 5.39: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 4 στην περιοχή 2

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL4 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL4 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

#### CELL4

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153,28kbps
DL Tcell	17512,9kbps

---

5<sup>ο</sup> cell

Το πέμπτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,086km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13								Lpmx	123,5		
11	<b>CELL5</b>	Lsa, cellrange	126								Eff	4,9		
12		P0	-95								L01	3		
13		Qpusch	0,4								Lp01	18		
14											Lp01	0		
15	Noise rise										GA	18,6		
16		Nt	-174								Lj	0		
17		Wto	180000								Lsa, cellrange	125,9		
18		Ntma	1								equas P0 as RPrx,0,ave	-106,428571		
19		Nt,ru	1,58								SINR,ave	10,5220589		
20		Lf	1								RTO,0,ave	390,528128		
21		Gma	1								<b>Tcell= throughput</b>	<b>14525</b>		
22														
23	Thermal Noise	Ntd, ul	-119,461								Cell size			
24		Rfd, ul	-112,568								L01	3		
25		Bw, ul	251007								Lp01	18		
26											Lp01	0		
27											GA	18,5		
28	Cell edge bit rate										<b>Lpmax</b>	<b>123,5</b>		
29		Eff	4,9								<b>cell range, max, km</b>	<b>0,0857</b>		
30	ant at cell edge	Lsa, celledge	130,9											
31	dl0c rfs	n, to, celledge	16,0348								BL -L wall	24		
32		P, ue, to, celledge	10,9494											
33		P, rx, to, celledge	-119,991											
34		SINR, celledge	-3											
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		Rfd, celledge	65,2775											
42		<b>Rcelledge</b>	<b>1047</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmx	123,5			
Eff	4,9			
L01	3			
Lp01	18			
Lp01	0			
GA	18,6			
Lj	0			
Lsa, cellrange	125,9			
equas P0 as RPrx,0,ave	-106,428571			
P0	40			
P, rx, to	0,4			
F0	2,3			
<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>			
Occn	0,118			
Nt, ue	7			
Ntd, dl	-114,447215			
Bwd	16,09705749			
(also DL control ch coverage)				
SINR, celledge	<b>-4,4291285</b>			
rooccn	1			
30	1352,338943			
31	34,03			
32	18,37			
33	-15,8817429			
Rfd	31,5327615			
LB				
<b>R</b>	<b>3153,28</b>			
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
Bwd, ave	11,16798772			
SINR, ave	7,839582136			
Rfd, dl	318,4167453			
Rave, dl	31841,67453			
<b>Tcell</b>	<b>17542,9</b>			

Σχήμα 5.40: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 5 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL5 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

#### CELL5

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153,28kbps
DL Tcell	17512,9kbps

---

6° cell

Το έκτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,068km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL6</b>	Lsa cellrange	123									Lpmax	120,5	
12		P0	-95									Blrt	4,9	
13		Qpdsch	0,4									Lbl	3	
14												Lppl	18	
15	Noise rise											Lcpl	0	
16		Nr	-174									Ga	18,6	
17		Wno	180000									Lj	0	
18		NrTma	1									Lsa cellrange	122,9	
19		NrTn	1,58									Pc	40	
20		Lr	1									Pkrd	0,4	
21		Gema	1									Fe	2,3	
22												Qpdsch	0,55	
23	Thermal Noise	Nrd ul	-119,461									Qcch	0,118	
24		Rb ul	-110,054									NrTn	7	
25		Blul	3,79428	IRC_Beta	0,6							Nrd dl	-114,447275	
26												Blul	19,043516	
27												(also DL control on coverage)		
28	Cell edge bit rate	Blrt	4,9									SINRcelledge	-5,2755112	
29		Lsa celledge	127,9									Powerch	1	
30	att at cell edge	nTb celledge	23,8036	qammap0	-3							30	1352,339943	
31	attc RBs	PwrTb celledge	9,23358									31	34,03	
32		PwrLb celledge	-118,666									32	18,37	
33		SINRcelledge	-3									33	-15,8817429	
34												Rtd	31,59532271	
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	120,5			
Blrt	4,9			
Lbl	3			
Lppl	18			
Lcpl	0			
Ga	18,6			
Lj	0			
Lsa cellrange	122,9			
Pc	40			
Pkrd	0,4			
Fe	2,3			
Qpdsch	0,55			
Qcch	0,118			
NrTn	7			
Nrd dl	-114,447275			
Blul	19,043516			
(also DL control on coverage)				
SINRcelledge	-5,2755112			
Powerch	1			
30	1352,339943			
31	34,03			
32	18,37			
33	-15,8817429			
Rtd	31,59532271			
LB				
R	3195,63			
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
Blrt ave	13,99921285			
SINRave	8,009537203			
Rtd dl	324,5231571			
Rave dl	32452,37571			
Tcell	17846,8			

Σχήμα 5.41: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 6 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL6 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL6 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL6

---

UL Rcelledge	1554kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	15330kbps
Cell range	0.0704km
DL R	3195,63kbps
DL Tcell	17848,8kbps

---



7° cell

Το έβδομο cell έχει υπολογιστή στο wikimarip να έχει απόσταση cellrange=0,099km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P	
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>														
10	UL C&C	R3													
11	<b>CELL7</b>	Lsa cellrange	128						High bit rate	SINR <sub>h</sub>	22,802747				
12		P0	-95						η/η <sub>0</sub> h	R <sub>h</sub>	95,4				
13		Qpusch	0,4						R <sub>h</sub> h	513,7					
14									<b>Rh= highest rate</b>	<b>49007</b>					
15	Noise rise	Nt	-174						Cell trp						
16		Nt	-174						equale P0 as	Ptx/d, ave	-107,857143				
17		Wno	180000						SINR <sub>ave</sub>	9,7511318					
18		Nt/ma	1						R <sub>h</sub> d, ave	390,501994					
19		Nt/ru	1,58						<b>Tcell= throughput</b>	<b>13772</b>					
20		Lt	1												
21		G <sub>msa</sub>	1						Cell size						
22									LOI	3					
23	Thermal Noise	N <sub>th</sub> , ul	-119,461						L <sub>o1</sub>	18					
24		R <sub>th</sub> , ul	-114,243						L <sub>o2</sub>	0					
25		B <sub>th</sub> , ul	1,85243						G <sub>a</sub>	18,5					
26									<b>L<sub>p</sub>max</b>	<b>125,5</b>					
27									<b>cell range, max, km</b>	<b>0,0977</b>					
28	Cell edge bit rate	Bit <sub>r</sub>	4,9												
29		Lsa, cellrange	192,9												
30	att at cell edge	η/η <sub>0</sub> cellrange	11,7714	α <sub>att</sub> η <sub>0</sub>	-3				EL -L wall	24					
31	alloc R36	P <sub>tx</sub> , d, cellrange	12,2617												
32		SINR <sub>cellrange</sub>	-120,608												
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
												DL C&C			
												L <sub>p</sub> max	125,5		
												Bit <sub>r</sub>	4,9		
												LOI	3		
												L <sub>o1</sub>	18		
												L <sub>o2</sub>	0		
												G <sub>a</sub>	18,6		
												L <sub>j</sub>	0		
												Lsa, cellrange	127,9		
												P <sub>tx</sub>	40		
												P <sub>tx</sub> , d	0,4		
												F <sub>o</sub>	2,3		
												<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>		
												Q <sub>o</sub> ch <sub>h</sub>	0,118		
												N <sub>th</sub> , ul	7		
												N <sub>th</sub> , dl	-114,447275		
												B <sub>th</sub> , dl	14,1990928		
												(also DL control ch coverage)			
												<b>SINR<sub>cellrange</sub></b>	<b>-6,4511312</b>		
												margin	1		
												α <sub>0</sub>	1352,338943		
												α <sub>1</sub>	34,03		
												α <sub>2</sub>	18,37		
												α <sub>3</sub>	-15,8817429		
												R <sub>th</sub> , dl	31,04858883		
												LB			
												<b>R</b>	<b>3104,67</b>		
												DL C&P			
												H	0,36		
												F	0,7		
												E <sub>th</sub> , d, ave	9,357900518		
												SINR <sub>ave</sub>	7,648344336		
												R <sub>th</sub> , dl	311,6307052		
												R <sub>ave</sub> , dl	31153,07052		
												<b>Tcell</b>	<b>17139,7</b>		

Σχήμα 5.42: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 7 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL7 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL7

---

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.0977km
DL R	310467kbps
DL Tcell	17139,7kbps

---

8° cell

Το όγδοο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,104km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P	
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C				
10	UL C&C	13										Lpmax	126.5		
11	<b>CELL8</b>	Lsa, cellrange	129								Bltr	4.9			
12		P0	-95								L0l	3			
13		Qpusch	0.4								Lp0l	18			
14											Lc0l	0			
15	Noise rise										Ga	18.6			
16		Nr	-174								Lj	0			
17		Wno	180000								Lsa, cellrange	128.9			
18		Nrma	1								Pv	40			
19		Nrv	1.38								Pk,rb	0.4			
20		Lr	1								Fo	2.3			
21		Gvra	1								Qpdsch	0.55			
22											Ocsn	0.118			
23	Thermal Noise	Nrb,ul	-119.461								Nr,ue	7			
24		Rfb,ul	-115.081								Nrb,dl	-114.447275			
25		Bwul	1.57944								Bidl	13.20195593			
26											(also DL control ch coverage)				
27											SINRcelledge	-6.53407507			
28	Cell edge bit rate	Btr	4.9								modem	1			
29		Lsa,celledge	133.9								80	1352.338943			
30	ant ai cell edge	nrb,celledge	9.95655								81	34.03			
31	aiio, rbs	Pue,rb,celledge	13.0187								82	18.37			
32		Pue,rb,celledge	-120.881								83	-15.8817429			
33		SINRcelledge	-3								RfD	30.71222876			
34											LB				
35											R	3074.22			
36											DL CAP				
37											H	0.36			
38											F	0.7			
39											Bidl,ave	8.485349497			
40											SINR,ave	7.518990357			
41											RfD,dl	307.0918155			
42											Rave,dl	30709.18155			
43											Tcell	16890			

Σχήμα 5.43: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 8 στην περιοχή 3

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL7 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL7

---

UL Rcelledge	650kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13331kbps
Cell range	0.1043km
DL R	3071,22kbps
DL Tcell	16890kbps

---

9<sup>o</sup> cell

Το ένατο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,102km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		33									Lpmax	125.5	
11	<b>CELL9</b>	Lsa, cellrange	128									Blr	4.9	
12		P0	-95									L0l	3	
13		Qpusch	0.4									L0pl	18	
14												L0pl	0	
15	Noise rise											Ga	18.6	
16		N1	-174									Lj	0	
17		W0	180000									Lsa, cellrange	127.9	
18		N1rma	1									equate P0 as N1		
19		N1ru	1.58									Ptx, rsv	40	
20		L1	1									Ptx, rd	0.4	
21		Gwra	1									Fc	2.3	
22												Qpusch	0.55	
23	Thermal Noise	Ntd, ul	-119.461									Qcch	0.118	
24		Ntd, ul	-114.243									N1, ue	7	
25		Blul	1.85245	IRC_Beta	0.6							Ntd, dl	-114.44775	
26												Blul	14.1590928	
27	Cell edge bit rate	Blr	4.9									(also DL control ch coverage)		
28	ant at cell edge	Lsa, cellrange	192.9									SINRcelledge	-6.4511342	
29	allot RBs	n1rb, celledge	11.7714	gamma0	-3							lpusch	1	
30		Pus, rd, celledge	12.2917									Bl	1352.332843	
31		Ptx, rd, celledge	-120.608									Bl	34.03	
32		SINRcelledge	-3									Bl	18.37	
33												Bl	-15.8817429	
34												Bl	31.04659583	
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	125.5			
Blr	4.9			
L0l	3			
L0pl	18			
L0pl	0			
Ga	18.6			
Lj	0			
Lsa, cellrange	127.9			
equate P0 as N1				
Ptx, rsv	40			
Ptx, rd	0.4			
Fc	2.3			
Qpusch	0.55			
Qcch	0.118			
N1, ue	7			
Ntd, dl	-114.44775			
Blul	14.1590928			
(also DL control ch coverage)				
SINRcelledge	-6.4511342			
lpusch	1			
Bl	1352.332843			
Bl	34.03			
Bl	18.37			
Bl	-15.8817429			
Bl	31.04659583			
DL Cap				
H	0.36			
F	0.7			
Blul, ave	9.357900518			
SINRave	7.548548336			
Rave, dl	311.5307052			
Rave, ul	31153.07052			
T cell	17139.7			

Σχήμα 5.44: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 9 στην περιοχή 3

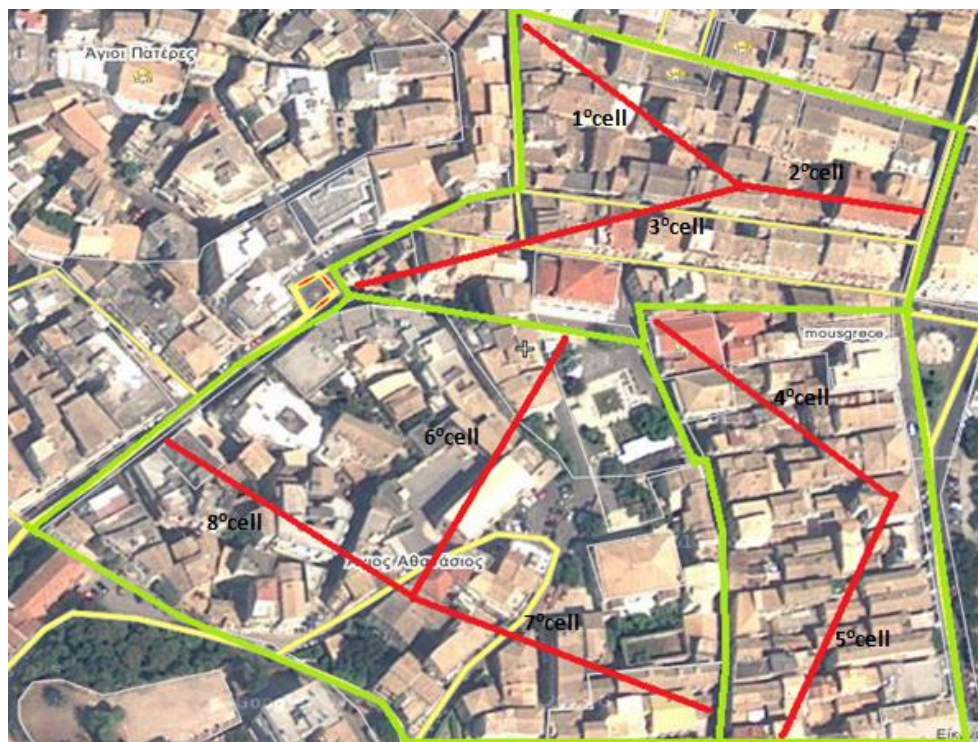
Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL9 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL9

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.09775km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

### Περιοχή 4

Την τέταρτη περιοχή κάλυψης την έχουμε χωρίσει σε τρεις υποπεριοχές, όπου στις δύο υποπεριοχές θα χρησιμοποιήσουμε έναν σταθμό βάσης με τρία cells και στην τρίτη έναν σταθμό βάσης με 2 cells.



Σχήμα 5.57: Περιοχή 4 Παλαιάς Πόλης

1<sup>o</sup> cell

Το πρώτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,087km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL1</b>	Lsa, cellrange	126			High bit rate	SINR <sub>H</sub>		21,996313		L <sub>pmax</sub>	123,5		
12		P0	-95			n <sub>T</sub> , n		95,4			E <sub>IR</sub>	4,9		
13		Qpusch	0,4			R <sub>D</sub> , n		513,7			L <sub>DI</sub>	3		
14						Rh= highest rate		<b>49007</b>			L <sub>DI</sub>	18		
15	Noise rise										L <sub>DI</sub>	0		
16		N <sub>T</sub>	-174			Cell trp					L <sub>DI</sub>	18,6		
17		N <sub>T</sub>	180000			equis P0 as n	P <sub>TX</sub> , n <sub>ave</sub>		-106,428571		L <sub>sa, cellrange</sub>	125,9		
18		N <sub>T</sub> , n <sub>ma</sub>	1			SINR <sub>ave</sub>		10,5220599			P <sub>TX</sub>	40		
19		N <sub>T</sub> , n <sub>u</sub>	1,58			R <sub>D</sub> , U <sub>L</sub> , n <sub>ave</sub>		390,628128			P <sub>TX</sub> , n <sub>D</sub>	0,4		
20		L <sub>T</sub>	1			<b>Tcell= throughput</b>		<b>14525</b>			F <sub>C</sub>	2,3		
21		G <sub>ma</sub>	1								<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>		
22						Cell size					Q <sub>con</sub>	0,118		
23	Thermal Noise	N <sub>T</sub> , n <sub>D</sub> , u <sub>L</sub>	-119,461			L <sub>DI</sub>					N <sub>T</sub> , n <sub>UE</sub>	7		
24		n <sub>T</sub> , n <sub>D</sub> , u <sub>L</sub>	-112,568			L <sub>DI</sub>					N <sub>T</sub> , n <sub>D</sub> , d <sub>I</sub>	-114,447275		
25		B <sub>UI</sub>	2,51007			L <sub>DI</sub>					B <sub>DI</sub>	16,09705749		
26						G <sub>3</sub>					(also DL control on coverage)			
27						<b>L<sub>pmax</sub></b>					<b>SINR<sub>cellrange</sub></b>	<b>5,42515253</b>		
28	Cell edge bit rate	E <sub>IR</sub>	4,9			<b>cell range, max, km</b>					100000	1		
29		L <sub>sa, cellrange</sub>	130,9								80	1352,338943		
30	att at cell edge	n <sub>T</sub> , n <sub>D</sub> , cellrange	16,0348								31	34,03		
31	alloc RBs	P <sub>TX</sub> , n <sub>D</sub> , cellrange	10,5494								32	18,37		
32		P <sub>TX</sub> , n <sub>D</sub> , cellrange	-119,351								33	-15,8817429		
33		SINR <sub>cellrange</sub>	-3								R <sub>D</sub>	31,59277615		
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		R <sub>D</sub> , cellrange	55,2775											
42		<b>Rcellledge</b>	<b>1047</b>											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
L <sub>pmax</sub>	123,5			
E <sub>IR</sub>	4,9			
L <sub>DI</sub>	3			
L <sub>DI</sub>	18			
L <sub>DI</sub>	0			
G <sub>3</sub>	18,6			
U <sub>L</sub>	0			
L <sub>sa, cellrange</sub>	125,9			
P <sub>TX</sub>	40			
P <sub>TX</sub> , n <sub>D</sub>	0,4			
F <sub>C</sub>	2,3			
<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>			
Q <sub>con</sub>	0,118			
N <sub>T</sub> , n <sub>UE</sub>	7			
N <sub>T</sub> , n <sub>D</sub> , d <sub>I</sub>	-114,447275			
B <sub>DI</sub>	16,09705749			
(also DL control on coverage)				
<b>SINR<sub>cellrange</sub></b>	<b>5,42515253</b>			
100000	1			
80	1352,338943			
31	34,03			
32	18,37			
33	-15,8817429			
R <sub>D</sub>	31,59277615			
LB	<b>R</b>	<b>3153,28</b>		
DL Cap				
H	0,36			
F	0,7			
B <sub>DI</sub> , n <sub>ave</sub>	11,16799772			
SINR <sub>ave</sub>	7,836852106			
R <sub>D</sub> , d <sub>I</sub>	318,4167453			
R <sub>ave</sub> , d <sub>I</sub>	31841,67453			
<b>Tcell</b>	<b>17512,9</b>			

Σχήμα 5.45: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 1 στην περιοχή 4

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL1 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL1 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL1

---

UL Rcelledge	1047kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14525kbps
Cell range	0.0857km
DL R	3153,28kbps
DL Tcell	17512,9kbps

---





Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL2 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL2 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL2

---

UL Rcelledge	2128kbps
UL Rh	48930kbps
UL Tcell	15788kbps
Cell range	0.0579km
DL R	3217,18kbps
DL Tcell	18023,7kbps

---

### 3<sup>o</sup> cell

Το τρίτο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,127km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C										DL C&C			
11	<b>CELL3</b>	Lsa, Cellrange	132								Lpmax	129,5		
12		P0	-95								EIR	4,9		
13		Qpusch	0,4								Lb1	3		
14											Lp1	18		
15	Noise rise										Lc1	0		
16											Ga	18,6		
17											L1	0		
18											Lsa, Cellrange	131,9		
19											Pk	40		
20											Pk, Lb	0,4		
21											F0	2,3		
22											Qpdsch	0,55		
23	Thermal Noise	Nr, dl	-119,461								Coch	0,118		
24											Nr, Ue	7		
25											Nr, dl	-114,447275		
26											Bwdl	10,40397027		
27											(also DL control on cellrange)			
28	Cell edge bit rate	Bwdl	-117,395								SINRcelledge	-5,73509541		
29		Eir	4,9								npocsch	1		
30	Bit at cell edge	Lsa, Cellrange	135,9								npocsch	1352,339443		
31	Bit/s RBs	nr, dl, Cellrange	5,75228	qam64	-3						npocsch	34,03		
32		Pus, dl, Cellrange	15,3841								npocsch	18,57		
33		Pk, dl, Cellrange	-121,506								npocsch	-15,8817429		
34		SINRcelledge	-3								Rd	25,16507238		
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lpmax	129,5			
EIR	4,9			
Lb1	3			
Lp1	18			
Lc1	0			
Ga	18,6			
L1	0			
Lsa, Cellrange	131,9			
Pk	40			
Pk, Lb	0,4			
F0	2,3			
Qpdsch	0,55			
Coch	0,118			
Nr, Ue	7			
Nr, dl	-114,447275			
Bwdl	10,40397027			
(also DL control on cellrange)				
SINRcelledge	-5,73509541			
npocsch	1			
npocsch	1352,339443			
npocsch	34,03			
npocsch	18,57			
npocsch	-15,8817429			
Rd	25,16507238			
LB	<b>R</b>	<b>2916,6</b>		
DL Cap	H	0,36		
F		0,7		
Bwdl, ave		6,055309133		
SINR, ave		6,945540721		
Rd, dl		287,249166		
Rd, dl		28734,5166		
Tcell		<b>15804,2</b>		

Σχήμα 5.47: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 3 στην περιοχή 4

Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL3 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL3

---

UL Rcelledge	376kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	11782kbps
Cell range	0.1269km
DL R	2916,6kbps
DL Tcell	15804,2kbps

---



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL4 ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει, και ότι δεν ικανοποιείται έχει ήδη αιτιολογηθεί στην αρχή του κεφαλαίου. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL4 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

#### CELL4

---

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.09775km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

---

5<sup>o</sup> cell

Το πέμπτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,095km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>													
10	UL C&C													
11	<b>CELL5</b>	Lsa_cellrange	128											
12		P0	-95											
13		Qpusch	0.4											
14														
15	Noise rise													
16		Nt	-174											
17		Wto	180000											
18		Ntmba	1											
19		Ntrfu	1.58											
20		Lf	1											
21		Gtma	1											
22														
23	Thermal Noise	Nrb_ul	-119.461											
24		Rb_ul	-114.243											
25		Bmul	1.85243											
26		Rc_Rs4	0.6											
27														
28	Cell edge bit rate	Bmfr	4.9											
29		Lsa_cellrange	132.9											
30	Bit at cell edge	nrtd_cellrange	11.7714											
31	alloc RBs	Prxtd_cellrange	12.2917											
32		SINRcellrange	-120.608											
33			-3											
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
Lrmax	125.5			
Bmfr	4.9			
Lol	3			
Lopl	18			
Loprl	0			
Ga	18.6			
Lj	0			
Lsa_cellrange	127.9			
Pri	40			
Prlb	0.4			
Fo	2.3			
Qpusch	0.55			
Qcon	0.118			
Ntrfu	-114.447275			
Bmfr	14.15900928			
(also DL control ch coverage)				
SINRcellrange	-4.48113443			
rhocon	1			
rho	1352.338943			
rho	34.03			
rho	18.37			
rho	-15.8817429			
Rbdl	31.04658583			
LB				
R	3104.67			
DL Cap				
H	0.36			
F	0.7			
Bmfr_ave	9.357900518			
SINR_ave	7.546549336			
Rbdl_dl	311.6307052			
Rave_dl	31153.07052			
Tcell	17139.7			

Σχήμα 5.49: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 5 στην περιοχή 4

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL5 ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL5

---

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.09775km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

---



6° cell

Το έκτο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,104km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C	Lpmax	126,5	
10	UL C&C		13								Bltr	4,9		
11	<b>CELL6</b>	Lsa, cellrange	129				High bit rate	SINRn		22,0812619	Lbl	3		
12		P0	-95				nTb,h			95,4	Lpl	18		
13		Qpsch	0,4				RbD,h			519,7	Lp0	0		
14								<b>Rh= highest rate</b>		<b>49007</b>	Ga	18,6		
15	Noise rise	Nr	-174				Cell trp				lj	0		
16		Wtd	180000				equis P0 as	Prx,db,ave		-108,571429	Lsa,cellrange	128,9		
17		NrTma	1				SINRave			9,20883332	Px	40		
18		NrTb	1,58				RbD,w,ave			549,255771	Px,db	0,4		
19		Lr	1				<b>Tcell= throughput</b>			<b>13331</b>	Fg	2,3		
20		Gama	1								Qpsch	<b>0,55</b>		
21							Cell size				Ocon	0,118		
22		NrD,ul	-119,461				Lbl				NrTb	7		
23	Thermal Noise						Lp0l				NrD,dl	-114,447275		
24		Rb,ul	-115,051				Lp0l				BlDl	13,20198393		
25		Blul	1,57944				Ga				(also DL control on coverage)			
26							Lpmax				SINRcellrange	<b>-6,53407907</b>		
27							cell range, max, km				noicon	1		
28	Cell edge bit rate	Bltr	4,9				<b>126,5</b>				30	1352,339843		
29		Lsa,cellrange	133,9				<b>0,1043</b>				31	34,03		
30	ant at cell edge	nTb,celledge	9,55595								32	18,37		
31	dlcc RBS	Prx,db,celledge	13,0187								33	-15,8817429		
32		Rb,db,celledge	-120,881								RbD	30,71222076		
33		SINRcelledge	-9											
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

DL C&C	H	F
	0,36	0,7
BlDl,ave	8,488348497	
SINRave	7,518590357	
RbD,dl	307,0918153	
Rave,dl	30709,18153	
<b>Tcell</b>	<b>16890</b>	

LB	R
	<b>3071,22</b>

Σχήμα 5.50: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 6 στην περιοχή 4

Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL6 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL6

---

UL Rcelledge	650kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13331kbps
Cell range	0.1043km
DL R	3071,22kbps
DL Tcell	16890kbps

---

7<sup>o</sup> cell

Το έβδομο cell έχει υπολογιστή στο wikimapia να έχει απόσταση cellrange=0,090km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13								Lrmax	124,5		
11	<b>CELL7</b>	Lsa, cellrange	127								Bwr	4,9		
12		P0	-95								L01	3		
13		Qpusch	0,4								L001	18		
14											L001	0		
15	Noise rise										GA	18,6		
16		NR	-174								Lj	0		
17		WFO	180000								Ls8, cellrange	126,9		
18		NRtms	1								Pcr	40		
19		NRfu	1,58								prb,rb	0,4		
20		Lf	1								Fc	2,3		
21		Gmsa	1								Qpdsch	0,55		
22											Qocch	0,118		
23	Thermal Noise	NRb,ul	-119,461								NR,ue	7		
24		NRb,ul	-113,405								NRb,dl	-114,447215		
25		BWul	2,16201								BWdl	15,1245919		
26											(also DL control ch coverage)			
27	Cell edge bit rate	Bwr	4,9								SINRcelledge	-5,4561704		
28		Lsa, cellrange	131,9								proccch	1		
29	ant at cell edge	nr,rb,celledge	13,7997								30	1352,338943		
30		nr,rb,celledge	11,6013								31	34,03		
31	allou RBs	Pr,rb,celledge	-120,289								32	18,37		
32		SINRcelledge	-3								33	-15,8917429		
33											RTO	31,31620759		
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														

DL C&C														
Lrmax	124,5													
Bwr	4,9													
L01	3													
L001	18													
L001	0													
GA	18,6													
Lj	0													
Ls8, cellrange	126,9													
Pcr	40													
prb,rb	0,4													
Fc	2,3													
Qpdsch	0,55													
Qocch	0,118													
NR,ue	7													
NRb,dl	-114,447215													
BWdl	15,1245919													
(also DL control ch coverage)														
SINRcelledge	-5,4561704													
proccch	1													
30	1352,338943													
31	34,03													
32	18,37													
33	-15,8917429													
RTO	31,31620759													
LB														
R	3134,62													
DL CRP														
H	0,36													
F	0,7													
EWdl,ave	10,25909145													
SINR,ave	7,751758402													
RTO,dl	315,2648353													
Rave,dl	31556,48353													
Tcell	17345,4													

Σχήμα 5.51: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 7 στην περιοχή 4

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL7 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

CELL7	
UL Rcelledge	901kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14170kbps
Cell range	0.0915km
DL R	3131,62kbps
DL Tcell	17345,1kbps



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL8 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL8

UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.0977km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

### Περιοχή 5

Για την Πέμπτη περιοχή κάλυψης θα χρησιμοποιήσουμε έναν σταθμό βάσης τρία cells.



Σχήμα 5.53: Περιοχή5 Παλαιάς Πόλης



Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL1 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL1

---

UL Rcelledge	454kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	12333kbps
Cell range	0.1188km
DL R	2978,95kbps
DL Tcell	16229,3kbps

---



2<sup>o</sup> cell

Το δεύτερο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,089km.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C			
10	UL C&C		13											
11	<b>CELL2</b>	LSA_Cellrange	127			High bit rate		SINRin	22.2966916		Lpmax	124,5		
12		P0	-95			nTrb,h	95,4	Lbi	3		Bltr	4,9		
13		Qpsch	0,4			Rrb,h	513,7	Lp0l	18		Lbi	3		
14						Rh= highest rate	49007	Lp0l	0		Lp0l	0		
15	Noise rise							Ga	18,6		Lj	0		
16		Nf	-174			Cell trp		LSA_Cellrange	126,9					
17		Wtd	180000			equas Po 36 dB								
18		NfTrbA	1			PkTrb,ave	-107,142667	P0	40					
19		NfTrb	1,58			SINRave	10,1555545	PkTrb	0,4					
20		Lf	1			RbDl,ave	371,336285	Fg	2,3					
21		Gdma	1			Tcell= throughput	14170	Qpsch	0,55					
22						Cell size		Coon	0,118					
23	Thermal Noise	NfD,ul	-119,461			Lbi	3	Nf,ue	7					
24		RbD,ul	-113,405			Lp0l	18	NfD,dl	-114,447275					
25		Blul	2,16201	IRC_Beta	0,6	Lp0l	0							
26						Ga	18,5	BlDl	15,1245919					
27						Lpmax	124,5	(also DL control on coverage)						
28	Cell edge bit rate					cell range, max, km	0,0915	SINRcelledge	-5,4567103					
29		Bltr	4,9					rhocon	1					
30	att at cell edge	LSA_Cellrange	131,9					80	1352,338943					
31	attOC RBs	nTrb_Cellrange	13,7397	qamTrbA0	-3	EL-L,Wall	24	81	34,03					
32		PuaTrb_Cellrange	11,8013					82	-18,37					
33		PkTrb_Cellrange	-120,299					83	-15,8817429					
34		SINRcelledge	-3					RbD	31,31620759					
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41		RbD_Cellrange	55,2775											
42		Rcelledge	901											
43														

	M	N	O	P
DL C&C				
LB	R	3131,62		
DL C&P	H	0,36		
	F	0,7		
	BlDl,ave	10,25309145		
	SINRave	7,751758402		
	RbD,dl	315,2648353		
	Rave,dl	31526,48353		
	Tcell	17345,1		

Σχήμα 5.55: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 2 στην περιοχή 5

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL5 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### CELL2

---

UL Rcelledge	901kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	14170kbps
Cell range	0.0915km
DL R	3131,62kbps
DL Tcell	17345,1kbps

---

3° cell

Το τρίτο cell έχει υπολογιστή στο wikimaria να έχει απόσταση cellrange=0,094km

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P
9	<b>This tool is designed for training purposes only</b>										DL C&C	Lrmax	125,5	
10	UL C&C		33								Erfl	4,9		
11	<b>CELL3</b>	Lsa, cellrange	128				High bit rate	SINR <sub>H</sub>		22,6062747	Lol	3		
12		P0	-95				nT <sub>D,H</sub>		55,4		Lopl	18		
13		Qpusch	0,4				R <sub>D,H</sub>		513,7		LopI	0		
14							Rh= highest rate		<b>49007</b>		Ga	18,6		
15	Noise rise										Uj	0		
16		Nf	-174				Cell trp				Lsa, cellrange	127,9		
17		Wtd	180000				equais p0 as M	Prc,rb,ave		-107,667143	Fcr	40		
18		Nf,tra	1				SINR <sub>ave</sub>		9,7511318		Pk,rb	0,4		
19		Nf,ru	1,58				R <sub>D,U,ave</sub>		390,501594		F <sub>0</sub>	2,3		
20		Lf	1				<b>Tcell= throughput</b>		<b>13772</b>		<b>Qpusch</b>	<b>0,55</b>		
21		Gama	1				Cell size				Coopn	0,118		
22							Lol				Nf,ue	7		
23	Thermal Noise	N <sub>D,uI</sub>	-119,461				LopI				N <sub>D,dI</sub>	-114,447275		
24		n <sub>D,uI</sub>	-114,243				LopI				Erfl	14,1590628		
25		B <sub>W</sub>	1,85243				Ga				(also DL control on coverage)			
26							Lrmax				SINR <sub>celledge</sub>	<b>-5,15113412</b>		
27							cell range, max, km				n <sub>0,00001</sub>	1		
28	Cell edge bit rate	Erfl	4,9								n <sub>0,00001</sub>	1		
29		Lsa, cellrange	132,9								n <sub>0,00001</sub>	1		
30	sin at cell edge	n <sub>T,D, celledge</sub>	11,7714								n <sub>0,00001</sub>	1		
31	sin at cell edge	Prc,rb, celledge	12,2917				BL-L wall		24		n <sub>0,00001</sub>	1		
32		Prc,rb, celledge	-120,608								n <sub>0,00001</sub>	1		
33		SINR <sub>celledge</sub>	-3								n <sub>0,00001</sub>	1		
34											n <sub>0,00001</sub>	1		
35											n <sub>0,00001</sub>	1		
36											n <sub>0,00001</sub>	1		
37											n <sub>0,00001</sub>	1		
38											n <sub>0,00001</sub>	1		
39											n <sub>0,00001</sub>	1		
40											n <sub>0,00001</sub>	1		
41		R <sub>D, celledge</sub>	65,2775								n <sub>0,00001</sub>	1		
42		<b>Rcelledge</b>	<b>768</b>								n <sub>0,00001</sub>	1		
43											n <sub>0,00001</sub>	1		
											n <sub>0,00001</sub>	1		

Σχήμα 5.56: Αποτελέσματα σχεδιασμού του cell 3 στην περιοχή 5

Όπως μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το CELL3 ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις σχεδιασμού τις οποίες έχουμε ορίσει. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι το CELL5 θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

CELL3	
UL Rcelledge	768kbps
UL Rh	49007kbps
UL Tcell	13772kbps
Cell range	0.0977km
DL R	3104,67kbps
DL Tcell	17139,7kbps

## Αναφορές

[1] Ericsson course “LTE Radio Network Design”

[2] Ericsson course “LTE Air Interface”, LZU1087897

[3] William C. Jakes, Editor (February 1, 1975) *Microwave Mobile Communications*. New York: John Wiley & Sons Inc. [ISBN 0-471-43720-4](#).