



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στα πλαίσια του

Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)
«Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα»

με θέμα

Ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών με Femtocells:
Τεχνο-οικονομική ανάλυση

Δημήτρης Μ. Βύρης
ΑΜ 2008106

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Τσούλος Γεώργιος, Επίκουρος καθηγητής

Αθανασιάδου Γεωργία, Επίκουρη Καθηγήτρια

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Αποτελεί επιστέγασμα των πολύτιμων γνώσεων που είχα την τύχη και τη χαρά να αποκτήσω στο διάστημα της παρακολούθησης του συγκεκριμένου προγράμματος σπουδών αλλά και αποτέλεσμα πολύωρης, επίπονης μελέτης και έρευνας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Γεώργιο Τσούλο, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το σύγχρονο και ενδιαφέρον θέμα. Με την επίβλεψή του αλλά και με την υπομονή του κατάφερα να ολοκληρώσω επιτυχώς και εμπρόθεσμα την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Αθανασιάδου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών και τον κ. Νικόλαο Τσελίκα Λέκτορα του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών για τις συμβουλές τους στην επιλογή της διπλωματικής εργασίας.

Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους και συμφοιτητές του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος για την αρμονική, πολύτιμη και ευχάριστη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της φοίτησής μας.

Θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Μιχαήλ Βύρη και Αδαμαντία Ρόντου-Βύρη για την ψυχική και υλική στήριξή τους στην προσπάθεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσα άτομα με κατανόησαν και απέμειναν δίπλα μου και με τον τρόπο τους μου στάθηκαν και ειδικότερα στην φίλη μου, για την συμπαράστασή της, την ψυχική στήριξή της και την συνεχή παρουσία της κατά την διάρκεια της φοίτησης και της μελέτης μου.

.....το συννεφάκι ..κάνει το σύμπαν λίγο πιο μεγάλο από το έργο μας, το παραμύθι μας, το χώρο μας που είναι παντού, την ζωή μας. Κάνει το σύμπαν και τόσο μικρό, μας ταξιδεύει εκεί που θέλουμε να είμαστε, που ποθούμε ή δεν μπορούμε να βρισκόμαστε, μας φέρνει κοντά, δίπλα, δεν χανόμαστε.. δεν ξεχνάμε... μας θυμίζει... μας ηρεμεί ..μας δίνει πίσω τις στιγμές που θέλουμε... που χάνουμε... ταξιδεύει τις σκέψεις μας ...τα συναισθήματά μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 Συντομογραφίες Επεξήγηση όρων.....	7
1.2 Εισαγωγή-Σκοπός	8
1.3 Περίληψη	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.	10
Βασικές Έννοιες- Πλεονεκτήματα.....	10
2.1 Ορισμοί.....	10
2.2 Πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης τεχνολογίας Femtocell	11
2.3 Femtocell Forum.....	12
3. Μέθοδοι-Στόχοι	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	13
3.1 Σενάρια & προδιαγραφές δικτύων.....	13
3.2 Link Budget –Χαρακτηριστικά Ζεύξεων.....	14
3.3.1 Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου(Indoor to Indoor) ITU-R P.1238.15	
3.3.2 Μοντέλο διάδοσης εξωτερικού χώρου(Outdoor to outdoor) - ITU P.1411	
.....	15
3.3.3 Εξήγηση λοιπών βασικών παραμέτρων του Link Budget (P-CPICH, W,R,PG,Eb/No, PN)	16
3.3.4 High Speed Packet Access (HSPA).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	19
Τεχνική Ανάλυση Σεναρίων	19
4.1 Σενάριο Α΄: Πώς η κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης επηρεάζει τον χρήστη Femtocell.....	19
4.1.1 Περιγραφή υπολογισμού Ορίου Κάλυψης Femtocell.....	20
4.1.1.1 Συνοπτική Περιγραφή Προσομοίωσης-Εκτέλεση Προσομοιώσεων.....	20
4.1.1.2 Συμπεράσματα για το όριο κάλυψης Femtocell	25
4.2.1 Υπολογισμός Χωρητικότητας.....	25
4.2.1.1 Συνοπτική Περιγραφή Προσομοίωσης-Εκτέλεση Προσομοιώσεων.....	26
4.2.1.2 Συμπεράσματα για την χωρητικότητα HSDPA.....	27
4.2 Σενάριο Β΄: Η άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης παρεμβάλει τον δέκτη της συσκευής Femtocell.....	29
4.2.1 Υπολογισμός της ισχύος που λαμβάνει το FAP από την άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης για διάφορες αποστάσεις μεταξύ FAP-MUE.	30
4.2.2 Υπολογισμός της ισχύος της άνω ζεύξης για το FUE για διάφορες αποστάσεις του MUE από την Femtocell έτσι ώστε να διατηρείται το απαιτούμενο Eb/No για κλήση φωνής μεταξύ της Femtocell και FAP.	32
4.2.3 Η επίδραση της άνω ζεύξης της Μακροκυψέλης στη χωρητικότητα της Femtocell.....	34
4.3 Σενάριο Γ΄: Η κάτω ζεύξη της Femtocell παρεμβάλει την συσκευή του χρήστη Μακροκυψέλης.....	36
4.3.1 Καθορισμός της ελάχιστης απόστασης FAP-MUE για την διατήρηση της σύνδεσης του MUE στην Μακροκυψέλη.....	38
4.3.2 Η επίδραση της κάτω ζεύξης της Femtocell στην χωρητικότητα της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης.....	40
4.4 Σενάριο Δ΄: Η άνω ζεύξη του χρήστη Femtocell παρεμβάλει τον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης (MNB).....	43
4.4.1 Η μεταβολή του Noise Rise στο MNB εξαιτίας της άνω ζεύξης της Femtocell.....	44
.....	44
4.4.2 Η μεταβολή του Noise Figure στο MNB εξαιτίας υπηρεσίας στο FUE 2Mbps	47
.....	47
4.5 Σενάριο Ε΄: Η κάτω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλει διπλανούς χρήστες της Femtocell.....	51

4.5.1 Υπολογισμός της ισχύος του FAP2 για την εξυπηρέτηση του FUE2 λαμβάνοντας υπόψιν την παρεμβολή του FAP1 στο FUE2.	52
4.5.2 Μελέτη χωρητικότητας σε περίπτωση που έχουμε την παρουσία πλήθους Femtocells	54
4.6 Σενάριο F' : Η άνω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλει διπλανές συσκευές Femtocell.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	61
Οικονομική Μελέτη ανάπτυξης δικτύου Femtocell.	61
5.2 Κεφάλαια και δαπάνες Κυψελοειδούς δικτύου προαστιακής περιοχής	62
5.2.1 Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής	62
5.2.2 Μελέτη προϋπολογισμού για την Μακροκυψέλη.....	63
5.2.3 Κοστολόγηση ετήσιας Δαπάνης Λειτουργίας ανά κατοικία.	65
5.2.4 Κοστολόγηση Επένδυσης Κεφαλαίου ανά κατοικία.	65
5.2.5 Μηνιαίο Κόστος ανά κατοικία (Μακροκυψέλη).	65
5.2.6 Κοστολόγηση Femtocell.....	66
5.2.7 Οικονομική Επίδραση παρουσίας Femtocell.....	67
5.2.8 Καταγραφή Ισολογισμού διάρκειας 24 μηνών	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	76
Ανακεφαλαίωση-Συμπεράσματα	76
6.1 Τεχνική Ανάλυση.....	76
6.1.1 Αλληλεπίδραση με το υπάρχον δίκτυο-Ανακεφαλαίωση.....	76
6.1.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ Femtocell- Παρατηρήσεις.....	77
6.1.3 Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	78
6.2 Οικονομική Ανάλυση	80
7. Βιβλιογραφία	81

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Link Budget των υπό μελέτη σεναρίων	14
Πίνακας 2: Link Budget Σεναρίου Α'	21
Πίνακας 3: Είσοδοι Προσομοίωσης Α' & Β'	22
Πίνακας 4: Είσοδοι Προσομοίωσης Γ'	24
Πίνακας 5: Αποτελέσματα Προσομοίωσης υπολογισμού ορίου κάλυψης Femto.....	25
Πίνακας 6: Link Budget για HSPA Σεναρίου Α'	25
Πίνακας 7: Είσοδοι Προσομοιώσεων για HSDPA Σεναρίου Α'	27
Πίνακας 8: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων για HSDPA για απόσταση FUE-FAP 10m	28
Πίνακας 9 : Link Budget για το Σενάριο Β'	30
Πίνακας 10: Προσομοίωση της ισχύος στο FAP από άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης Σενάριο Β'	31
Πίνακας 11: Είσοδοι προσομοιώσεων για την ισχύ της άνω ζεύξης του FUE Σενάριο Β'	32
Πίνακας 12: Ελάχιστη απόσταση μεταξύ MUE-FAP.....	33
Πίνακας 13: Είσοδοι προσομοιώσεων για Χωρητικότητα Σενάριο Β'	34
Πίνακας 14 : Link Budget για Σενάριο C'	37
Πίνακας 15: Είσοδοι προσομοιώσεων καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP	38
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής για την επίδραση της χωρητικότητας της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης εξαιτίας της παρεμβολής από την Μακροκυψέλη.	40
Πίνακας 17 : Link Budget για τον υπολογισμό του Noise Rise στο MNB, (Σενάριο D')	44
Πίνακας 18: Είσοδοι προσομοίωσης για υπολογισμό Noise Rise στο MNB, (Σενάριο D').....	45
Πίνακας 19: Link Budget για Noise Rise στο MNB με υπηρεσία 2Mbps στο FUE. ..	48
Πίνακας 20: Σενάρια για τον υπολογισμό του Noise Rise στο MNB για υπηρεσία 2Mbps στο FUE	49
Πίνακας 21 : Link Budget Σενάριο Ε'	52
Πίνακας 22: Είσοδοι Προσομοιώσεων Σενάριο Ε'	53
Πίνακας 23 : Πλεονεκτήματα της Femtocell στον πάροχο και στον συνδρομητή	61
Πίνακας 24 : Μηνιαία κοστολόγηση ετήσιας λειτουργίας Μακροκυψέλης ανά κατοικία.....	65
Πίνακας 25: Μηνιαία Κοστολόγηση ανά κατοικία-Επένδυσης Κεφαλαίου Μακροκυψέλης	65
Πίνακας 26 : Ανάλυση Κόστους λόγω ανάπτυξης δικτύου Femtocell.....	67
Πίνακας 27: Προσαρμογή Δαπάνης Ετήσιας λειτουργίας δικτύου Μακροκυψέλης παρουσία Femtocell	67
Πίνακας 28 : Επιπλέον Επιβαρύνσεις Ι.....	68
Πίνακας 29 : Επιπλέον Επιβαρύνσεις (Βελτίωση) ΙΙ.....	69
Πίνακας 30 : Εισροή Κεφαλαίου εγγραφής νέων συνδρομητών.....	70
Πίνακας 31: Έσοδα-Έξοδα διάρκειας 24 μηνών	71
Πίνακας 32: Γενικό Οικονομικό Μοντέλο	73

Λίστα Εικόνων-Σχημάτων

Εικόνα 1: Απεικόνιση τυπικού σεναρίου ανάπτυξης Femtocell.....	10
Εικόνα 2 : Σχεδιαγραμματική Αναπαράσταση Σεναρίων.....	13
Εικόνα 3 :Κέρδος Επεξεργασίας PG	17
Εικόνα 4: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου Α'	19
Εικόνα 5 : 1η Προσομοίωση Σεναρίου Α' (Ptx_f=21dBm)	22
Εικόνα 6: 2η Προσομοίωση Σεναρίου Α' (Ptx_f=10dBm)	23
Εικόνα 7: 3η Προσομοίωση Σεναρίου Α'	24
Εικόνα 8: Γράφημα Χωρητικότητας HSDPA συνάρτηση της απόστασης FUE-FAP	27
Εικόνα 9: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου Β'	29
Εικόνα 10:Γράφημα της ισχύος στο FAP από το MUE συναρτήσει της απόστασης MUE-FAP. Σενάριο Β'	31
Εικόνα 11: Γράφημα ισχύος FUE συνάρτηση της απόστασης MUE-Femto για επιθυμητό Eb/No.....	32
Εικόνα 12 :E-DPDCH Eb/No συναρτήσει της απόστασης MUE-Femto -Σενάριο Β'	35
Εικόνα 13: Εικονική παρουσίαση του Σεναρίου C'	36
Εικόνα 14:Γράφημα καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP (Ptx_f=10dBm)	38
Εικόνα 15 : Γράφημα καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP (Ptx_f=15dBm)	39
Εικόνα 16:Διάταξη Μακροκυψέλης Σενάριο C', [1]	40
Εικόνα 17: Επίδραση της ισχύος Femtocell στην κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης Σενάριο C'	41
Εικόνα 18: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου D'.....	43
Εικόνα 19:Noise Rise στο MNB συναρτήσει της απόστασης FUE-MNB (2 Γραφήματα).	45
Εικόνα 20:Γράφημα- Noise Rise στο MNB ως συνάρτηση της απόστασης FUE-FAP για υπηρεσία στο FUE 2Mbps.	49
Εικόνα 21 : Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου E'	51
Εικόνα 22 :Γράφημα ισχύος (dBm) του FAP2 ως συνάρτηση της απόστασης FUE2- FAP1 έτσι ώστε να διατηρείται η υπηρεσία μεταξύ FAP2-FUE2.....	53
Εικόνα 23 :Πλάνο περιοχής για την μελέτη της Χωρητικότητας. Σενάριο E'	54
Εικόνα 24 : Κατανομές των ρυθμών μετάδοσης (Σενάριο E')	56
Εικόνα 25: Κατανομές των ρυθμών μετάδοσης παρουσία Femtocell-Μακροκυψέλης (Σενάριο E').....	57
Εικόνα 26:Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου F'	58
Εικόνα 27 :Εξασθένιση του σήματος. Σενάριο F	58
Εικόνα 28 :Γράφημα Ελάχιστης απόστασης FUE-FAP1 ως συνάρτηση της απόστασης FAP1-FUE1	59
Εικόνα 29:Πλάνο περιοχής για οικονομική μελέτη.....	62
Εικόνα 30:Γράφημα κατανομής κόστους Μακροκυψέλης.....	63
Εικόνα 31: Ετήσιες Δαπάνες Λειτουργίας Μακροκυψέλης	64
Εικόνα 32: Γράφημα ανάλυσης κόστους/κατοικία, υποδομής και ετήσιας λειτουργίας Μακροκυψέλης	66
Εικόνα 33: Γράφημα Επιβαρύνσεων κόστους Femtocell.....	66
Εικόνα 34: Γράφημα προσαρμογής κόστους ανά κατοικία πριν και μετά την παρουσία Femto.	68
Εικόνα 35 :Γράφημα Προσαρμογής κόστους ανά κατοικία μετά την παρουσία Femto- Βελτίωση υπηρεσιών I&Π	69
Εικόνα 36:Γράφημα Εσόδων Εξόδων διάρκειας 24 μηνών	72
Εικόνα 37: Έσοδα- Έξοδα πριν Femto για 24 μήνες.....	74
Εικόνα 38 :Προσαρμογή κέρδους με την προμήθεια Femto για όλες τις κατοικίες....	74
Εικόνα 39 :Κέρδος παρουσίας Femto με εισηγήσεις νέων βελτιωμένων υπηρεσιών .	75
Εικόνα 40 : Προσαρμογή κέρδους σε συνδυασμό βελτιωμένων υπηρεσιών & εγγραφή νέων συνδρομητών	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Συντομογραφίες Επεξήγηση όρων.

AP	Access Point
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
FAP	Femto AP, also known as the femtocell
FUE	Femto UE, also called the Home UE (HUE)
HUE	Home UE, also called the femto UE (FUE)
HNB	Home Node B
MNB	Macro Node B
MUE	Macro UE
QoS	Quality of Service
UE	User Equipment (handset, data terminal or other device)
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RSCP	Received Signal Code Power
RTWP	Received Total Wideband Power
LOS	Line Of Sight
P-CPICH	Primary Common Pilot Channel
Deadzone	Η περιοχή όπου η ποιότητα της υπηρεσίας είναι χαμηλή εξαιτίας παρεμβολών σε σημείο που δεν μπορεί πλέον να προσφερθεί η συγκεκριμένη υπηρεσία .Συχνά προσδιορίζεται σε σχέση με την απώλεια διαδρομής προς τον παρεμβολέα.
DPDCH	Dedicated physical data channel

1.2 Εισαγωγή-Σκοπός

Οι κυψέλες τύπου Femtocell προτάθηκαν πρόσφατα ως μια λύση για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών σε χρήστες εσωτερικού χώρου. Οι Femtocells προσφέρουν ταυτόχρονα διεύρυνση της περιοχής κάλυψης του δικτύου ή/και αύξηση της χωρητικότητάς του. Το βασικότερο ζήτημα που εγείρεται με τη χρήση των Femtocells είναι η επίδραση που θα έχουν στη λειτουργία τόσο του προϋπάρχοντος Μακροκυψελωτού δικτύου όσο και στη λειτουργία γειτονικών Femtocells (π.χ. στα διαμερίσματα πολυκατοικίας). Συνεπώς, η σωστή διαχείριση των παρεμβολών σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει την ταυτόχρονη λειτουργία Μακροκυψέλης και Femtocell είναι πρόβλημα πρωτογενούς σημασίας.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη τεχνικών διαχείρισης ραδιοπόρων σε δίκτυα με Femtocells αλλά και να επισημάνει τον οικονομικό αντίκτυπο τόσο στον πάροχο όσο και στον πελάτη-συνδρομητή, που αφορούν την είσοδο της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην αγορά.

Οι τεχνικές που θα εξετασθούν για το τεχνικό μέρος στοχεύουν στην καταστολή των παρεμβολών συνολικά στο δίκτυο. Ο καθορισμός της ισχύος εκπομπής της Femtocell ανάλογα με την απόστασή της από τους χρήστες που εξυπηρετεί, τους χρήστες που παραμένουν συνδεδεμένοι στην Μακροκυψέλη αλλά και την απόσταση από την ίδια την κεραία της Μακροκυψέλης, έχει στόχο πάντα την διατήρηση της επιθυμητής υπηρεσίας τόσο για επικοινωνία φωνής όσο για μετάδοση δεδομένων. Η Τεχνική μελέτη έχει στηριχτεί κατά κύριο λόγο στο [1]. Επιπλέον αναφορές για την τεχνολογία Femtocell υπάρχουν στα [5], [6], [10], [11],[13], [27], [29] και [30]

Όσο αφορά το μέρος της οικονομικής μελέτης εξετάζεται ο οικονομικός αντίκτυπος της παρουσίας της τεχνολογίας Femtocell τόσο στο υπάρχον δίκτυο-Μακροκυψέλη όσο και στην ίδια την τεχνολογία Femtocell, μέσω ενός παραδείγματος υλοποίησης. Εκτός αυτού μελετώνται τα οικονομικά οφέλη ή ζημιές στον πάροχο αλλά και στον συνδρομητή αντίστοιχα, η οικονομική στρατηγική του παρόχου πριν, αλλά και πως προσαρμόζεται μετά την παρουσία Femtocell. Υπολογίζεται η συνδρομή ανά πελάτη για την υπό μελέτη περιοχή κάλυψης λαμβάνοντας υπόψιν το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης, την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται στο υπάρχον δίκτυο και κατά επέκταση στον πάροχο, τις προσφερόμενες υπηρεσίες στον συνδρομητή αλλά και τα οικονομικά οφέλη του, σε σχέση με τις νέες βελτιωμένες υπηρεσίες. Η οικονομική μελέτη στηρίζεται βασικά στο [2], ενώ επιπλέον αναφορές υπάρχουν στα [9] και [22].

1.3 Περίληψη

Η εμφάνιση της τεχνολογίας Femtocell έχει προκαλέσει δυνητικές αλλαγές στο χώρο των Κυψελωτών δικτύων που οφείλεται σε 3 βασικούς λόγους:

1. Επιτυγχάνεται καλύτερη φασματική απόδοση
2. Στο χαμηλό κόστος τους που σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοπλισμός ευρείας κατανάλωσης λαμβάνοντας υπόψιν και την μείωση των λειτουργικών εξόδων του αρχικού δικτύου υποδοχής.
3. Στην υψηλή τους απόδοση. Η απόκτησή τους δεν περιορίζει τις υπηρεσίες του πελάτη αλλά σε πολλές περιπτώσεις βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών.

Βέβαια, για να αποτελέσουν πλεονέκτημα τα παραπάνω οφέλη θα πρέπει να απαντηθούν σημαντικά ερωτήματα σχετικά με την αλληλεπίδραση της τεχνολογίας Femtocell με το Μακροκυψελωτό δίκτυο. Οι αλληλεπιδράσεις που μελετώνται είναι οι ζεύξεις μεταξύ των ίδιων των Femtocells, των Femtocell και του Μακροκυψελωτού συστήματος, του Μακροκυψελωτού συστήματος και διπλανών Femtocells αλλά και του εξοπλισμού των χρηστών εξαιτίας της εν δυνάμει σύνδεσης τους με την Femtocell και το Μακροκυψελωτό δίκτυο. Εάν μπορεί αυτή η αλληλεπίδραση να είναι διαχειρίσιμη και επεξεργάσιμη προς όφελος όλων, τότε η τεχνολογία Femtocell θα αποτελέσει απαραίτητο συστατικό των μελλοντικών ασύρματων δικτύων.

Η συγκεκριμένη μελέτη αναφέρεται σε πρότυπα δικτύων W-CDMA με συχνότητα λειτουργίας στην περιοχή των 2GHz . Η προσέγγιση είναι θεωρητική χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις σε επίπεδο συστήματος και ισολογισμού ζεύξης έχοντας ως αναφορά το έργο που έχει πραγματοποιηθεί από το 3GPP RAN4[1].

Για την επιτυχία της τεχνολογίας Femtocell θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα εξής:

- Η ισχύς της κάτω ζεύξης της Femtocell. Εάν εκπέμπει με υψηλή ισχύ τότε οι χρήστες που δεν ανήκουν στην Femtocell, πιθανόν θα χάσουν τις υπηρεσίες τους κοντά στην Femtocell. Εάν εκπέμπει χαμηλή ισχύ τότε οι χρήστες που δεν ανήκουν στην Femtocell δεν θα επηρεαστούν αλλά η κάλυψη της Femtocell θα είναι μικρή.
- Η ισχύς της άνω ζεύξης. Αν ένας χρήστης εκπέμπει υψηλή ισχύ τότε μπορεί να αυξήσει το επίπεδο θορύβου στο Μακροκυψελωτό δίκτυο αλλά και να υπερφορτωθεί ο δέκτης Femtocell λόγω της μικρής απόστασης του χρήστη Femtocell και του δέκτη Femtocell. Έτσι ορίζεται ένα όριο ισχύος και προτιμάται να γίνεται μεταπομπή στο Μακροκυψελωτό δίκτυο παρά να παραμένει συνδεδεμένος ο χρήστης στην Femtocell. Επίσης πραγματοποιείται δυναμική

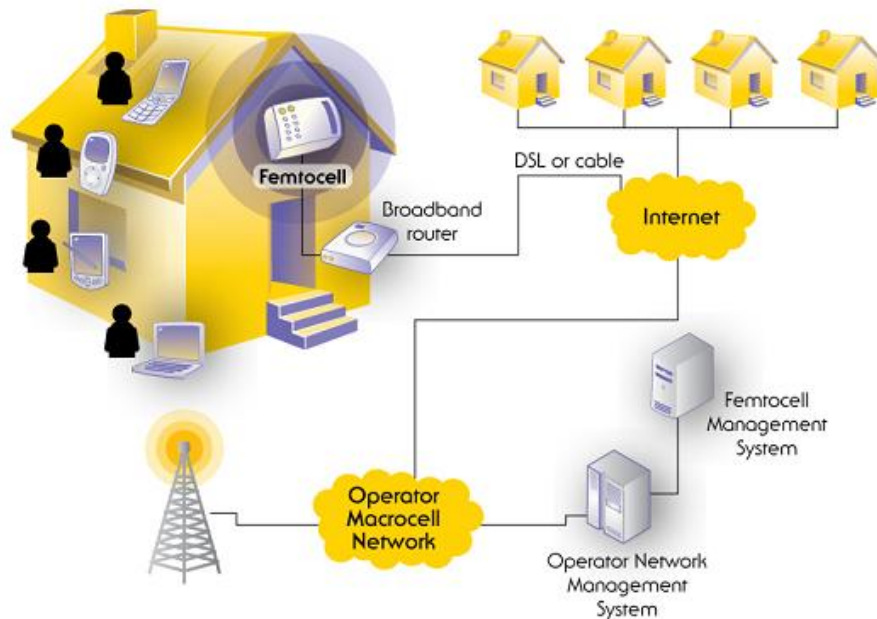
διαχείριση της απολαβής του δέκτη για την αποφυγή της υπερφόρτωσης αλλά και για την εξυπηρέτηση των χρηστών που βρίσκονται πιο μακριά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

Βασικές Έννοιες- Πλεονεκτήματα

2.1 Ορισμοί

Οι Femtocells είναι σημεία πρόσβασης χαμηλής ισχύος τα οποία παρέχουν ασύρματη φωνητική επικοινωνία και ευρυζωνικές υπηρεσίες σε οικιακό ή επιχειρηματικό περιβάλλον . Τα συγκεκριμένα σημεία πρόσβασης αναφέρονται και ως FAP (Femtocell Access Point). Τα FAP παρέχουν κυβελωτή πρόσβαση και συνδέονται με το δίκτυο του παροχέα μέσω της ευρυζωνικής σύνδεσης Internet που διαθέτει ο πελάτης, (Εικόνα 1),[1].



Εικόνα 1: Απεικόνιση τυπικού σεναρίου ανάπτυξης Femtocell

2.2 Πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης τεχνολογίας Femtocell

- **Φασματική Απόδοση.** Πιο συγκεκριμένα τα FAPs έχουν συνήθως ισχύ εξόδου μικρότερη από 0,1 Watt, (20dBm) ενώ επιτρέπουν το πολύ 10 ταυτόχρονες κλήσεις φωνής και δεδομένων. Λόγω της χαμηλής ισχύος εκπομπής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ πιο πυκνά σε μακροκυψελωτά δίκτυα. Η υψηλή πυκνότητα χρησιμοποίησής τους σημαίνει, ότι μπορεί να πετύχουν πιο συχνή επαναχρησιμοποίηση φάσματος, από ότι το Μακροκυψελωτό δίκτυο (με τις συγκριτικά μεγαλύτερες κυψέλες). Μιλάμε για WCDMA με αριθμό κυψελών ανά ομάδα $K=1$, οπότε ο συντελεστής μείωσης ομοδιαυλικής παρεμβολής ισούται $a = \frac{D}{R} = \sqrt{3K} = \sqrt{3} = 1,73$. Έτσι με τη χρήση Femtocells, η επαναχρησιμοποίηση, η απόδοση του φάσματος, και κατά συνέπεια η συνολική χωρητικότητα του δικτύου αυξήθηκε αλλά γίνεται επιτακτική η ανάγκη για διαχείριση των παρεμβολών (λόγω του μικρού a).
- **Εύκολη εγκατάσταση από τον χρήστη.** Η εγκατάσταση πραγματοποιείται από τον ίδιο τον χρήστη χωρίς την επέμβαση του παρόχου. Οι συσκευές συντονίζονται αυτόματα στο δίκτυο με ρυθμίσεις που ελαχιστοποιούν τις παρεμβολές με το Μακροκυψελωτό δίκτυο.
- **Μεταφερισιμότητα.** Οι χρήστες μπορούν να μεταφέρουν την συσκευή Femtocell σε άλλο δωμάτιο ή με την συγκατάθεση του παρόχου σε μία άλλη θέση εκτός κατοικίας.
- **Έλεγχος προσβασιμότητας.** Ο πάροχος ή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγχει, ποια κινητή συσκευή θα έχει πρόσβαση στην Femtocell
- **Υποστηρίζει περιορισμένο αριθμό χρηστών.** Τυπικά υποστηρίζει μέχρι 10 ταυτόχρονες κλήσεις και συνεδρίες δεδομένων.
- **Η τιμολόγηση της καλυπτόμενης περιοχής.** Οι υπηρεσίες που προσφέρονται μέσω της Femtocell μπορεί να είναι φθηνότερες από το να προσφέρονται από την Μακροκυψέλη.
- **Ποικιλία μοντέλων ιδιοκτησίας.** Για παράδειγμα κάθε χρήστης μπορεί να έχει την δική του Femtocell, όπως την κινητή του συσκευή ή ο πάροχος να νοικιάζει την συσκευή Femtocell.
- **Επεκτασιμότητα.** Το δίκτυο Femtocell παρά το μέγεθός του, μπορεί να επεκταθεί σε εκατομμύρια συσκευές.
- **Καινοτομία υπηρεσιών.** Μπορούν να εφαρμοστούν πρωτότυπες υπηρεσίες στο Femtocell δίκτυο όπως αποστολή και λήψη sms όταν κάποιος χρήστης μπαίνει στο δίκτυο, χτύπημα όλων των τηλεφώνων σε κλήση, backup από τηλέφωνο στο

pc, προβολή φωτογραφιών από το κινητό στην TV, προβολή από DVR στο τηλέφωνο, κτλ

2.3 Femtocell Forum

Το Femtocell Forum είναι ο οργανισμός που προάγει την τεχνολογία Femtocell σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι μη κερδοσκοπικός οργανισμός με ανοιχτή συμμετοχή και εκπροσωπείται από περίπου 100 μέλη, σε όλα τα επίπεδα της βιομηχανίας Femtocell.

Το Femtocell Forum έχει 3 βασικούς σκοπούς:

1. Την προώθηση της τεχνολογίας Femtocell καθιστώντας διαθέσιμες πληροφορίες στη βιομηχανία και το ευρύ κοινό.
2. Την ταχεία δημιουργία ανοιχτών προτύπων και διαλειτουργικότητας για την συγκεκριμένη τεχνολογία.
3. Την ενθάρρυνση ανάπτυξης ενός συστήματος, για την παροχή καινοτόμων εμπορικών και τεχνικών λύσεων.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά, είναι διαθέσιμες στον ιστότοπο www.femtoforum.org.

3. Μέθοδοι-Στόχοι

Για να επωφεληθούν οι πάροχοι όσο αφορά την χωρητικότητα αλλά και οι χρήστες με απαιτήσεις υψηλότερων υπηρεσιών, θα πρέπει να γίνει προσεχτική διαχείριση του φάσματος. Στοιχείο αποτελεί η διαχείριση των παρεμβολών μεταξύ της Μακροκυψέλης και της Femtocell οι οποίες παρεμβολές, μειώνουν την χωρητικότητα, αλλά και την ποιότητα των ραδιοδιαύλων του συστήματος .

Κύριοι στόχοι της παρούσης μελέτης αποτελούν:

- α)** Η μελέτη παρεμβολών από την ανάπτυξη Femtocell.
- β)** Η μελέτη, RF παραμέτρων σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις επιδόσεων, για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη διαταραχή στη Μακροκυψέλη αλλά και στο Femtocell δίκτυο.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, πραγματοποιείται μελέτη λεπτομερών σεναρίων, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των παρεμβολών. Τα σενάριο θα καλύπτουν την χειρότερη περίπτωση συνθηκών ανάπτυξης, για να εκτιμήσουν τις αντίστοιχες επιπτώσεις στο σύστημα, αλλά και για να συμπληρώσουν σενάριο RAN 4 που έχουν ήδη μελετηθεί στο 3GPP [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Σενάρια & προδιαγραφές δικτύων

Συνοπτικά αναφέρονται τα εξής όσο αφορά τις προδιαγραφές του ασύρματου δικτύου[1]:

- Υπάρχουν 3 κλάσεις εκπομπής των Femtocell, 10dBm, 15dBm και 20dBm
- Αναφερόμαστε σε συστήματα W-CDMA
- Η συχνότητα λειτουργίας είναι γύρω από τα 2Ghz.

Όσο αφορά την μελέτη έχουμε τα εξής σενάρια (Εικόνα 2):

Σενάριο A

Πώς η κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης επηρεάζει τον χρήστη Femtocell.

Σενάριο B

Η άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης παρεμβάλει τον δέκτη της συσκευής Femtocell.

Σενάριο C

Η κάτω ζεύξη της Femtocell παρεμβάλει την συσκευή του χρήστη Μακροκυψέλης.

Σενάριο D

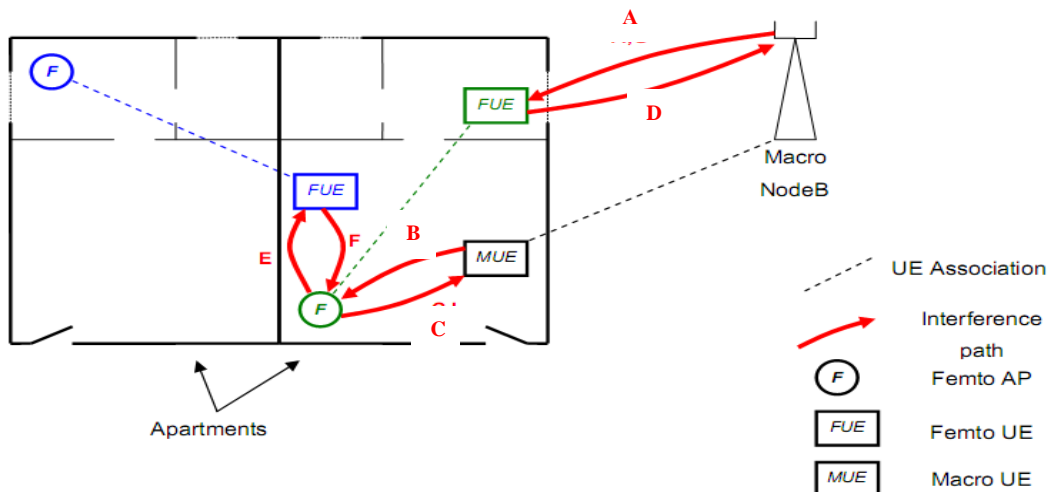
Η άνω ζεύξη του χρήστη Femtocell παρεμβάλει τον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης (Macro Node B).

Σενάριο E

Η κάτω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλει διπλανούς χρήστες της Femtocell.

Σενάριο F

Η άνω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλει διπλανές συσκευές Femtocell.



Εικόνα 2 : Σχεδιαγραμματική Αναπαράσταση Σεναρίων

3.2 Link Budget –Χαρακτηριστικά Ζεύξεων

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι που θεωρούνται για την υλοποίηση και μελέτη των σεναρίων που έπονται[1], [8], [12],[15].

Πίνακας 1: Link Budget των υπό μελέτη σεναρίων

Παράμετρος	Τιμή	Συμβολισμός-Σχόλιο
Μέγιστη Ισχύς Tx του Macro Node B(MNB)	43dBm	Ptx_max
Μέγιστη Ισχύς Tx του Micro Node B(mNB)	38dBm	Ptxm_max
Κέρδος Κεραίας MNB	17dBi	GM
Απώλειες Συσκευής MNB	3dB	Lc
Κέρδος Κεραίας MicroNB	2dBi	Gm
Ύψος Κεραίας MNB	25m	Hb
Απώλειες Συσκευής MicroNB	1dB	Lc
Όριο Μακροκυψέλης (από P-CPICH)	$\geq -103\text{dBm}$ και $E_c/N_o \geq -20\text{dB}$	Eirp_pcp
Noise Figure Femtocell	8dB	NF
Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου(Indoor to Indoor)		ITU-R P.1238
Μοντέλο Διάδοσης εξωτερικού χώρου(Outdoor to Outdoor)		ITU P.1411
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	10dBm, 15 dBm, 21 dBm	Ptx_f
Κέρδος Κεραίας Femtocell	0 dBi	Gf
Απώλειες Συσκευής Femtocell	1dB	Lc_f
P-CPICH Femtocell	10% της μέγιστης ισχύος	Pcp_pctage
Κέρδος Κεραίας Χρήστη(FUE)	0dBi	Gue
Απώλειες Συσκευής Χρήστη(FUE)	3dB	Lc_u
Ύψος συσκευής χρήστη από το έδαφος (MNB&FUE)	1,5m	Hm
Μέγιστη ισχύς MUE	21dBm	Ptx_mue
Eb/No για φωνή	8.3dB (ul)	Eb/No
Συχνότητα	1900Mhz-2000Mhz	Fc
Ταχύτητα για υπηρεσία φωνής	12.2kbps	R
Ρυθμός κώδικα διασκορπισμού	3.84Mcps	W
Κέρδος Επεξεργασίας	24.98	PG=10*log(W/R)
Ισχύς του Θορύβου	-103dBm	N

3.3.1 Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου(Indoor to Indoor) ITU-R P.1238

Το συγκεκριμένο μοντέλο, προβλέπει τις απώλειες διαδρομής μεταξύ δύο σημείων σε εσωτερικό χώρο. Λαμβάνονται υπόψιν απώλειες λόγω των εσωτερικών τοίχων, επίπλων, κτλ οι οποίες εκφράζονται από τον δείκτη N, ο οποίος εξαρτάται από το είδος του κτιρίου (κατοικίες, γραφεία, κτλ)

Η εξίσωση που υπολογίζει την απώλεια διαδρομής είναι:

$$L_{total}(dB) = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28$$

όπου

N : Συντελεστής απωλειών. Για συχνότητες στα 1.8-2 GHz παίρνει τις εξής τιμές:

Κατοικία :28

Γραφείο : 30

Επιχείρηση : 22

f : Συχνότητα λειτουργίας σε MHz

d : Απόσταση σε (m) μεταξύ του σταθμού βάσης και της κινητής συσκευής (d>1m)

n : Πλήθος ορόφων μεταξύ σταθμού βάσης και της κινητής συσκευής (n ≥ 1)

L_f : Παράγοντας απωλειών(σε dB) λόγω των ορόφων, για τον οποίο ισχύει:

Κατοικία : 4n

Γραφείο : 15+4(n-1)

Επιχείρηση :6+3(n-1)

3.3.2 Μοντέλο διάδοσης εξωτερικού χώρου(Outdoor to outdoor) - ITU P.1411

Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε για την μελέτη μικρής κλίμακας συστημάτων δικτύων εξωτερικού χώρου, (< 5km) και με συνιστώμενη μέγιστη περιοχή κάλυψης 1km. Προτιμάται σε περιπτώσεις που το ύψος των σταθμών βάσης είναι κάτω από το μέσο ύψος των τελευταίων ορόφων των κτιρίων, ενώ τα δύο τερματικά έχουν οπτική επαφή (LOS) και περιβάλλονται από κτίρια.

Για προσδιοριστούν οι απώλειες σε τέτοιο σενάριο χρησιμοποιούνται δύο περιπτώσεις, η άνω και η κάτω προσέγγιση.

Κάτω προσέγγιση

$$L_{Los,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log\left(\frac{d}{R_{bp}}\right) & d \leq R_{bp} \\ 40 \log\left(\frac{d}{R_{bp}}\right) & d > R_{bp} \end{cases}$$

Άνω προσέγγιση

$$L_{Los,l} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log\left(\frac{d}{R_{bp}}\right) & d \leq R_{bp} \\ 40 \log\left(\frac{d}{R_{bp}}\right) & d > R_{bp} \end{cases}$$

$$\text{με } R_{bp} \approx \frac{4h_b h_m}{\lambda} \text{ και } L_{bp} (dB) = \left| 20 \log\left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_b h_m}\right) \right|$$

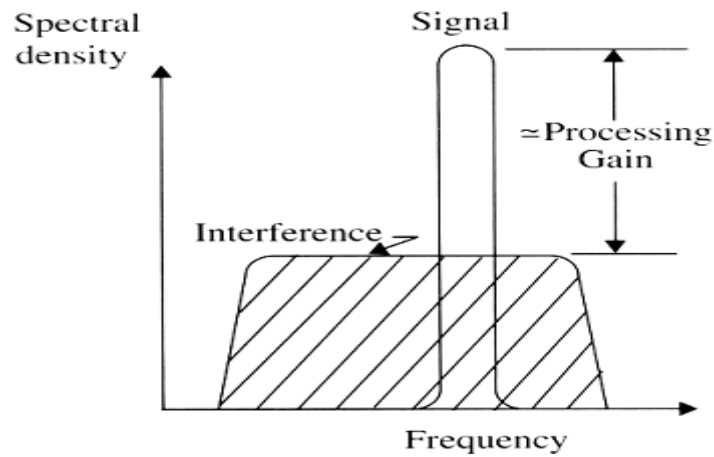
όπου R_{bp} είναι σημείο παρατήρησης πέραν του οποίου αυξάνεται ο ρυθμός απωλειών ενώ το L_{bp} προσδιορίζει τις απώλειες μέχρι το σημείο R_{bp} . Το λ είναι το μήκος κύματος σε (m), h_b και h_m το ύψος της σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού από το έδαφος, και d η απόσταση από τον σταθμό βάσης.

3.3.3 Εξήγηση λοιπών βασικών παραμέτρων του Link Budget (P-CPICH,W,R,PG,Eb/No, PN)

PCPICH. Το κανάλι PCPICH χρησιμοποιείται για σηματοδότηση και πιο συγκεκριμένα, για την εκτίμηση του καναλιού και την επιλογή κυψέλης [25]. Έτσι από την ισχύ του συγκεκριμένου καναλιού εξαρτάται η περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Θεωρείται ότι χρησιμοποιεί το 10% την μέγιστη διαθέσιμη ισχύος του σταθμού βάσης, ενώ η υπόλοιπη ισχύς διατίθεται για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Επίσης ότι όριο κάλυψης της Μακροκυψέλης, υπολογίζεται ως η απόσταση στην οποία η τιμή ισχύος του P-CPICH έχει πέσει στα -103dBm.

W, R. Μιλάμε για Συστήματα WCDMA οπότε έχουμε διασκορπισμό φάσματος. Θεωρούμε το εύρος διασκορπισμού $W=3.84\text{Mhz}$ ενώ η απαίτηση ρυθμού για υπηρεσία φωνής θεωρείται ότι είναι στα $R=12.2\text{Kbps}$

PG(Κέρδος Επεξεργασίας). Το επίπεδο του επιθυμητού σήματος σε σχέση με το σήμα των υπολοίπων χρηστών (παρεμβολή), Εικόνα 3[23].



Εικόνα 3 :Κέρδος Επεξεργασίας PG

N. Η ισχύς του θορύβου : -103dBm από το [15] για το FUE.

Eb/No. Ο απαιτούμενος λόγος ενέργειας bit προς την φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου(και παρεμβολής γενικότερα) για την επιθυμητή υπηρεσία.

3.3.4 High Speed Packet Access (HSPA)

Η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA) αποτελεί τη φυσιολογική και τεχνολογική εξέλιξη του UMTS. Συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο [4], [7], [8], [20], [21], [25].

Το HSPA προσφέρει:

- Υψηλότερο εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες.
- Αυξημένη χωρητικότητα για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους .
- Παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών αυξημένης διαδραστικότητας.

Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις:

- Στο downlink: High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).
- Στο uplink: High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).

HSDPA

Η τεχνολογία HSDPA αναπτύχθηκε με σκοπό:

- Την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος.
- Την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.

Η τεχνολογία HSDPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, και λειτουργεί στην μπάντα (1,9-2,1GHz) με εύρος ζώνης 5MHz. Το κυριότερο κανάλι είναι το High Speed-Downlink Shared Channel (HS-DSCH) διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς.

Στο HS-DSCH οι κώδικες καναλιού και η ισχύς εκπομπής σε μια κυψέλη θεωρούνται μια κοινή πηγή που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών στο πεδίο του χρόνου και του κώδικα . Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν μέσω του

HS-DSCH είναι της τάξης των 1,8Mbps, 3,6Mbps, 7,2Mbps μέχρι και 14,4Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη. Στην πραγματικότητα το HSDPA διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής και παρέχει σχεδόν δεκαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων συγκριτικά με τα UMTS δίκτυα.

HSUPA

Η τεχνολογία HSUPA αποτελεί το ανάλογο της τεχνολογίας HSDPA στην ανερχόμενη ζεύξη. Η χρήση του HSUPA θα επιτρέψει την πρόσβαση σε «συμμετρικές» εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως υπηρεσίες Voice over Internet Protocol (VoIP) και interactive multimedia

Τα σημεία κλειδιά για την επιτυχία του HSUPA ήταν:

- Η εισαγωγή ενός νέου αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο (E-DCH) με αυξημένη λειτουργικότητα και απόδοση
- Η χρήση HARQ και το fast scheduling, όπως και στην περίπτωση του HSDPA

Το HSUPA σύστημα μπορεί να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στην ανερχόμενη ζεύξη (UL) μέχρι και 5,76Mbps

Πλεονεκτήματα HSPA

- Αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες
- Αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών
- Υψηλή χωρητικότητα του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων

Υπηρεσίες

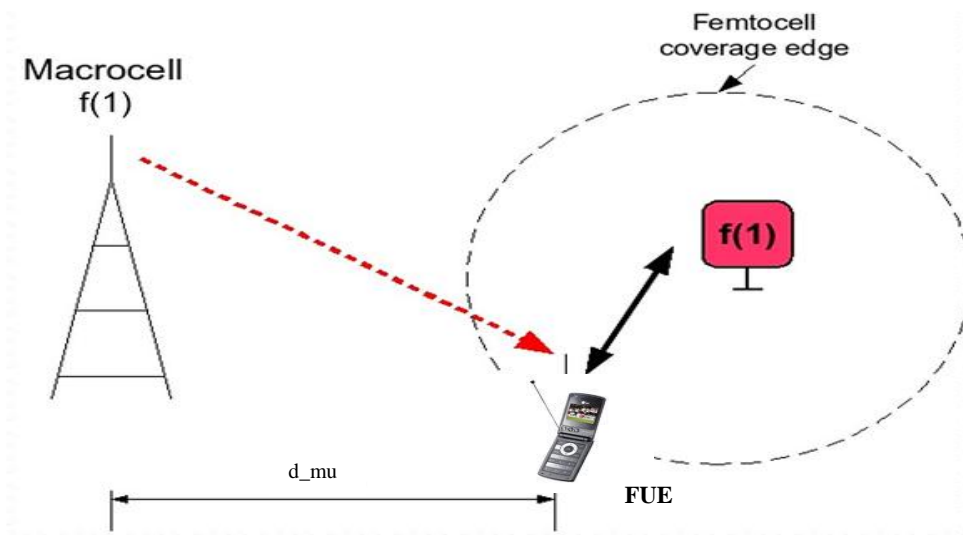
- Πλοήγηση στο ψηφιακό περιεχόμενο του διαδικτύου (Internet, downloads)
- Υπηρεσίες μεταφοράς/διαμοιρασμού αρχείων οποιουδήποτε ψηφιακού τύπου περιεχομένου (file sharing/ftp, P2P, remote surveillance, βίντεο κατ' απαίτηση (VoD), video/MP3 streaming)
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (κατάλληλο για αποστολή (HSUPA) /λήψη (HSDPA) μεγάλων επισυναπτόμενων αρχείων)
- Video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες
- Διαδραστικές εφαρμογές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Τεχνική Ανάλυση Σεναρίων

4.1 Σενάριο Α΄: Πώς η κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης επηρεάζει τον χρήστη Femtocell

Όπως ειπώθηκε και πριν, στόχος αποτελεί η διαχείριση των παρεμβολών ανάμεσα στην Μακροκυψέλη και Femtocell, από την στιγμή βέβαια που η Femtocell λειτουργεί στην περιοχή κάλυψης του Μακροκυψελωτού δικτύου. Ένα εκ των προβλημάτων που παρουσιάζεται εδώ είναι η παρεμβολή που δέχεται ένας χρήστης Femtocell από την κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης στην περίπτωση μάλιστα, που η απόσταση (d_{mu}) του FUE από τον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης, είναι αρκετά μικρή π.χ. 30m (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου Α΄

Εδώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη δύο παραγόντων:

- A)** Καθορισμός του ορίου κάλυψης της Femtocell (Παράγραφος 4.1.1).
- B)** Οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν υπό αυτές της συνθήκες (Παράγραφος 4.2.1).

4.1.1 Περιγραφή υπολογισμού Ορίου Κάλυψης Femtocell

Εδώ πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση από το FAP στην οποία ο λόγος της ισχύος που δέχεται η συσκευή του χρήστη (FUE) από το P-CPICH του FAP, προς την ισχύ που δέχεται η συσκευή, από την κάτω ζεύξη του μακροκυβελωτού δικτύου (MNB) είναι επαρκής για την εξυπηρέτηση του χρήστη από την Femtocell. Σύμφωνα με το [1]&[17], ο λόγος αυτός αρκεί αν είναι -20dB. Έτσι για να υπολογιστεί η συγκεκριμένη απόσταση από την Femtocell, θα πρέπει να βρεθεί η απόσταση μεταξύ FUE και FAP στην οποία η ισχύς του P-CPICH στο FUE είναι μικρότερη από 20 dB από την ισχύ από το MNB.

4.1.1.1 Συνοπτική Περιγραφή Προσομοίωσης-Εκτέλεση Προσομοιώσεων.

1. Υπολογισμός EIRP για το MNB, για την ισχύ εκπομπής που δίδεται ως είσοδος.
2. Υπολογισμός της ισχύος που λαμβάνεται στο FUE από το MNB, ανάλογα με την απόσταση(d_{μ}), μεταξύ MNB-FUE, με την χρήση του μοντέλου διάδοσης ITU P.1411.
3. Υπολογισμός της ισχύος του P-CPICH για την Femtocell, με βάση την ισχύ εκπομπής που δίδεται ως είσοδος.
4. Υπολογισμός της ισχύος (P-CPICH) που λαμβάνεται στο FUE από το FAP, για διάφορες αποστάσεις d μεταξύ FUE-FAP με την χρήση μοντέλου διάδοσης ITU-R P.1238.
5. Υπολογισμός ισχύος στο FUE απ'το MNB λαμβάνοντας υπόψιν το όριο -20dB, [17].
6. Η περιοχή που ορίζεται από το σημείο τομής της καμπύλης ισχύος από το FAP με την γραμμή της ισχύος από το MNB, ορίζει και το όριο της απόστασης μεταξύ FAP-MNB, έτσι ώστε το FUE να παραμένει συνδεδεμένο στην Femtocell.

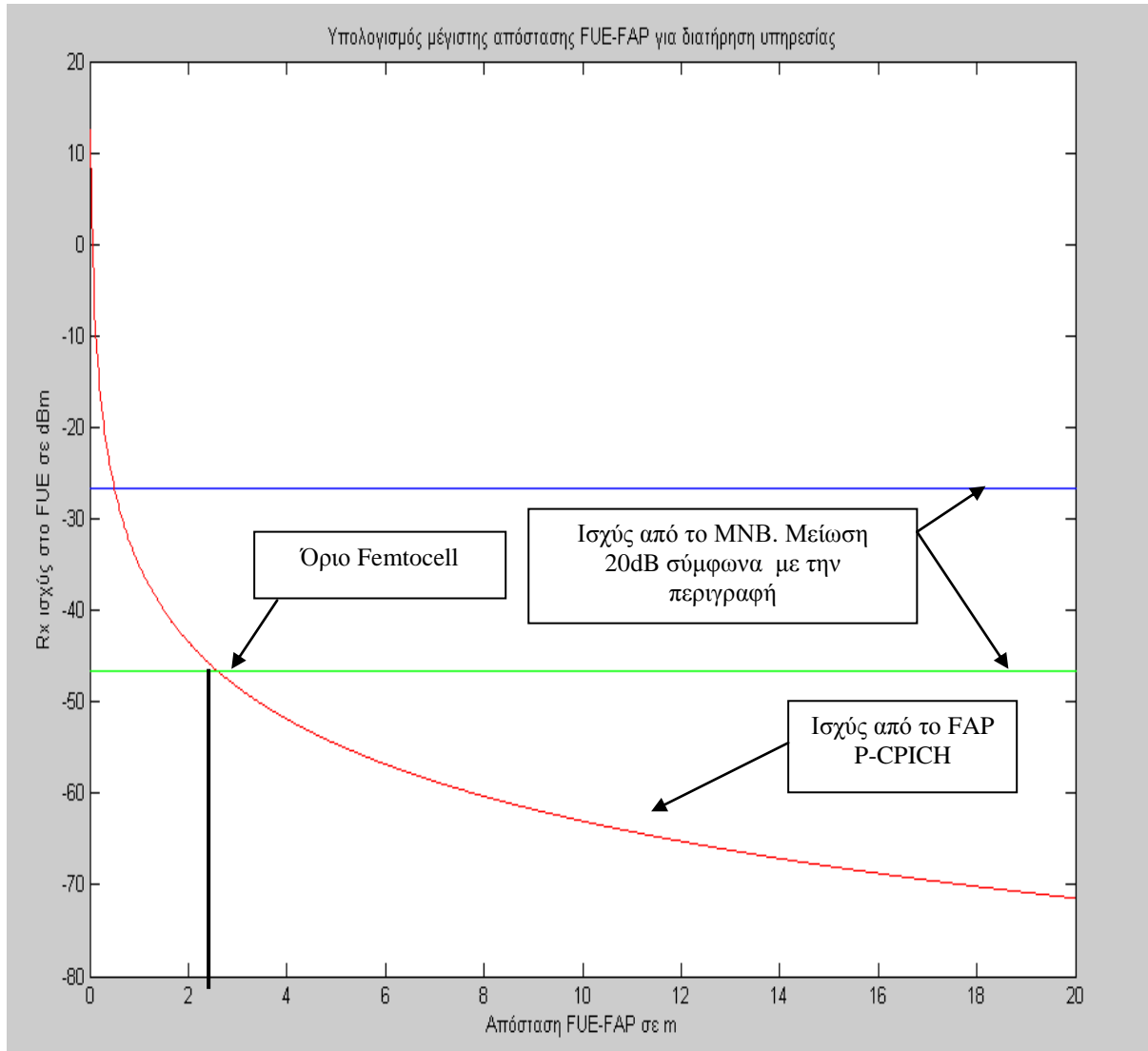
Για ανάλυση, θεωρούμε τις εξής σταθερούς παραμέτρους(Πίνακας 2):

Πίνακας 2: Link Budget Σεναρίου Α'

	Τιμή/Μονάδες	Συμβολισμός
Κέρδος Κεραίας MNB	17dBi	GM
Απώλειες Συσκευής MNB	3dB	Lc
Ύψος Κεραίας MNB	25m	Hb
Μέγιστη Ισχύς MNB	43dBm	Ptx_Max
Ισχύς για Χρήστες(MNB)	75% μέγιστης ισχύος	$Ptx_m=Ptx_Max+10\log(0.75)$
Tx EIRP	41.75dBm	$EIRP_m=Ptx_m+Gm-Lc$
Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου (Indoor to Indoor)		L (ITU 1238)
Μοντέλο Διάδοσης εξωτερικού χώρου (Outdoor to Outdoor)		PL_m (ITU P.1411)
Window Loss	5dB	wl
Μέγιστη Ισχύς Femtocell	10dBm,15dBm,21dBm	Ptx_f
Κέρδος Κεραίας Femtocell	0 dBi	Gf
Απώλειες Συσκευής Femtocell	1dB	Lc_f
Κέρδος Κεραίας Χρήστη	0dBi	Gue
Απώλειες Συσκευής Χρήστη	3dB	Lc_u
Ύψος συσκευής χρήστη από το έδαφος	1,5m	Hm
Tx EIRP Femtocell		$Eirp_f= Ptx_f +Gf-Lc_f$
Συχνότητα	2000MHz	Fc
P-CPICH	10% του Eirp_f	$F_PCIPCH= Eirp_f + 10 * \log_{10}(0.1)$

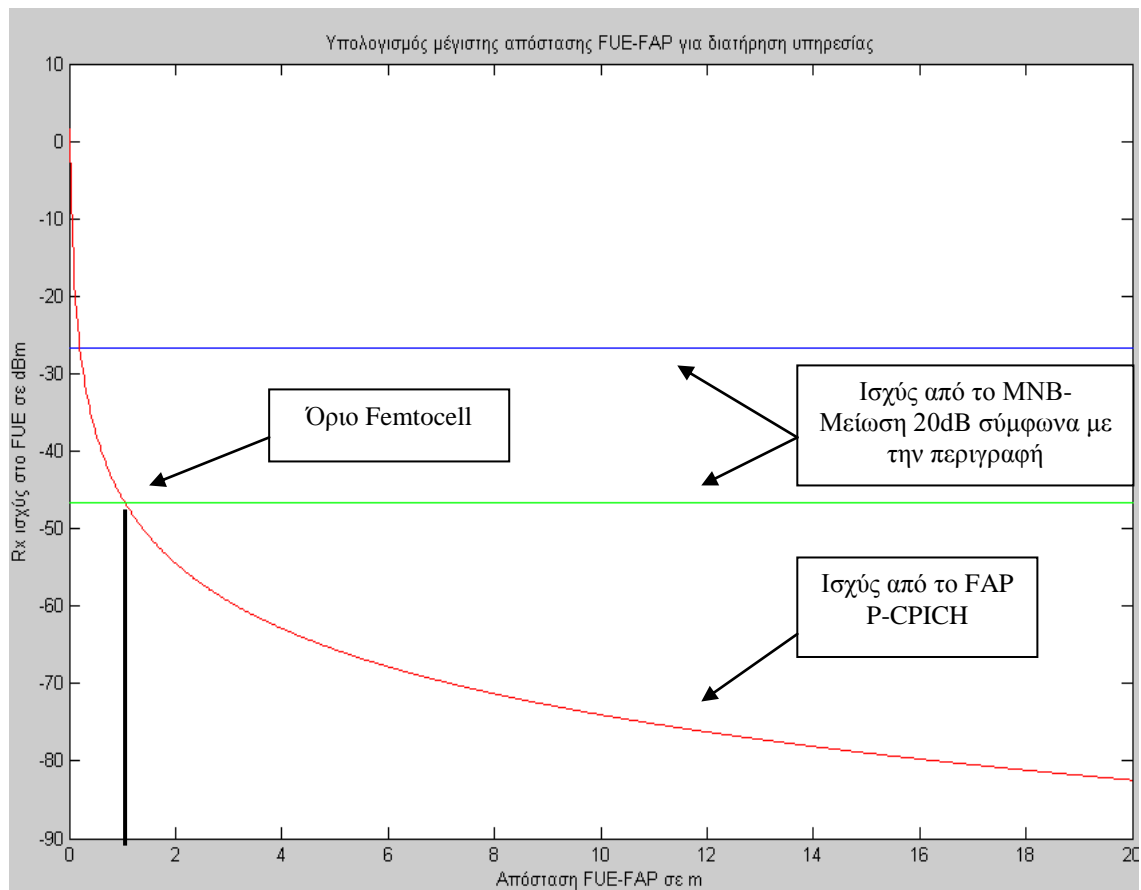
Πίνακας 3: Είσοδοι Προσομοίωσης Α' & Β'

	Τιμές/Μονάδες	Συμβολισμός
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	21 dBm, 10dBm	Ptx_f
Απόσταση MNB και FUE	30m	d_mu
Μέγιστης Ισχύς MNB Bound	43dBm	Ptx_max
Όροφος FAP-FUE Κτίριο	Ίδιος όροφος Κατοικία	n=1 Residential=28



Εικόνα 5 : 1η Προσομοίωση Σεναρίου Α' (Ptx_f=21dBm)

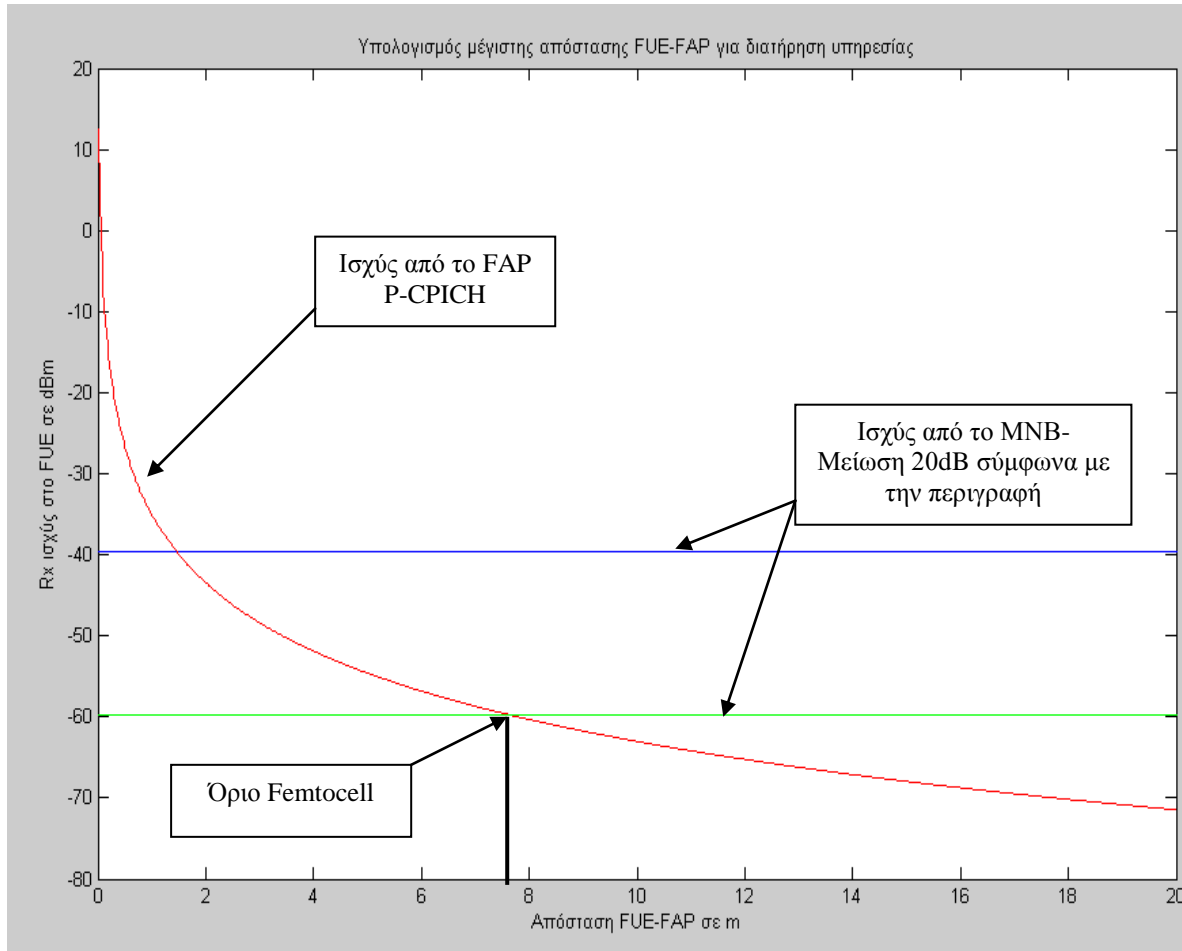
Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ Femtocell και FUE, πρέπει να είναι κάτω από 3 μέτρα, έτσι ώστε να παραμένει ο χρήστης συνδεδεμένος στην Femtocell.



Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ Femtocell και FUE, πρέπει να είναι κάτω περίπου από 1,5 μέτρα, έτσι ώστε να παραμένει ο χρήστης συνδεδεμένος στην Femtocell.

Πίνακας 4: Είσοδοι Προσομοίωσης Γ'

	Τιμές/Μονάδες	Συμβολισμοί
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	21dBm	Ptx_f
Απόσταση MNB και FUE	100m	d_mu
Ισχύς MNB	43dBm	Ptx_max
Bound	Upper Bound	UB
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28



Εικόνα 7: 3η Προσομοίωση Σεναρίου Α'

Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ Femtocell και FUE, πρέπει να είναι κάτω από 8 μέτρα, έτσι ώστε να παραμένει ο χρήστης συνδεδεμένος στην Femtocell.

4.1.1.2 Συμπεράσματα για το όριο κάλυψης Femtocell

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Προσομοίωσης υπολογισμού ορίου κάλυψης Femto

Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	21dBm	10dBm	21dBm
Απόσταση MNB και FUE	30m	30m	100m
Ισχύς MNB	43dBm	43dBm	43dBm
Bound	Upper	Upper	Upper
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος	Ίδιος	Ίδιος
Κτίριο	Κατοικία	Κατοικία	Κατοικία
Μέγιστη Απόσταση FUE-FAP(προσέγγιση)	3m	1,5m	8m

Συμπεραίνεται ότι η περιοχή κάλυψης της Femtocell, άρα και το όριο κατά το οποίο ο χρήστης παραμένει συνδεδεμένος στην Femtocell, εξαρτάται από την ισχύ της Femtocell, αλλά και από την ισχύ της Μακροκυψέλης, που παρεμβάλει το FUE για δεδομένη απόσταση μεταξύ FUE και MNB. Όσο μεγαλώνει η ισχύς της Femtocell, αλλά και αυξάνεται η απόσταση μεταξύ FUE-MNB, αυξάνεται το όριο της απόστασης μεταξύ FUE-FAP, για διατήρηση της υπηρεσίας.

4.2.1 Υπολογισμός Χωρητικότητας.

Εδώ μελετάται η επίδραση της παρεμβολής από το MNB στην ταχύτητα της κάτω ζεύξης της Femtocell, για διάφορες αποστάσεις μεταξύ FUE-FAP και MNB-FUE. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται η επιπλέον παράμετροι (σε σχέση με τον Πίνακα 2) για τον υπολογισμό της χωρητικότητας

Πίνακας 6:Link Budget για HSPA Σεναρίου Α΄

Ισχύς $P_{HS-DSCH}$	10dBm	$P_{HS-DSCH}$
Παράγοντας Ορθογωνιότητας για κάτω ζεύξη	1	α
Ισχύς Θορύβου στο Fue	-103dBm[15]	N

4.2.1.1 Συνοπτική Περιγραφή Προσομοίωσης-Εκτέλεση Προσομοιώσεων.

Υπολογίζεται η μέγιστη ταχύτητα HSDPA σε συνάρτηση του HS-DSCH και SINR, στο FUE. Το HS-DSCH (high speed downlink shared channel) είναι ένα κανάλι μεταφοράς, το οποίο μεταφέρεται σε πολλαπλά HSPDSCH (high speed physical downlink shared channel) όπου το καθένα χρησιμοποιεί OVSF κώδικα διασκορπισμού φάσματος με παράγοντα διασκορπισμού SF=16. Μας ενδιαφέρει το SINR στο FUE, γιατί εξαιτίας του χαμηλού SINR, (δηλ του υψηλού θορύβου ή παρεμβολών), έχουμε αύξηση της διασυμβολικής παρεμβολής, χαλάει η ορθογωνιότητα των OVSF κωδίκων, το κέρδος επεξεργασίας μειώνεται και επομένως ο δέκτης δεν μπορεί να συμπίσει την παρεμβολή αποτελεσματικά [20], [24], [25] και [30].

Συγκεκριμένα:

1. Για τον υπολογισμό του SINR χρησιμοποιείται η σχέση από το [4]

$$SINR = SF_{16} \frac{P_{HS-DSCH}}{(1-a)P_{own} + P_{other} + P_{noise}}$$

2. Υπολογίζεται το P_{other} που είναι ισχύς που λαμβάνεται στο FUE, από το MNB(PathLoss ITU P.1411)
3. Υπολογίζεται το P_{HS_DSCH} στο FUE, για $P_{HS-DSCH}=10\text{dBm}$ [1] (PathLoss ITU 1238), για διάφορες αποστάσεις μεταξύ FUE-FAP.
4. Οπότε έχουμε το ρυθμό Mbps για την κάτω ζεύξη [14]:

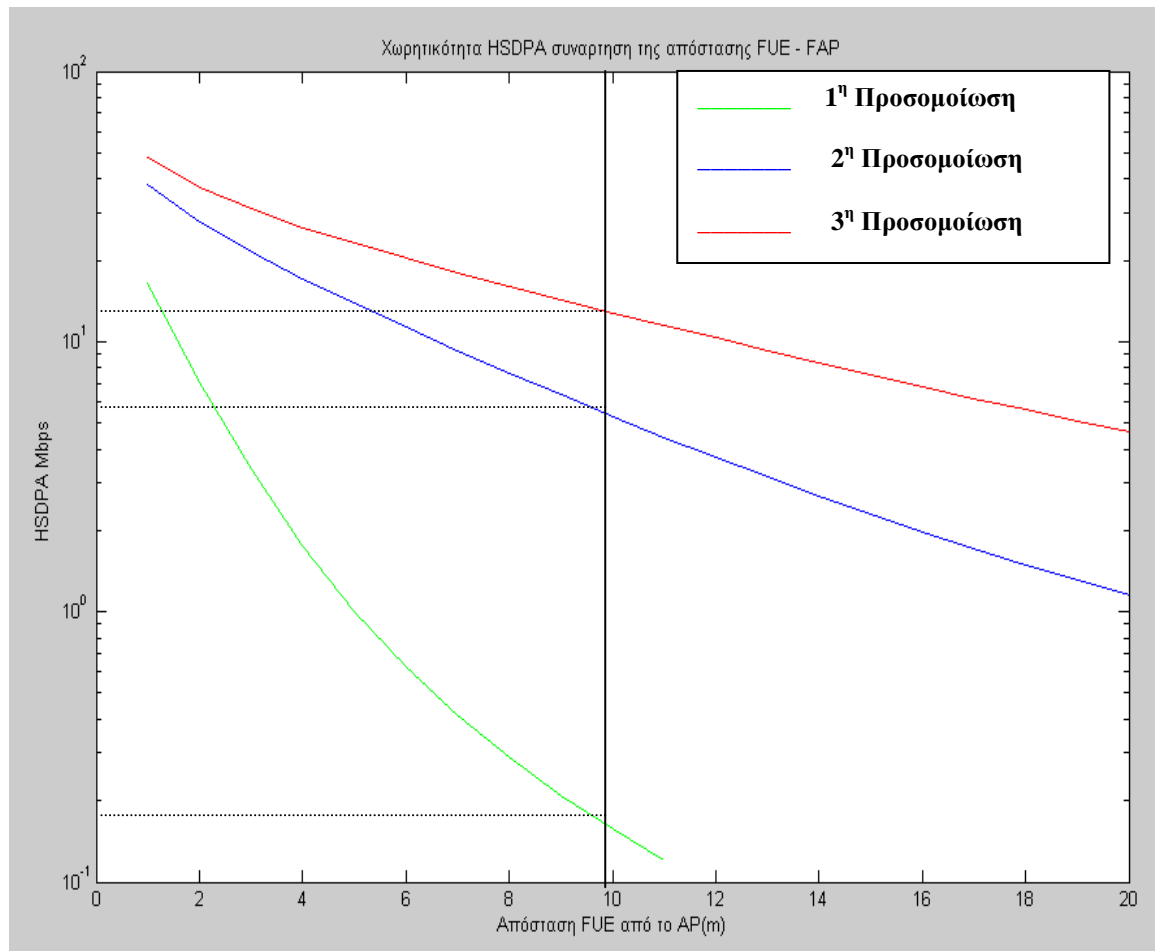
$$R_{HS,Mbps} = 3.84 \cdot \begin{cases} 0, & SINR < 10^{-1.4} \\ \log_2 \left(1 + \frac{SINR}{2} \right), & SINR \geq 10^{-1.4} \end{cases}$$

Πίνακας 7: Είσοδοι Προσομοιώσεων για HSDPA Σεναρίου Α'

Κτίριο	Κατοικία	
Όροφοι μεταξύ FUE-FAP	1	N
Ισχύς MNB	43dBm	Ptx_Max
Bound(Μοντέλο διάδοσης ITU P.1411)	Upper Bound	UB
Απόσταση MNB-FUE	1 ^η Προσομοίωση 100m 2 ^η Προσομοίωση 500m 3 ^η Προσομοίωση 1000m	d_mu

4.2.1.2 Συμπεράσματα για την χωρητικότητα HSDPA.

Στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις εισόδους του Πίνακα 7. Παρατηρούμε, ότι η παρεμβολή από την Μακροκυψέλη επηρεάζει κατά πολύ τον ρυθμό μετάδοσης του HSDPA. Βλέπουμε ότι για την ίδια απόσταση, μεταξύ FUE-FAP, επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης καθώς το Fue απομακρύνεται από τον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μείωσης της παρεμβολής από το MNB, λόγω της αύξησης του PathLoss, οπότε έχουμε βελτίωση του SINR στο FUE, άρα καλύτερη επίδοση και στον ρυθμό.



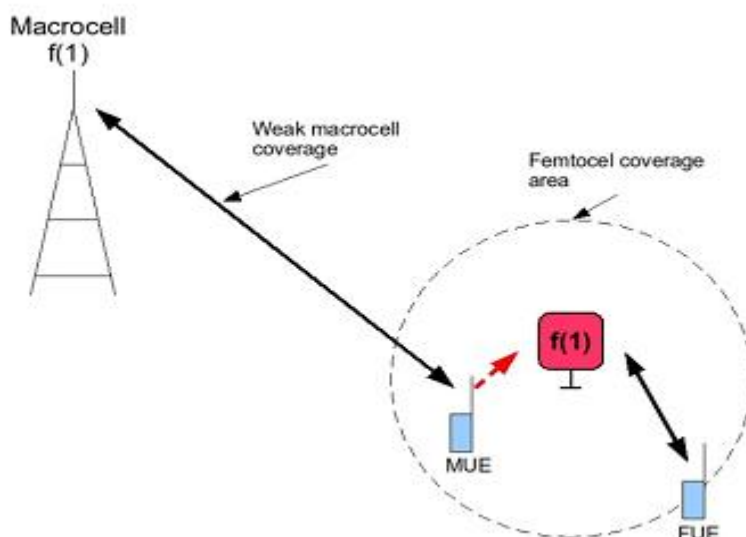
Εικόνα 8: Γράφημα Χωρητικότητας HSDPA συνάρτηση της απόστασης FUE-FAP

Πίνακας 8: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων για HSDPA για απόσταση FUE-FAP 10m

	1 ^η Προσομ.	2 ^η Προσομ	3 ^η Προσομ
Κτίριο	Κατοικία	Κατοικία	Κατοικία
Όροφοι μεταξύ FUE-FAP	1	1	1
Ισχύς MNB	43 dBm	43 dBm	43 dBm
Απόσταση MNB-FUE	100m	500m	1000m
Bound	Upper	Upper	Upper
Ρυθμός HSDPA(Mbps) κατά προσέγγιση	<0.2 Mbps	~5.5 Mbps	~13 Mbps

4.2 Σενάριο Β': Η άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης παρεμβάλλει τον δέκτη της συσκευής Femtocell

Σε αυτό το σενάριο μελετάται η περίπτωση της παρουσίας ενός χρήστη MUE, στο όριο κάλυψης της Μακροκυψέλης και ταυτόχρονα στην περιοχή κάλυψης της Femtocell. (Εικόνα 9)



Εικόνα 9: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου Β'

Το σενάριο αυτό αναλύεται με τον εξής τρόπο:

- A)** Υπολογίζεται η ισχύς που λαμβάνει το FAP, από την άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης, για διάφορες αποστάσεις μεταξύ FAP-MUE (Παράγραφος 4.2.1).
- B)** Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ισχύος της άνω ζεύξης για το FUE για διάφορες αποστάσεις του MUE από την Femtocell, έτσι ώστε να διατηρείται το απαιτούμενο E_b/N_0 για κλήση φωνής μεταξύ της Femtocell και FAP (Παράγραφος 4.2.2).
- Γ)** Τέλος υπολογίζεται η επίδραση της χωρητικότητας της Femtocell, εξαιτίας της άνω ζεύξης της Μακροκυψέλης (Παράγραφος 4.2.3).

4.2.1 Υπολογισμός της ισχύος που λαμβάνει το FAP από την άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης για διάφορες αποστάσεις μεταξύ FAP-MUE.

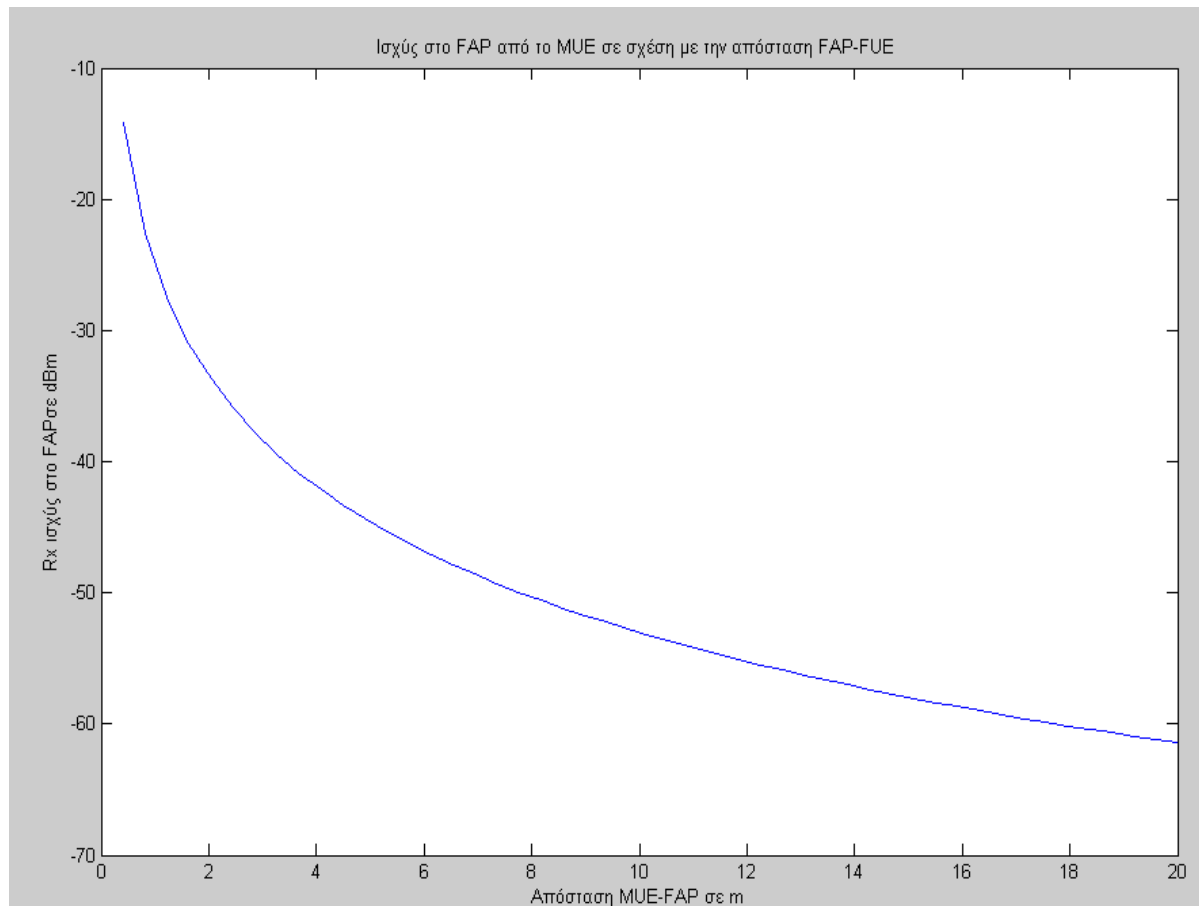
Δίδεται η ισχύς της άνω ζεύξης της Μακροκυψέλης και υπολογίζεται η ισχύς-παρεμβολή στο FAP, σε σχέση με την απόσταση MUE-FAP και με την χρήση του μοντέλου διάδοσης εσωτερικού χώρου ITU 1238, αφού η συσκευή MUE βρίσκεται στον ίδιο εσωτερικό χώρο-περιοχή κάλυψης της Femtocell, λαμβάνοντας υπόψιν τις παρακάτω παραμέτρους του Πίνακα 9.

Πίνακας 9 : Link Budget για το Σενάριο Β'

	Τιμή/Μονάδες	Συμβολισμός-Υπολογισμοί
Κέρδος Κεραίας MNB	17dBi	Gm
Απώλειες Συσκευής MNB	3dB	Lc
Ύψος Κεραίας MNB	25m	Hb
Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου (Indoor to Indoor)	L, L1(MUE-FAP)	ITU 1238
Κέρδος Κεραίας Femtocell	0 dBi	Gf
Απώλειες Συσκευής Femtocell	1dB	Lc_f
Κέρδος Κεραίας Χρήστη	0dBi	Gue
Απώλειες Συσκευής Χρήστη	3dB	Lc_u
Μέγιστη Ισχύς MUE	21dBm	Ptx_mue
Tx EIRP MUE		Eirp_mue=Ptx_mue+Gue-Lc_u
Ύψος συσκευής χρήστη από το έδαφος	1,5m	Hm
Συχνότητα	1920MHz	Fc
Ταχύτητα για υπηρεσία φωνής	12.2Kbps	R
Ταχύτητα κώδικα διασκορπισμού	3.84Mbps	W
Κέρδος Επεξεργασίας	24.98	PG=10*log(W/R)
Eb/No για φωνή	8.3dB [16]	EbNo
Ισχύς του Θορύβου	-103dBm [15]	N
Η ισχύς στο FAP από το MUE		Prx_mue= Eirp_mue-L+Gf-Lc_f
Η ισχύς στο FUE για να διατηρηθεί το επιθυμητό Eb/No		PrxFue=EbNo*(Prx_mue+N)/PG
Η ισχύς εκπομπής FUE για το επιθυμητό Eb/No		Ptx_Fue=PrxFue-Gue+Lue+L1-Gf+Lc_f (L1 Pathloss FAP-FUE)
Ισχύς στο FAP από το FUE		Prx_Fue=Ptx_fue+Gue-Lue-L1-Gf+Lc_f (L1 pathloss μεταξύ FAP-FUE)
Ισχύς στο FAP από το MUE		Prx_mue=eirp_mue-L+Gf- Lc_f
E_DPDCH (Eb/No)		$(Eb / No)_{fue} = \frac{P_{rx,fue}}{P_{rx,mue} + No}$ [4]

Πίνακας 10: Προσομοίωση της ισχύος στο FAP από άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης Σενάριο Β'

	Τιμή	Συμβολισμός
Μέγιστη Ισχύς Tx MUE	21dBm	Ptx_m
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28



Εικόνα 10: Γράφημα της ισχύος στο FAP από το MUE συναρτήσει της απόστασης MUE-FAP. Σενάριο Β'

Όπως αναμενόταν η ισχύς που δέχεται η Femtocell από το MUE, είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης Femtocell&MUE. Έτσι καθώς αυξάνεται η απόσταση του MUE από το FAP, τα επίπεδα της παρεμβολής πέφτουν, επομένως απαιτείται λιγότερη ισχύς για την διατήρηση του επιθυμητού Eb/No και της επικοινωνίας μεταξύ FUE-FAP.

4.2.2 Υπολογισμός της ισχύος της άνω ζεύξης για το FUE για διάφορες αποστάσεις του MUE από την Femtocell έτσι ώστε να διατηρείται το απαιτούμενο Eb/No για κλήση φωνής μεταξύ της Femtocell και FAP.

Συνοπτική Περιγραφή.

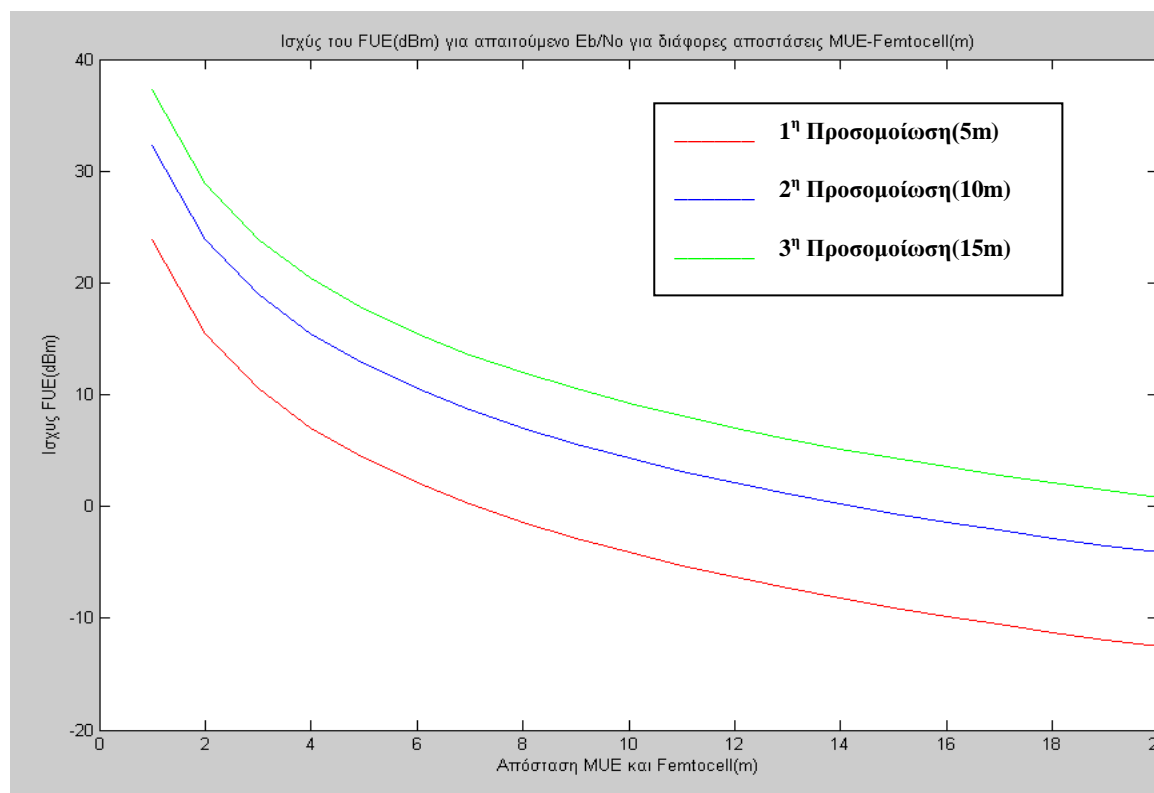
1. Υπολογίζεται το Pathloss (L1) μεταξύ FUE και Femtocell για διαφορετικές αποστάσεις και για το μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου ITU 1238.
2. Υπολογίζεται η ισχύς στη Femtocell (Prx_mue) από το MUE, για ισχύ που αποτελεί είσοδο, για το μοντέλο διάδοσης ITU 1238, για διάφορες αποστάσεις MUE-FAP.
3. Γνωρίζοντας το απαιτούμενο Eb/No για την υπηρεσία λύνουμε την σχέση

$$(E_b / N_o)_{fue} = \frac{PG_{fue} * P_{rx,fue}}{P_{rx,mue} + N} [4] \text{ ως προς } P_{rx,fue}, \text{ για κάθε απόσταση από το}$$

βήμα 2. Γνωρίζοντας το Pathloss μεταξύ Fue και Femtocell, καθώς επίσης το κέρδος αλλά και τις απώλειες της συσκευής FUE, υπολογίζεται το Ptx_Fue, δηλ. η ισχύς εκπομπής του Fue για κάθε απόσταση από το βήμα 2.

Πίνακας 11: Είσοδοι προσομοιώσεων για την ισχύ της άνω ζεύξης του FUE Σενάριο Β'

	Τιμή	Συμβολισμός
Μέγιστη Ισχύς Tx MUE	21dBm	Ptx_f
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28
Απόσταση FUE-Femtocell	5m, 10m ,15m	d_fue



Εικόνα 11: Γράφημα ισχύος FUE συνάρτηση της απόστασης MUE-Femto για επιθυμητό Eb/No

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα των 3 προσομοιώσεων για τις εισόδους του Πίνακα 11. Παρατηρούμε ότι όσο πιο κοντά είναι η απόσταση μεταξύ της Femtocell και του MUE, τόσο αυξάνεται η ισχύς εκπομπής του FUE, για τη διατήρηση του απαιτούμενου Eb/No, για δεδομένη απόσταση μεταξύ FUE-FAP. Όσο πιο κοντά βρίσκεται το FUE στο FAP, απαιτείται λιγότερη ισχύς από την Femtocell, για δεδομένη απόσταση MUE-FAP. Βέβαια παρατηρείται, ότι σε κάποιες περιπτώσεις οι απαιτήσεις για ισχύ, είναι ίσως μεγαλύτερες από τις δυνατότητες της συσκευής FUE. Σύμφωνα με το [31] υπάρχουν 4 κλάσεις συσκευών UE(User Equipment) και λαμβάνοντας υπόψιν την Εικόνα 11, μπορούμε να εντοπίσουμε (κατά προσέγγιση) την ελάχιστη απόσταση μεταξύ MUE-FAP για τις δεδομένες αποστάσεις μεταξύ FAP-FUE. Συγκεκριμένα στον πίνακα 12:

Πίνακας 12: Ελάχιστη απόσταση μεταξύ MUE-FAP

Class	Max Power (dBm)	5m	10m	15m
1	33	~1m	~1m	~1.5m
2	27	~1m	~1.6m	~2.2m
3	24	~1m	~1.8m	~3m
4	21	~1m	~2.5m	~3.5m

4.2.3 Η επίδραση της άνω ζεύξης της Μακροκυψέλης στη χωρητικότητα της Femtocell.

Η χωρητικότητα μελετάται σε σχέση με το κανάλι E-DPDCH οπότε μελετάται το E_b/N_0 του καναλιού E-DPDCH σε συνάρτηση με την απόσταση μεταξύ του MUE και της Femtocell ακολουθώντας τα εξής βήματα.

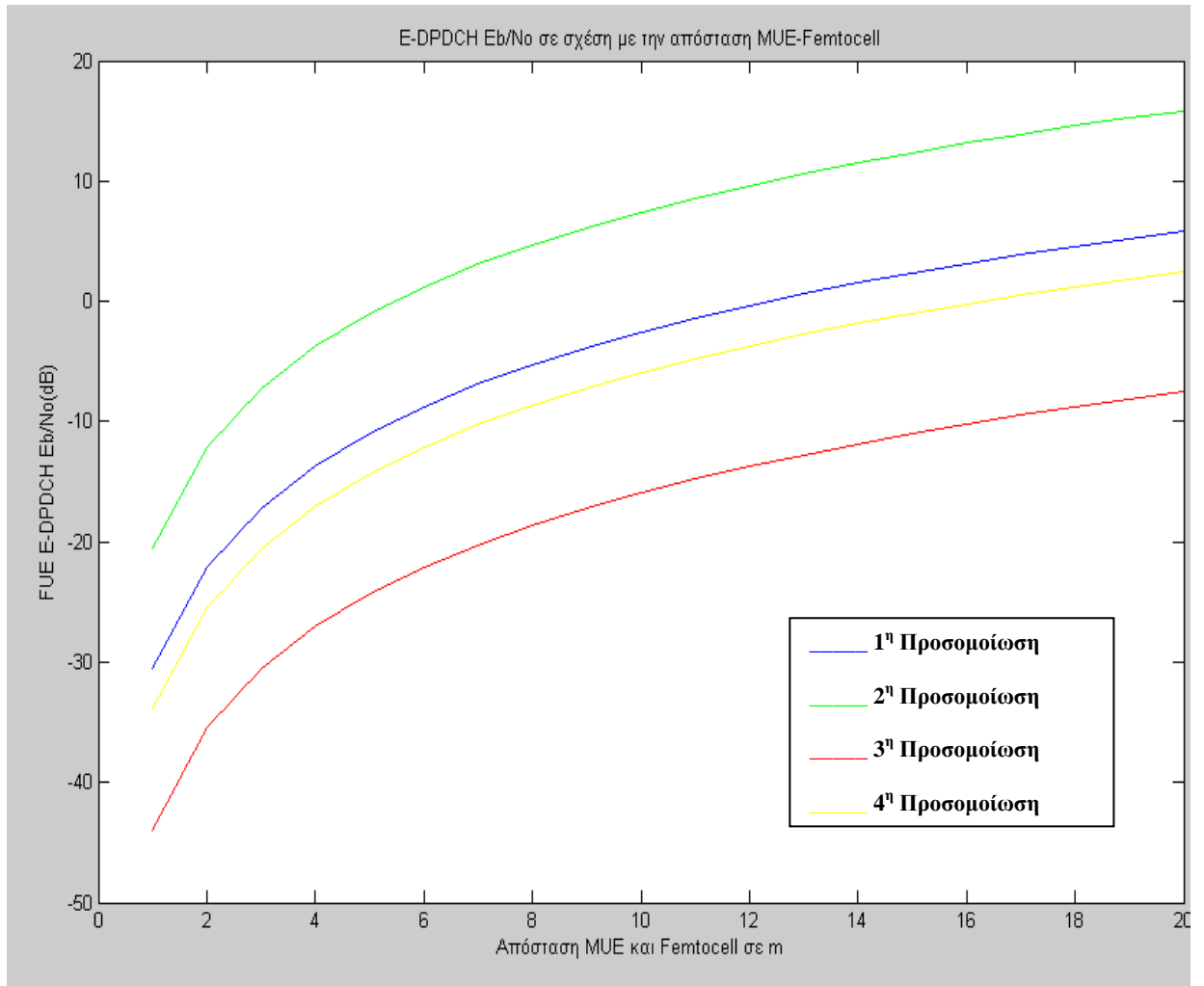
1. Υπολογισμός του Pathloss μεταξύ FUE-FAP(ITU 1238), για δεδομένη απόσταση και υπολογισμός της λαμβανόμενης ισχύος P_{rx_fue} στο FAP, με δεδομένη την ισχύ εκπομπής από το FUE.
2. Υπολογισμός του Pathloss μεταξύ MUE-FAP(ITU 1238) για διάφορες αποστάσεις MUE-FAP και υπολογισμός της ισχύος P_{rx_mue} στο FAP, (εξαιτίας της ισχύος της άνω ζεύξης της Μακροκυψέλης).
3. Υπολογισμός του E_b/N_0 :

$$(E_b / N_0)_{fue} = \frac{P_{rx_fue}}{P_{rx_mue} + N_0} \text{ από το [1] για τις τιμές και τις αποστάσεις από το}$$

δεύτερο βήμα και για τις παραμέτρους του Πίνακα 9 .

Πίνακας 13: Είσοδοι προσομοιώσεων για Χωρητικότητα Σενάριο Β'

1^η Προσομοίωση		
	Τιμή	Συμβολισμοί
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	10dBm	Ptx_f
Ισχύς Άνω ζεύξης MUE	21dBm	Ptx_mue
Απόσταση FAP-FUE	5m	d_mue
Όροφος FAP-FUE-MUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28
2^η Προσομοίωση		
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	20dBm	Ptx_f
Ισχύς Άνω ζεύξης MUE	21dBm	Ptx_mue
Απόσταση FAP-FUE	5m	d_mue
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28
3^η Προσομοίωση		
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	10dBm	Ptx_f
Ισχύς Άνω ζεύξης MUE	21dBm	Ptx_mue
Απόσταση FAP-FUE	15m	d_mue
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28
4^η Προσομοίωση		
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	20dBm	Ptx_f
Ισχύς Άνω ζεύξης MUE	21dBm	Ptx_mue
Απόσταση FAP-FUE	15m	d_mue
Όροφος FAP-FUE	Ίδιος όροφος	n=1
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28



Εικόνα 12 :E-DPDCH Eb/No συναρτήσει της απόστασης MUE-Femto -Σενάριο Β'

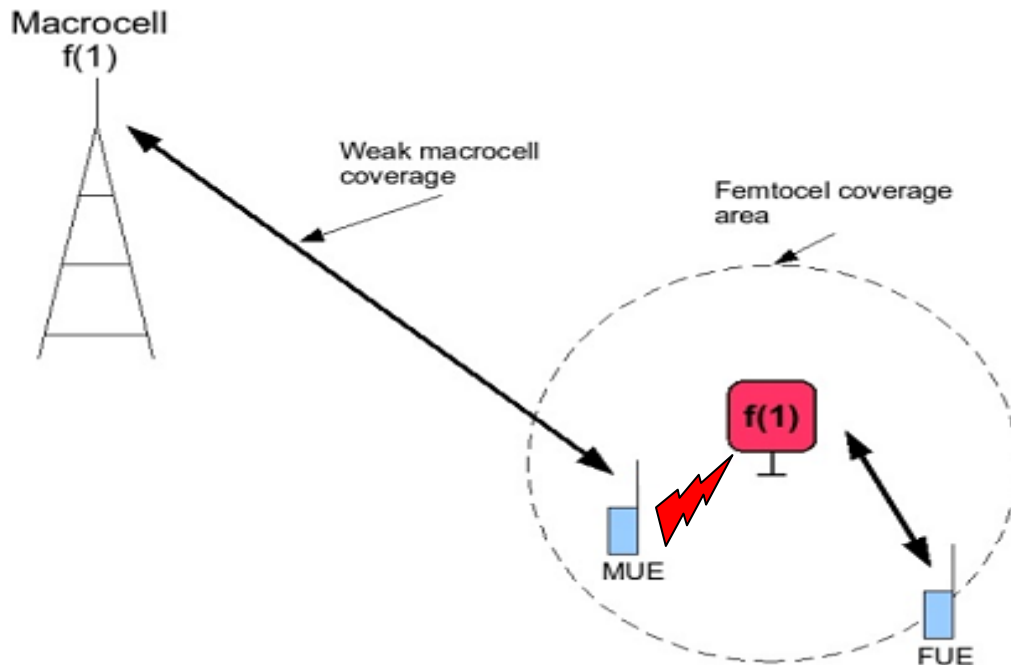
Παρατηρούμε στην Εικόνα 12 ότι για απόσταση FUE-Femtocell 5m, το DPDCH Eb/No αυξάνεται όσο αυξάνεται η απόσταση MUE-Femtocell, με αποτέλεσμα την αύξηση του bit rate.

Για απόσταση FUE-Femtocell 15m, το DPDCH Eb/No αυξάνεται όσο αυξάνεται η απόσταση του MUE-Femtocell. Επίσης όσο αυξάνεται η απόσταση του FUE και του FAP, μειώνονται τα επίπεδα DPDCH Eb/No, για σταθερή ισχύ του MNB (21dBm), οπότε μειώνεται και το bit rate.

Άρα ο ρυθμός μετάδοσης επηρεάζεται τόσο από την απόσταση MUE-Femtocell, όσο και από την απόσταση FUE-Femtocell για δεδομένη ισχύ Femtocell-MNB.

4.3 Σενάριο C': Η κάτω ζεύξη της Femtocell παρεμβάλλει την συσκευή του χρήστη Μακροκυψέλης.

Σε αυτό το σενάριο θα αναλυθεί η περίπτωση που η κάτω ζεύξη της Femtocell παρεμβάλλει την συσκευή ενός χρήστη της Μακροκυψέλης, ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης της Femtocell, αλλά και στο όριο κάλυψης της Μακροκυψέλης (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Εικονική παρουσίαση του Σεναρίου C'

Συνοπτική περιγραφή της ανάλυσης:

- A) Καθορισμός της ελάχιστης απόστασης FAP-MUE, για την διατήρηση της σύνδεσης του MUE στην Μακροκυψέλη (Παράγραφος 4.3.1).
- B) Η επίδραση της κάτω ζεύξης της Femtocell, στην χωρητικότητα της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης (Παράγραφος 4.3.2).

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζεται το Link Budget της ανάλυσης.

Πίνακας 14 :Link Budget για Σενάριο C'

	Τιμές/Μονάδες	Συμβολισμός/Υπολογισμοί
Κέρδος Κεραίας MNB	17dBi	Gm
Απώλειες Συσκευής MNB	3dB	Lc
Ύψος Κεραίας MNB	25m	Hb
Μοντέλο διάδοσης εσωτερικού χώρου(Indoor to Indoor)	L(FAP-MUE)	ITU-R P.1238
Κέρδος Κεραίας Femtocell	0 dBi	Gf
Απώλειες Συσκευής Femtocell	1dB	Lc_f
P-CRIPC	10% της μέγιστης ισχύς	$F_{PCIPCH} = eirp_f + 10 \cdot \log_{10}(0.1)$
Κέρδος Κεραίας Χρήστη	0dBi	Gue
Απώλειες Συσκευής Χρήστη	3dB	Lc_u
Ύψος συσκευής χρήστη από το έδαφος	1,5m	Hm
Συχνότητα	2000MHz	Fc
Όριο Μακροκυπέλης (P-CRICH)	-103dBm[1]	M_PCICH
P-CRIPC Ec/No	>-20dB	
Γενικές Σχέσεις		
Tx EIRP Femtocell		$eirp_f = P_{tx_f} + G_f - L_{c_f}$
Ισχύς στο MUE από FAP		$Rx_MUE = eirp_f - L + G_{ue} - L_{c_u}$

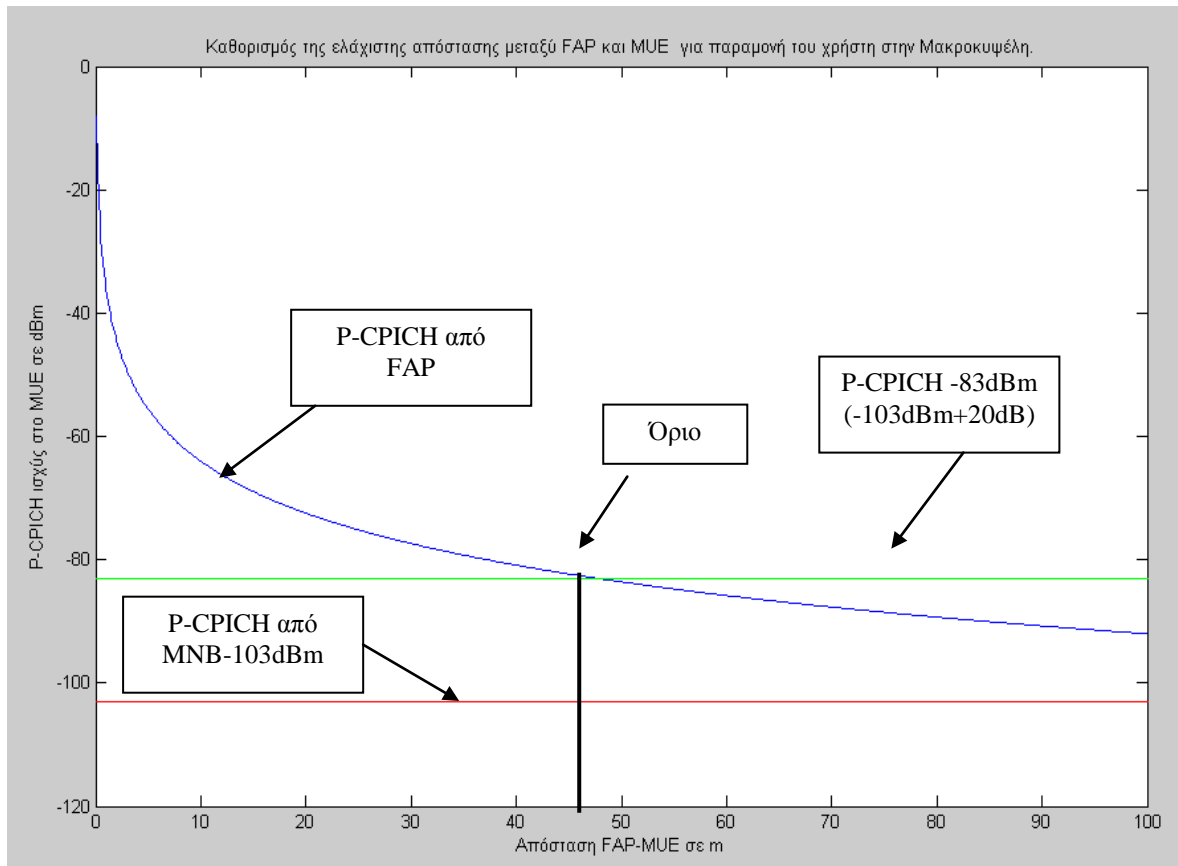
4.3.1 Καθορισμός της ελάχιστης απόστασης FAP-MUE για την διατήρηση της σύνδεσης του MUE στην Μακροκυψέλη.

Με βάση τις παραμέτρους του Πίνακα 14:

1. Υπολογίζεται η ισχύς του P-CPICH στο MUE από το FAP (Μοντέλο διάδοσης (ITU-R P.1238) για διάφορες αποστάσεις MUE-FAP, για δεδομένη ισχύς της Femtocell.
2. Τα όρια της Μακροκυψέλης ορίζονται από το κανάλι P-CPICH στα -103dBm ενώ για να παραμένει ο χρήστης MUE συνδεδεμένος στην Μακροκυψέλη θα πρέπει το E_c/N_0 του P-CPICH να μην ξεπερνά τα -20dB.
3. Η περιοχή που ορίζεται από το σημείο τομής της καμπύλης ισχύος του P-CPICH από το FAP με την γραμμή της ισχύος του P-CPICH(-83dBm) από το MNB, (Εικόνες 14,15) ορίζει και το όριο της απόστασης μεταξύ FAP-MUE, έτσι ώστε το MUE να παραμένει συνδεδεμένο στην Μακροκυψέλη.

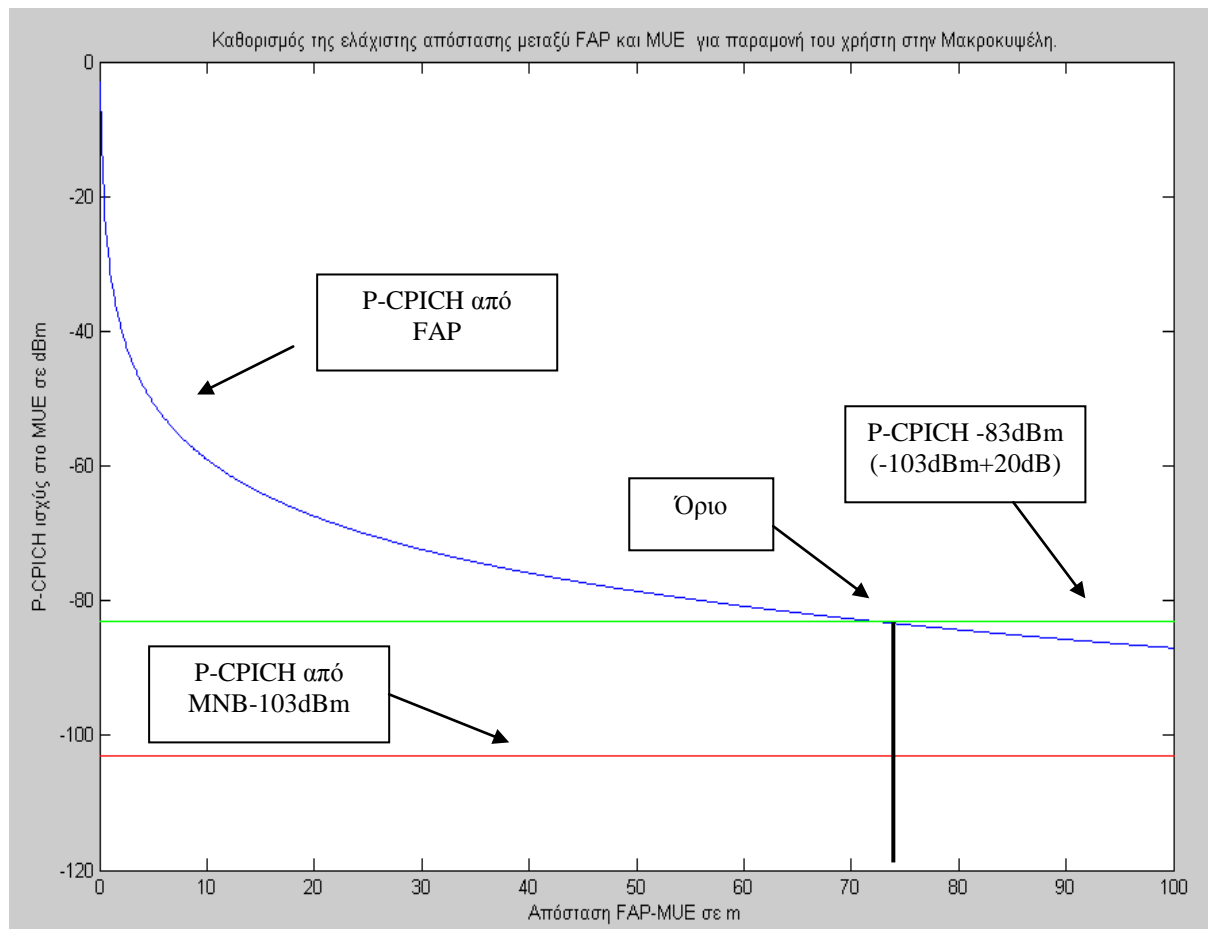
Πίνακας 15: Είσοδοι προσομοιώσεων καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP

	Τιμές	Συμβολισμός
Μέγιστη Ισχύς Tx Femtocell	10dBm,15dBm	P_{tx_f}
Όροφος FAP-MUE	Ίδιος όροφος	$n=1$
Κτίριο	Κατοικία	Residential=28



Εικόνα 14:Γράφημα καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP ($P_{tx_f}=10dBm$)

Στην Εικόνα 14 φαίνεται, ότι για να παραμείνει ο χρήστης συνδεδεμένος στην Μακροκυψέλη, θα πρέπει η απόσταση μεταξύ FAP-MUE να είναι κατά προσέγγιση πάνω από 48 μέτρα.



Εικόνα 15 : Γράφημα καθορισμού ελάχιστης απόστασης MUE-FAP ($P_{tx_f}=15\text{dBm}$)

Στην Εικόνα 15 βλέπουμε ότι με την αύξηση της εκπομπής της Femtocell στα 15dBm, αυξάνεται και η απόσταση στην οποία πρέπει να βρίσκεται το FAP-MUE. Φαίνεται, ότι για να παραμείνει ο χρήστης συνδεδεμένος στην Μακροκυψέλη θα πρέπει η απόσταση μεταξύ FAP-MUE να είναι κατά προσέγγιση πάνω από 74 μέτρα.

Συμπέρασμα

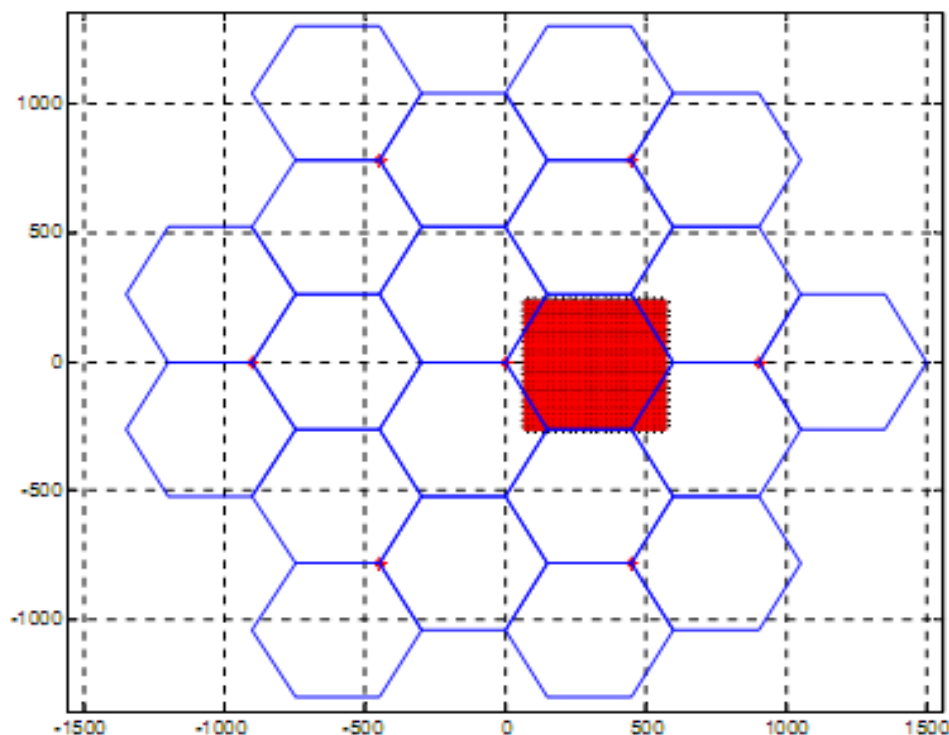
Όσο αυξάνεται η ισχύς εκπομπής του FAP, θα αυξάνει και το όριο κάλυψης της Femtocell, άρα και η παρεμβολή στο MUE. Εδώ φαίνεται η ανάγκη για προσαρμογή στην ισχύ της Femtocell, έτσι ώστε να είναι εφικτή η διατήρηση του επιθυμητού SNR. Χωρίς προσαρμογή στην ισχύ του FAP, θα υπάρχουν σημεία στα οποία η παρεμβολή θα είναι τέτοια, που δεν θα είναι εφικτή η επικοινωνία και η διατήρηση των υπηρεσιών στα MUE από την Μακροκυψέλη.

4.3.2 Η επίδραση της κάτω ζεύξης της Femtocell στην χωρητικότητα της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης.

Για την μελέτη της χωρητικότητας στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται μια περιοχή που καλύπτεται από το Μακροκυψελωτό δίκτυο ενώ σε μια κυψέλη (η κυψέλη με το κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 16) έχουν αναπτυχθεί Femtocells με τα εξής χαρακτηριστικά (Πίνακας 16) [1]:

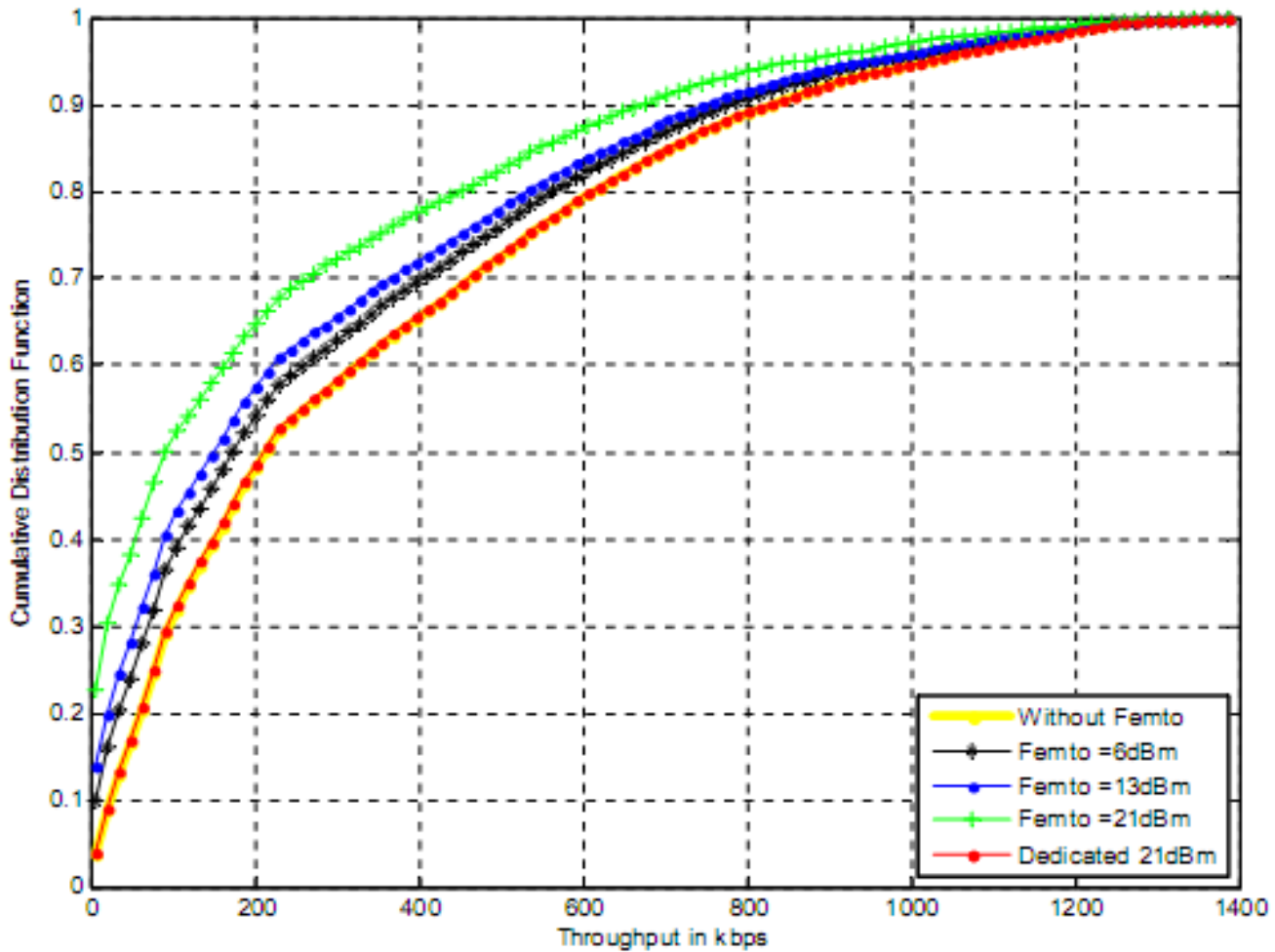
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής για την επίδραση της χωρητικότητας της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης εξαιτίας της παρεμβολής από την Μακροκυψέλη.

Χαρακτηριστικά Μακροκυψέλης	
Κέρδος κεραίας	18dBi
Ύψος κεραίας	25m
Ισχύς	20Watt ή 43dBm
Ακτίνα Περιοχής	500m
Χαρακτηριστικά Περιοχής	
Μέγεθος σπιτιού	8,3*17,5(m ²)
Κάλυψη περιοχής από σπίτια	70%
Πλήθος Femtocell	1 ανά κατοικία
Απώλειες τοίχου	12dB



Εικόνα 16: Διάταξη Μακροκυψέλης Σενάριο C', [1]

Εδώ μελετάται η επίπτωση της παρουσίας των Femtocell στην χωρητικότητα της κάτω ζεύξης του Μακροκυβελωτού δικτύου (επίπεδα ισχύος της Femtocell 6dBm,13dBm,21dBm). Γενικότερα με την Femtocell γίνεται καλύτερη χρήση του φάσματος και το διαθέσιμο εύρος ζώνης μοιράζεται σε περιορισμένους χρήστες. Αντίθετα, το φάσμα στην μακροκυβέλη διαμοιράζεται σε περισσότερους χρήστες, οπότε ο ρυθμός ανά χρήστη μειώνεται, ενώ η κάλυψη βέβαια είναι πολύ μεγαλύτερη, [1].



Εικόνα 17: Επίδραση της ισχύος Femtocell στην κάτω ζεύξη της Μακροκυβέλης Σενάριο C' .

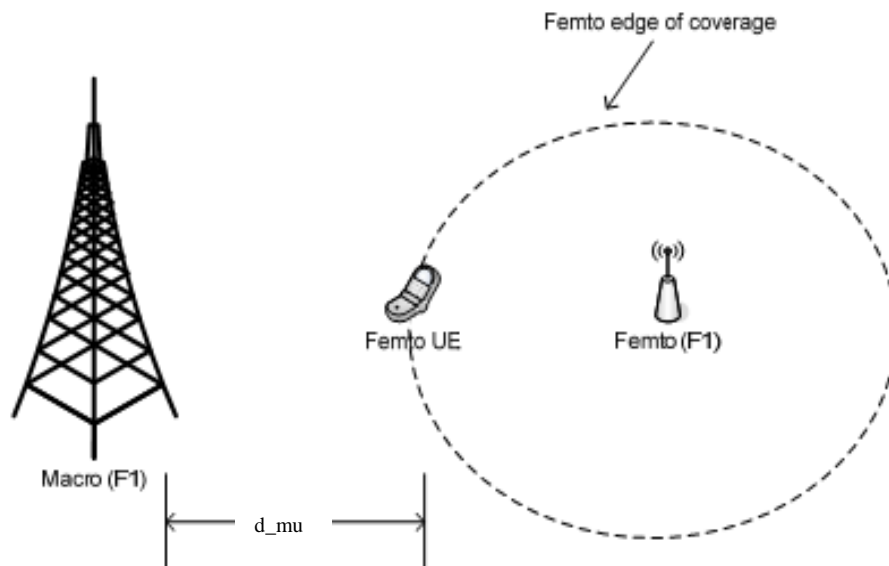
Παρατηρούνται τα εξής (με βάση την Εικόνα 17), από το [1]:

- Η παρουσία των Femtocell έχει επίπτωση στην ταχύτητα της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης, ειδικά όσο αυξάνεται η ισχύς εκπομπής του FAP. Για παράδειγμα, η πιθανότητα η ταχύτητα να πέσει κάτω από τα 600Kbps αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ισχύ της κάτω ζεύξης της Femto από 6 dBm στα 21 dBm
- Επίσης παρατηρείται, ότι είναι προτιμότερη η προσαρμογή της ισχύος της Femtocell έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η προσφερόμενη ταχύτητα. Έτσι εάν υποθέσουμε ότι Femtocell είχε σταθερή ισχύ 21 dBm, τότε θα εξυπηρετούσε όλα τα FUE ανεξάρτητα από την απόστασή τους με την ίδια ισχύ, και έτσι θα είχαμε περιπτώσεις όπου θα υπάρχει χωρίς λόγο παρεμβολή (μείωση χωρητικότητας της Μακροκυψέλης) Επομένως, επιβάλλεται η προσαρμογή της εκπεμπόμενης ισχύος είναι επιθυμητή, για μείωση των παρεμβολών αλλά και για εξοικονόμηση ενέργειας.

/

4.4 Σενάριο D': Η άνω ζεύξη του χρήστη Femtocell παρεμβάλλει τον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης (MNB).

Θεωρείται για τις ανάγκες της μελέτης ότι το FAP βρίσκεται κοντά στο MNB, ενώ στα όρια κάλυψης της Femtocell υπάρχει ένας χρήστης FUE (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου D'

Η μελέτη έχει δύο προσεγγίσεις.

A) Την μεταβολή του Noise Rise στο MNB, εξαιτίας της άνω ζεύξης της Femtocell. (Παράγραφος 4.4.1)

B) Την μεταβολή του Noise Figure στο MNB, εξαιτίας υπηρεσίας στο FUE 2Mbps (Παράγραφος 4.4.2)

4.4.1 Η μεταβολή του Noise Rise στο MNB εξαιτίας της άνω ζεύξης της Femtocell.

Συγκεκριμένα μελετάται η επίδραση της άνω ζεύξης στο MNB, για διάφορες αποστάσεις μεταξύ MNB και FUE, υπολογίζοντας την αύξηση του Noise Rise. Οι παράμετροι της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 17. Για υπηρεσία φωνής 12.2Kbps η ευαισθησία του MNB υπολογίζεται ότι είναι -111dBm [16].

Το Noise Rise εκφράζει την αύξηση του θορύβου εξαιτίας της αύξησης των παρεμβολών προερχομένων από τους χρήστες, οι οποίες και υπερτίθενται στον θερμικό θόρυβο.

Αρχικά δίδεται η ισχύ του FUE και υπολογίζεται η παρεμβολή, και κατά επέκταση το Noise Rise στο MNB, με την χρήση μοντέλου διάδοσης ITU P.1411 για διάφορες αποστάσεις μεταξύ MNB-FUE

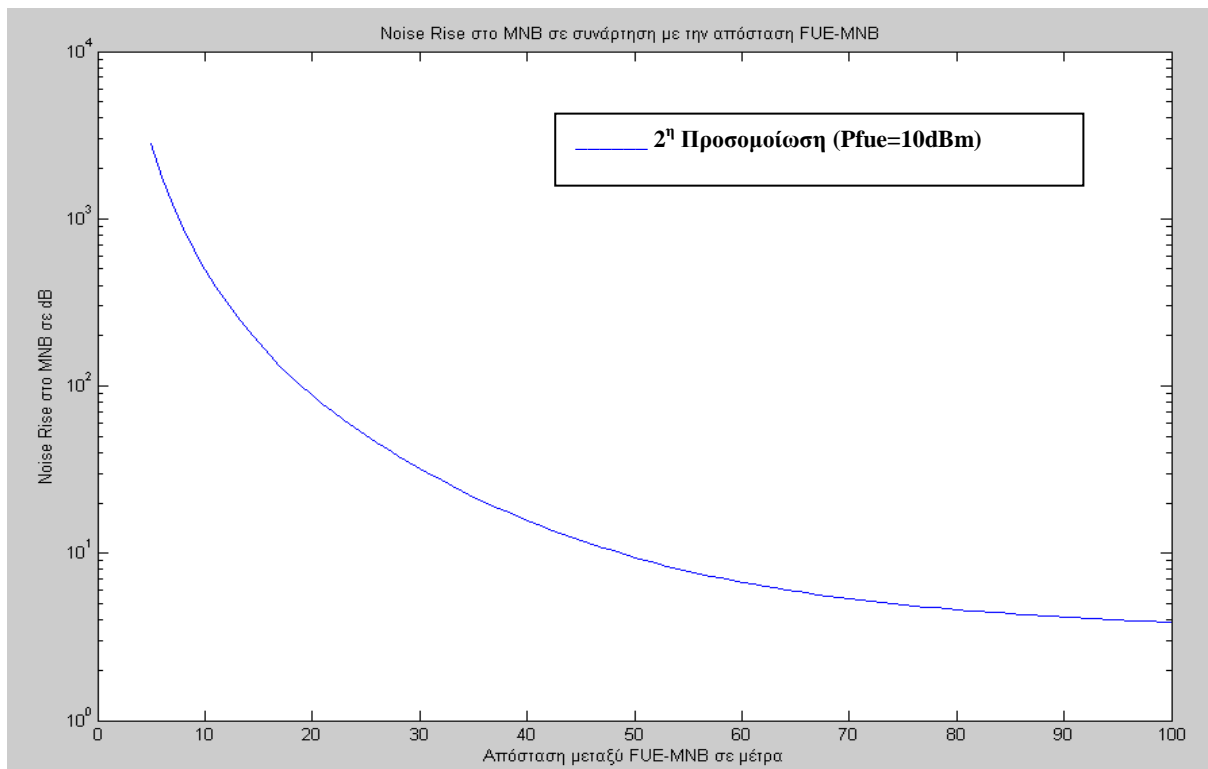
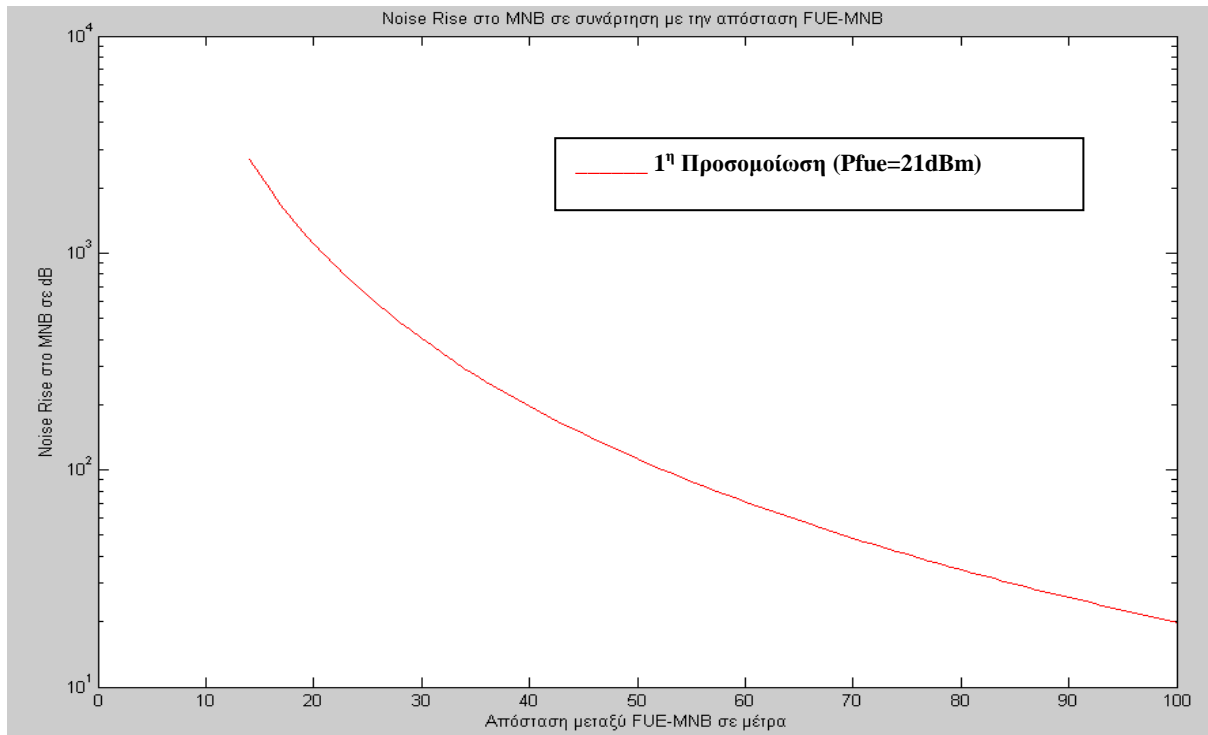
Πίνακας 17 : Link Budget για τον υπολογισμό του Noise Rise στο MNB, (Σενάριο D')

MNB		
Ευαισθησία Δέκτη MNB	-111 dBm	Pue_rec
Ταχύτητα Υπηρεσίας	12.20 Kbps	r
Ταχύτητα ακολουθίας διασκορπισμού	3.84 Mbps	W
Κέρδος Επεξεργασίας	24.98dB	PG=10*log(W/r)
Απαιτούμενο Eb/No	8.3dB	
Noise floor	-94.32dB	nf_ant= Pue_rec+PG-EbNo
Κέρδος Κεραίας	2dBi	Gm
Απώλειες Συσσκευής	1dB	Lc
Ύψος MNB	3m	hm
FUE		
Συχνότητα	2000 MHz	Fc
Κέρδος Κεραίας	0dBi	Gue
Απώλειες Συσσκευής	3dB	Lc_u
Απώλειες Κτιρίου	5dB	Lw
Μοντέλο Εξασθένησης	ITU P.1411	LosLB
Ύψος FUE	1.5m	hf
Γενικές σχέσεις [1]		
EIRP FUE		Pfue_EIRP=Pfue+Gue-Lc_u;
Ισχύς στο MNB από το FUE		Prxfue_rec=Pfue_EIRP-LosLB+Gm-Lc
R, Αύξηση πάνω από το Noise Floor		R=Prxfue_rec-nf_ant
Noise Rise		NR=10*log10(1+10 ^(0.1*R))

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται οι είσοδοι προσομοίωσης :

Πίνακας 18: Είσοδοι προσομοίωσης για υπολογισμό Noise Rise στο MNB, (Σενάριο D')

	Τιμή	Συμβολισμός
Ισχύς FUE	21dBm, 10dBm	Pfue
Bound (ITU P.1411)	Upper	bound



Εικόνα 19: Noise Rise στο MNB συναρτήσει της απόστασης FUE-MNB (2 Γραφήματα).

Συμπεράσματα.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 19 η άνω ζεύξη της Femtocell προκαλεί Noise Rise στο MNB το οποίο μειώνει τον λόγο Eb/No με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας της υπηρεσίας ή και την διακοπή της. Εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής του FUE, αλλά και από τη απόσταση μεταξύ MNB και FUE. Μια λύση ως προς το FUE είναι να οριστεί ένα άνω όριο στην ισχύ εκπομπής του, έτσι ώστε η αύξηση του θορύβου στο MNB να περιορίζεται σε ανεκτά επίπεδα. Βέβαια το όριο ισχύος για το FUE , εξαρτάται από την κάλυψη της Femtocell, το αν υπάρχει παρεμβολή από χρήστη MUE, (που μπορεί να βρίσκεται στα όρια της Μακροκυψέλης) ή και αν υπάρχει παρεμβολή από άλλη FUE. Εναλλακτικά, ίσως είναι προτιμότερη η λύση της μεταπομπής του FUE στην Μακροκυψέλη για τον περιορισμό της παρεμβολής στο MNB.

4.4.2 Η μεταβολή του Noise Figure στο MNB εξαιτίας υπηρεσίας στο FUE 2Mbps

Εδώ υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής για το FUE με υπηρεσία 2Mbps, για τις διάφορες αποστάσεις μεταξύ FAP και FUE. Με βάση αυτήν την ισχύ εκπομπής του FUE, για την δοσμένη απόσταση μεταξύ FUE και MNB, υπολογίζεται το Noise Rise στο MNB [1]:

1. Υπολογίζεται το Pathloss, για δεδομένη απόσταση μεταξύ MNB-FUE (ITU-R P.1238).
2. Υπολογίζεται το pathloss μεταξύ FUE-FAP, για διάφορες αποστάσεις και με δεδομένο το απαιτούμενο επίπεδο σήματος από το FUE (P_{fmin}), υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής (P_{tx_fue}) του FUE, για τις συγκεκριμένες αποστάσεις.
3. Υπολογίζεται το Noise Rise στο MNB, για κάθε απόσταση από το βήμα 2, δεδομένου του pathloss από το βήμα 1.

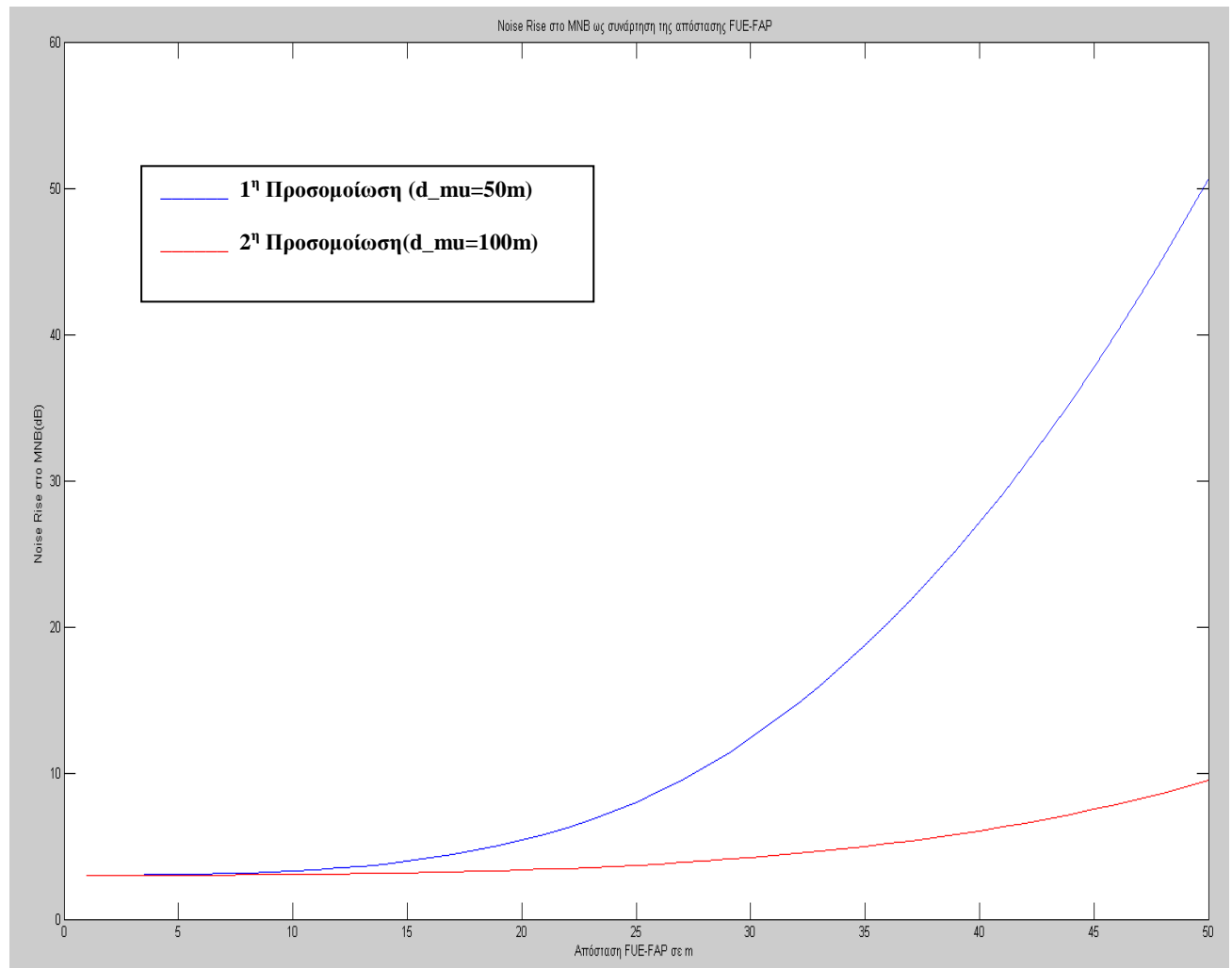
Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται οι παράμετροι της συγκεκριμένης προσέγγισης [1].

Πίνακας 19: Link Budget για Noise Rise στο MNB με υπηρεσία 2Mbps στο FUE.

	Τιμή	Συμβολισμός/Υπολογισμός
Ταχύτητα Υπηρεσίας	2Mbps	R
Ύψος Κεραιας FUE	1.5m	hf
Συχνότητα	2000 MHz	Fc
Κώδικας Διασκορπισμού	3.84 Mcps	W
Κέρδος Επεξεργασίας	2.83dB	$PG=10\log(W/R)$
Thermal Noise Density	-174dBm/Hz	tnd
Receiver Noise Density	-166dBm/Hz	$rnd= tnd+NF$
Receiver Noise Figure	8dB	NF
Loading	70%	L
Receiver Nise Power		$Rnp=rnd+10\log(W*1e6)$
Noise Rise due to Loading	5.23dB	$IM=-10\log(1-L/100)$
Femto Receiver Noise Floor	-94.93 dBm	$Trnp=10\log(Liner\ sum(rnp+IM))$
Απαιτούμενο Eb/No για 2Mbps	0dB (ul)	EbNo
Minimum Required Signal Level for FUE		$Pfmin=Trnp+EcNo-PG$
Pathloss FUE-FAP		ITU-R P.1238
Window Loss	5dB	
MNB		
Ευαισθησία Δέκτη	-111 dBm	Pue_rec
Noise floor	-108.17dB	$nf_ant=Pue_rec+PG-EbNo$
Κέρδος Κεραίας	2dBi	Gm
Απώλειες Συσσκευής	1dB	Lc
Ύψος Κεραίας	25m	Hm
Γενικές Σχέσεις [1]		
PathLoss MNB-FUE		FUE_MNB_LOSS (ITU P.1411)
Ισχύς FUE		$Ptx_fue=Pfim+Pathlosss$ (FUE-FAP)
Ισχύς στο MNB από FUE		$Pfue_rec=Ptx_fue-FUE_MNB_LOSS+Gm-Lc$
Rise above Noise Floor		$R=Pfue_rec-nf_ant$
Noise Rise		$NR=10*\log_{10}(1+10^{(0.1*R)})$

Πίνακας 20: Σενάρια για τον υπολογισμό του Noise Rise στο MNB για υπηρεσία 2Mbps στο FUE

	Τιμή	Συμβολισμός
Απόσταση MNB και FUE	50m, 100m	d_mu
Bound	Upper	bound
Όροφοι μεταξύ FUE-FAP	1	n
Είδος Κτιρίου	Κατοικία	Er



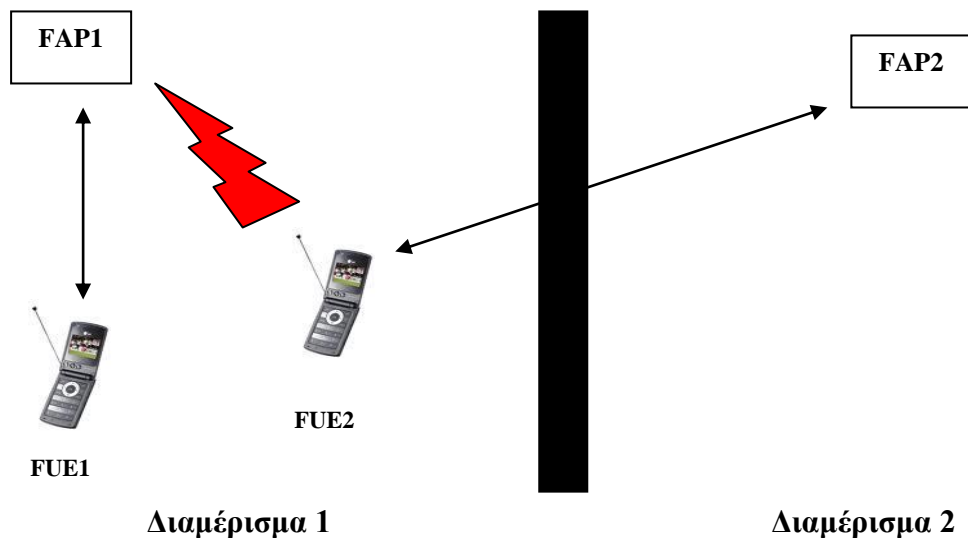
Εικόνα 20:Γράφημα- Noise Rise στο MNB ως συνάρτηση της απόστασης FUE-FAP για υπηρεσία στο FUE 2Mbps.

Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ FUE και FAP, τότε αυξάνεται και το Noise Rise στο MNB εξαιτίας της αύξησης της ισχύος του FUE, έτσι ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή υπηρεσία 2Mbps. Γενικά, για κάθε υπηρεσία στη Femtocell ανάλογα με τον επιθυμητό ρυθμό απαιτείται και διαφορετικό Eb/No. Έτσι καθώς απομακρύνεται το FUE από το FAP αυξάνεται η ισχύς εκπομπής του FUE και επομένως αυξάνεται και το Noise Rise στον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης.

4.5 Σενάριο Ε' : Η κάτω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλει διπλανούς χρήστες της Femtocell.

Εδώ μελετάται η περίπτωση κατά την οποία η Femtocell παρεμβάλει χρήστες που ανήκουν σε άλλη Femtocell και έχουν πλησιάσει την περιοχή κάλυψής της. Συγκεκριμένα, έχουμε 2 FAP το FAP1 και FAP2, που εντοπίζονται σε διπλανά διαμερίσματα. Υποθέτουμε ότι ένας χρήστης της Femtocell 2 πλησιάζει το FAP1, ενώ εξακολουθεί να βρίσκεται στα όρια κάλυψης της FAP2. Στην FAP1 πραγματοποιείται κλήση προς το FUE 1 και επομένως η κάτω ζεύξη παρεμβάλει στον FUE2 (Εικόνα 21).



Εικόνα 21 : Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου Ε'

Γι' αυτό το σενάριο πραγματοποιούνται 2 αναλύσεις:

A) Υπολογισμός της ισχύος του FAP2, για την εξυπηρέτηση του FUE2, λαμβάνοντας υπόψιν την παρεμβολή του FAP1 στο FUE2 (Παράγραφος 4.5.1).

B) Μελέτη χωρητικότητας, σε περίπτωση που έχουμε την παρουσία πλήθους Femtocells (Παράγραφος 4.5.2)

4.5.1 Υπολογισμός της ισχύος του FAP2 για την εξυπηρέτηση του FUE2 λαμβάνοντας υπόψιν την παρεμβολή του FAP1 στο FUE2.

Συνοπτική περιγραφή ανάλυσης

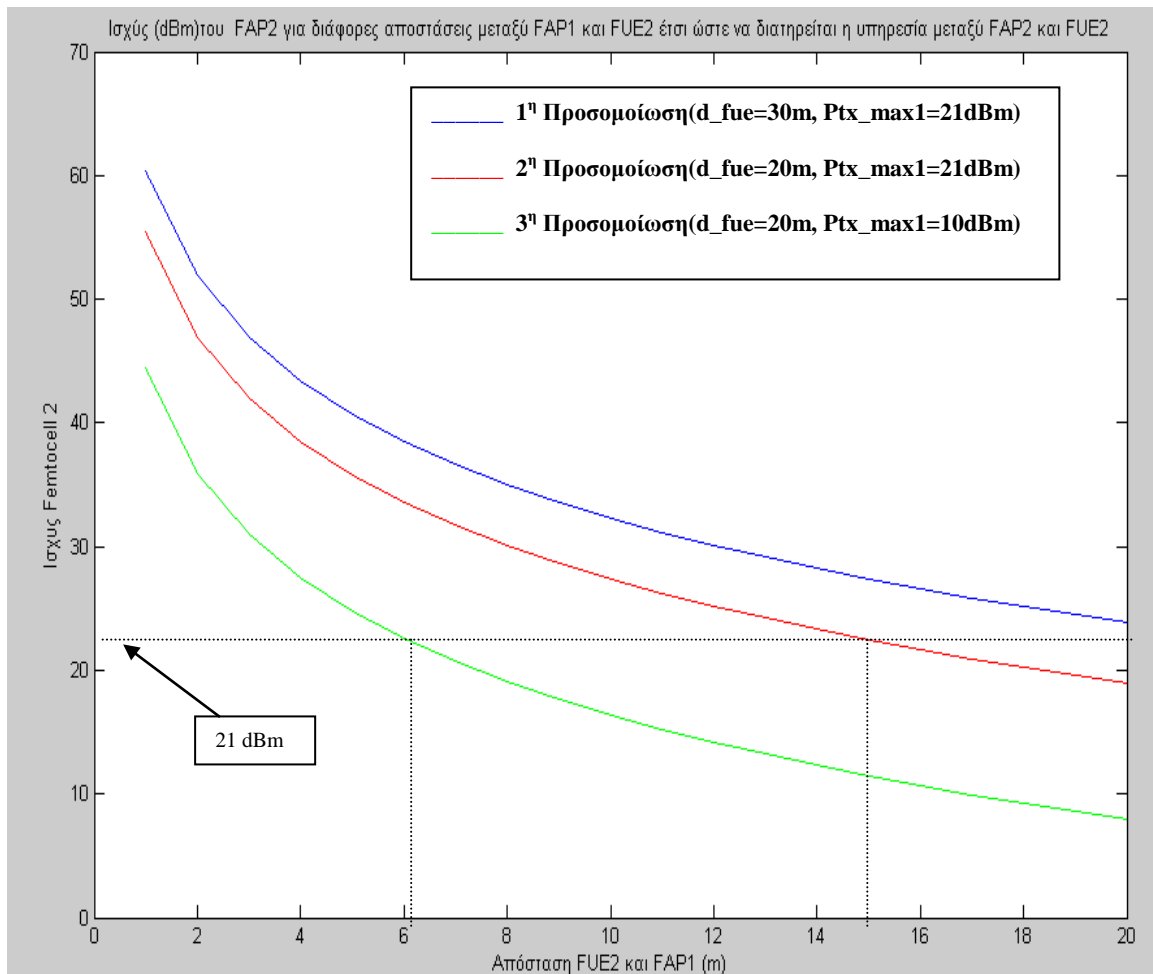
1. Υπολογίζεται το Pathloss, για δεδομένη απόσταση που αποτελεί είσοδος μεταξύ FAP2-FUE2 (ITU-R P.1238).
2. Στην συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς-παρεμβολή στο FUE2 από το FAP1, για διάφορες αποστάσεις .
3. Υπολογίζεται η ισχύς του FAP2, για το επιθυμητό Eb/No, για διατήρηση της υπηρεσίας μεταξύ FAP2 και FUE2, λαμβάνοντας υπόψιν το Pathloss από το βήμα 1.

Πίνακας 21 : Link Budget Σενάριο Ε'

	Τιμές	Συμβολισμός/Υπολογισμοί
Wall losses	15dB	Wall
Συχνότητα	1920Mhz	Fc
Κέρδος Κεραίας AP1,AP2	0dBi	Gf1,Gf2
Απώλειες Συσκευής AP1,AP2	1dB	Lc_f1,Lc_f2
Eb/No για κλήση φωνής	8.3dB (ul)	EbNo
Ταχύτητα για υπηρεσία φωνής	12.2kbps	R
Ταχύτητα κώδικα διασκορπισμού	3.84Mbps	W
Κέρδος Επεξεργασίας	24.98	$PG_{fue2}=10*\log(W/R)$
Κέρδος Κεραίας Χρήστη	0dBi	Gue
Απώλειες Συσκευής Χρήστη	3dB	Lc_u
Ύψος συσκευής χρήστη από το έδαφος	1,5m	Hm
Ισχύς του Θορύβου	-103dBm	PNfue2
Μοντέλο διάδοσης		ITU-R P.1238
Γενικές Σχέσεις		
Tx –EIRP_AP1		$eirp_{ap1}=P_{tx_max1}+Gf1-Lc_f1$
Η ισχύς στο UE2 από το AP1		$Prx_fue2=eirp_{ap1}-L+Gf2-Lf2$ (L pathloss)
Η ισχύς στο UE2 για διατήρηση υπηρεσίας από AP2		$PrxFue2=$ $En*(Prx_fue2+Pnfue2)/PG_{fue2}$
Η ισχύς που πρέπει να έχει το AP 2		$P_{tx_Fue2}=PrxFue2-Gf1+Lc_f1+L1-Gf2+Lf2$ (L1 pathloss AP2-UE2)

Πίνακας 22: Είσοδοι Προσομοιώσεων Σενάριο Ε'

	Τιμές	Συμβολισμοί
Απόσταση μεταξύ AP2-UE2	30m, 20m	d_fue
Είδος κτιρίου	Κατοικία	ch
Πλήθος ορόφων μεταξύ FAP-FUE	1	N
Ισχύς κάτω ζεύξης AP1	21dBm, 10dBm	Ptx_max1



Εικόνα 22 :Γράφημα ισχύος (dBm) του FAP2 ως συνάρτηση της απόστασης FUE2-FAP1 έτσι ώστε να διατηρείται η υπηρεσία μεταξύ FAP2-FUE2

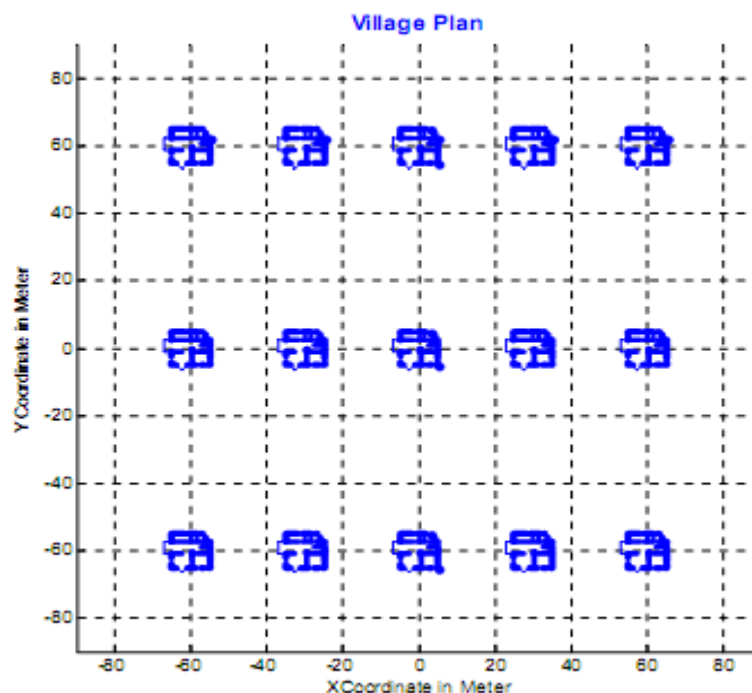
Απ' την Εικόνα 22 παρατηρούμε ότι όσο πλησιάζει ο χρήστης FUE2 στο FAP1, απαιτείται περισσότερη ισχύ στην κάτω ζεύξη από το FAP2, για να διατηρηθεί η υπηρεσία με το FUE2. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μέγιστη ισχύς της Femtocell είναι 21 dBm, στην 3^η περίπτωση η ελάχιστη απόσταση μεταξύ FAP1 και FUE2 είναι περίπου 6m , ενώ στην 2^η περίπτωση τα 15 m περίπου.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι όσο απομακρύνεται το FUE2 από το FAP2 τόσο μεγαλώνει η ελάχιστη απόσταση που μπορεί το FUE να πλησιάσει το FAP1.

Έτσι παρατηρείται ότι οι απαιτήσεις σε ισχύ ξεπερνούν την δυνατότητα της συσκευής Femtocell όταν το FUE 2 ξεπεράσει τις προηγούμενες αποστάσεις, με αποτέλεσμα να χάνεται η σύνδεση του FUE2 με το FAP2. Προτείνεται η μεταπομπή του FUE2 στην Μακροκυψέλη ή στο FAP1 στην περίπτωση που δεν έχουμε «κλειστή πρόσβαση» στην Femtocell του 1^{ου} διαμερίσματος [28].

4.5.2 Μελέτη χωρητικότητας σε περίπτωση που έχουμε την παρουσία πλήθους Femtocells

Έστω το παρακάτω(Εικόνα 23) σχέδιο μιας περιοχής από το [1].



Εικόνα 23 :Πλάνο περιοχής για την μελέτη της Χωρητικότητας. Σενάριο Ε'

Εδώ μελετάται η επίδραση των γειτονικών Femtocells στην Femtocell, που βρίσκεται σε οικία στο κέντρο με συντεταγμένες 0,0. Δίδονται από το [1]:

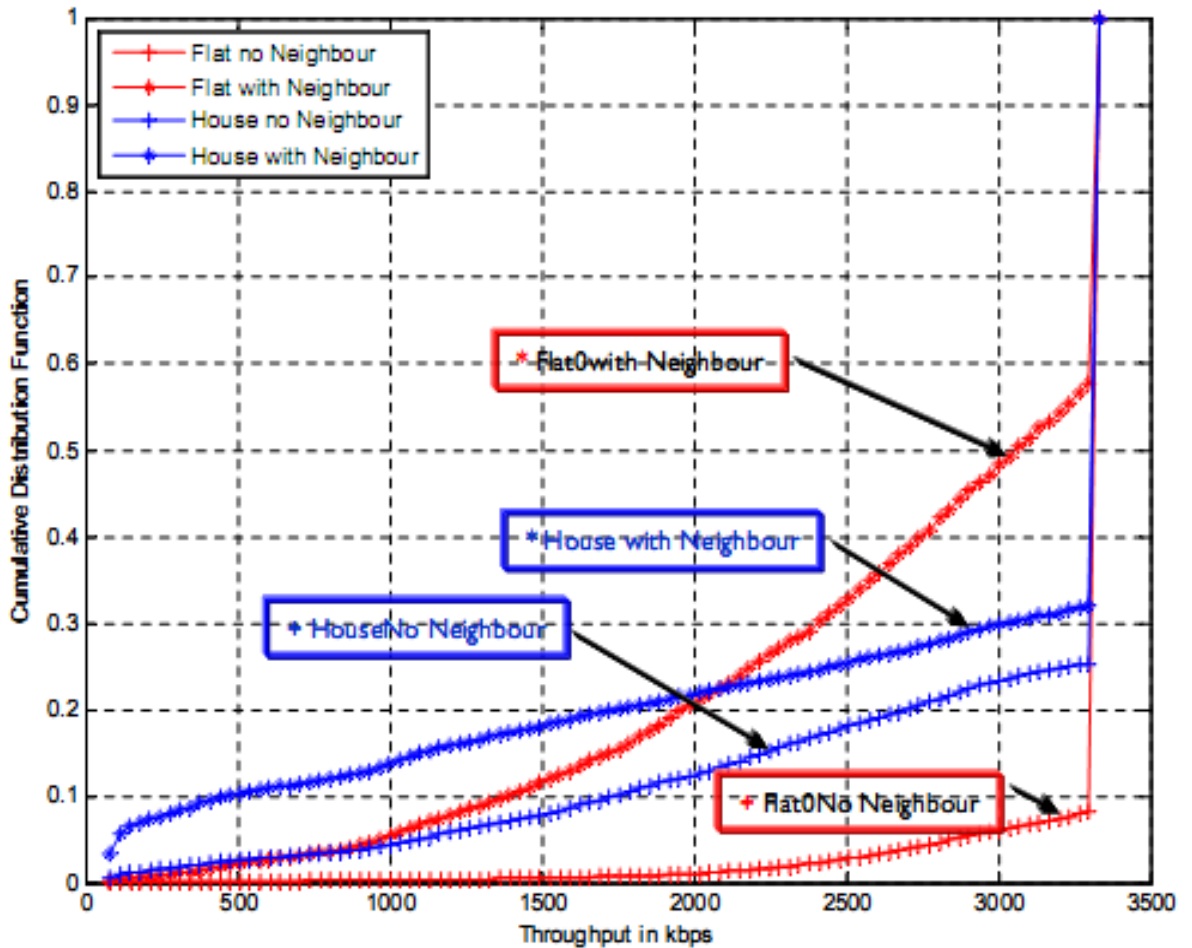
- Η ισχύς του Femto στα 0dBm.
- Απώλειες εξωτερικού τοίχου κτιρίου 15dB
- Απώλειες εσωτερικού τοίχου κτιρίου 10dB
- Απώλειες σε σημείο που βρίσκεται είσοδος (πόρτα) 5dB
- Ο σταθμός βάσης MNB της Μακροκυψέλης βρίσκεται στην τοποθεσία με συντεταγμένες $(X,Y) = (-500, -500)$.
- Απόσταση MNB από την κατοικία στις συντεταγμένες $(X,Y) = (0,0)$ είναι 900m
- Ισχύς MNB στα 43dBm.
- Ύψος κεραίας MNB : 25m

Επίσης θεωρείται ότι η απαίτηση για τις υπηρεσίες HSDPA, για όλες της Femtocell έχουν μέγιστο ρυθμό 3.6Mbps.

A) Χωρίς να λάβουμε υπόψιν την παρουσία του MNB.

Παρακάτω (Εικόνα 24) παρουσιάζονται οι κατανομές των ρυθμών μετάδοσης για τα σενάρια [1]:

1. Τη παρουσία Femtocell σε διαμέρισμα χωρίς γειτονικές Femtocell(Flat no Neighbour).
2. Τη παρουσία Femtocell σε διαμέρισμα με γειτονικές Femtocell(Flat Neighbour).
3. Τη παρουσία Femtocell σε κατοικία χωρίς γειτονικές Femtocell(House no Neighbour).
4. Τη παρουσία Femtocell σε κατοικία με γειτονικές Femtocell(House with Neighbour).



Εικόνα 24 : Κατανομές των ρυθμών μετάδοσης (Σενάριο Ε') .

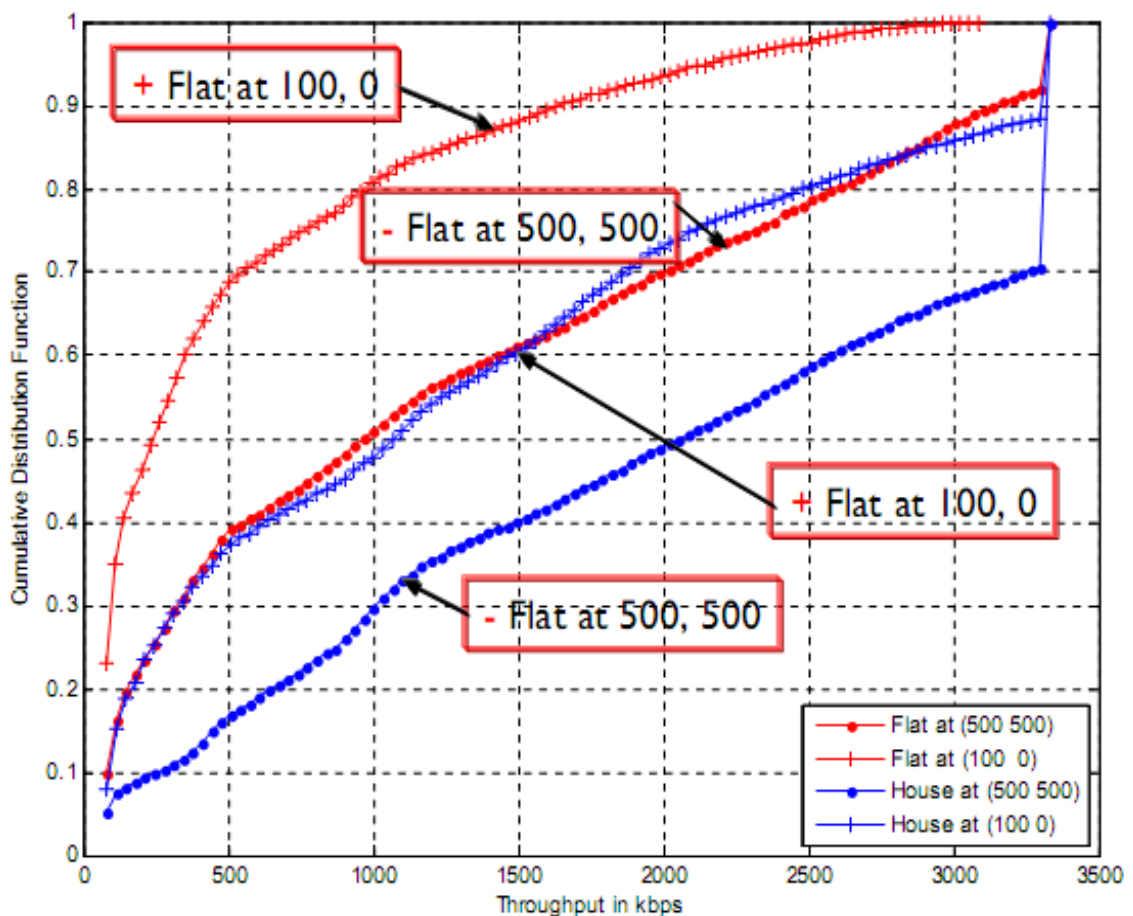
Από την Εικόνα 24 παρατηρούμε, ότι η παρουσία γειτονικών Femtocells μειώνουν σημαντικά τον ρυθμό μετάδοσης ενός χρήστη FUE. Για παράδειγμα για το σενάριο 2, η πιθανότητα η ταχύτητα να πέσει κάτω από τα 3000Kbps είναι μεγαλύτερη από το να μην υπάρχει γειτονικό Femtocell. Το ίδιο ισχύει και στο σενάριο 4.

Γενικά, η πιθανότητα μείωσης του ρυθμού είναι μεγαλύτερη σενάριο 2, παρά στο σενάριο 4. Αυτό οφείλεται στις απώλειες διαδρομής μεταξύ του χρήστη FUE και της γειτονικής Femtocell. Στο σενάριο 4 είναι μεγαλύτερες, εξαιτίας της ίδιας της κατοικίας(εξωτερικός, εσωτερικός τοίχος), αλλά και λόγω της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των γειτονικών Femtocells αφού στο σενάριο 2 τα διαμερίσματα είναι γειτονικά και παρεμβάλλεται μόνο ο εσωτερικός τοίχος του διαμερίσματος ο οποίος έχει λιγότερες απώλειες (10dB). Άρα η παρεμβολή είναι μικρότερη στο σενάριο 4.

Στην περίπτωση που δεν έχουμε παρεμβολή από γειτονικές Femtocells, είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα μείωσης του ρυθμού εσωτερικά της κατοικίας (σενάριο 3) λόγω ίσως των διαφορετικών χαρακτηριστικών των υπό μελέτη κτιρίων (διαμέρισμα, κατοικία).

Β) Η επίδραση της Μακροκυψέλης.

Η παρουσία της Μακροκυψέλης επιδεινώνει την κατάσταση. Αυτό συμπεραίνεται και από την Εικόνα 25 [1].



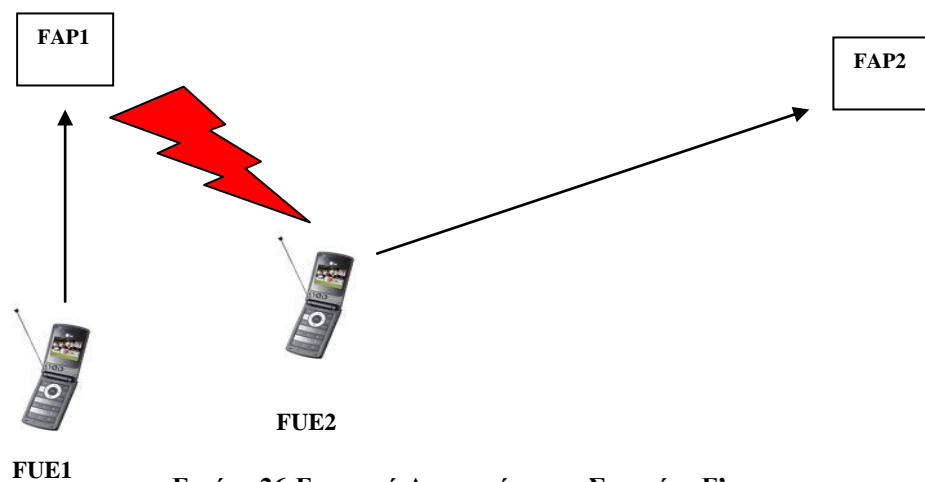
Εικόνα 25: Κατανομές των ρυθμών μετάδοσης παρουσία Femtocell-Μακροκυψέλης (Σενάριο Ε')

Γενικά με την παρουσία της Μακροκυψέλης, η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη για υποβάθμιση της ταχύτητας. Επίσης παρατηρείται στην συγκεκριμένη περίπτωση ότι όσο πιο μακριά είναι ένα σπίτι από το MNB τόσο μειώνεται η πιθανότητα υποβάθμισης της ταχύτητας. Για παράδειγμα, για την κατοικία που εντοπίζεται στις συντεταγμένες 500,500, η πιθανότητα υποβάθμισης κάτω από τα 2500kbps, είναι μικρότερη από την κατοικία που εντοπίζεται στις συντεταγμένες 100,0. Το ίδιο συμπεραίνεται και για τα διαμερίσματα. Επίσης είναι φανερό ότι η παρεμβολή είναι λιγότερη στην περίπτωση της κατοικίας παρά στα διαμερίσματα λόγω της διαφορετικής ιδιομορφίας των κτιρίων(διαμέρισμα, κατοικία).

4.6 Σενάριο F' : Η άνω ζεύξη του Femtocell παρεμβάλλει διπλανές συσκευές Femtocell.

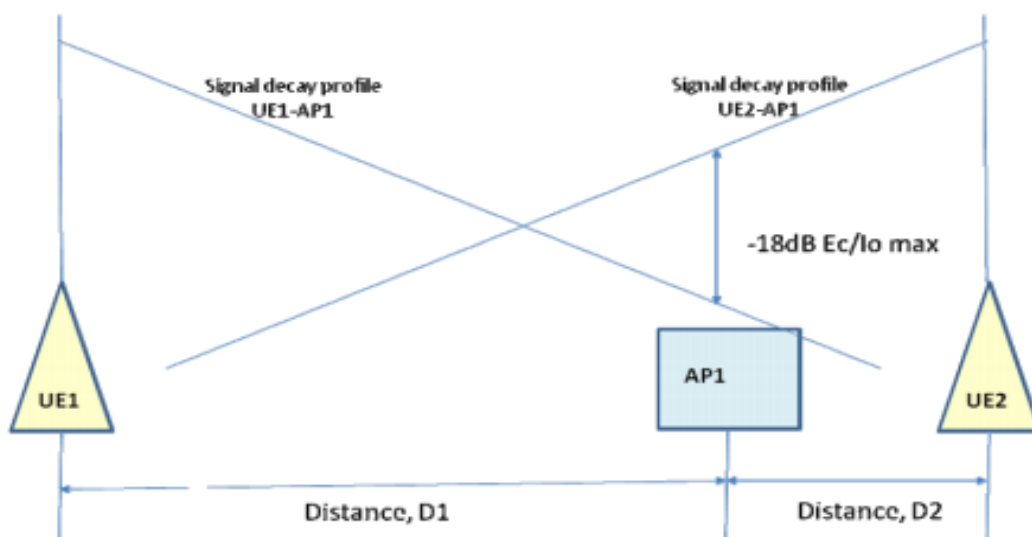
Για την μελέτη της συγκεκριμένης περίπτωσης, θεωρούμε δύο διαμερίσματα όπου στο καθένα υπάρχει μια Femtocell FAP1 και FAP2, στις οποίες αντίστοιχα είναι συνδεδεμένοι οι χρήστες FUE1 και FUE2. Ο χρήστης του FAP2, ο FUE2, πλησιάζει στο FAP1. Ο χρήστης FUE2 όσο απομακρύνεται από το FAP2 εκπέμπει περισσότερη ισχύ, για να διατηρήσει την σύνδεση και την υπηρεσία με το FAP2, παρεμβάλλοντας έτσι το FAP1 (Εικόνα 26)

Το ζητούμενο είναι η ελάχιστη απόσταση FUE2-FAP1, για κάθε απόσταση μεταξύ FAP1-FUE1.



Εικόνα 26:Εικονική Αναπαράσταση Σεναρίου F'

Θεωρείται το όριο $E_c/I_o = -18\text{dB}$ από το [1], για να πραγματοποιείται μια κλήση φωνής. Επίσης θεωρείται ότι ο χρήστης FUE2 κινείται προς το FAP1. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 27 [1], η απώλεια διαδρομής ανά μονάδα μήκους είναι ίδια και για τους δύο ραδιοδιάλους.



Εικόνα 27 :Εξασθένηση του σήματος. Σενάριο F

Χρησιμοποιείται το Μοντέλο Απωλειών Διαδρομής Λογαριθμικής Κλίμακας θεωρώντας τον εκθέτη απωλειών $n=2.8$, που αντιστοιχεί σε κυψελοειδές περιβάλλον αστικής περιοχής [19].

Έτσι έχουμε:

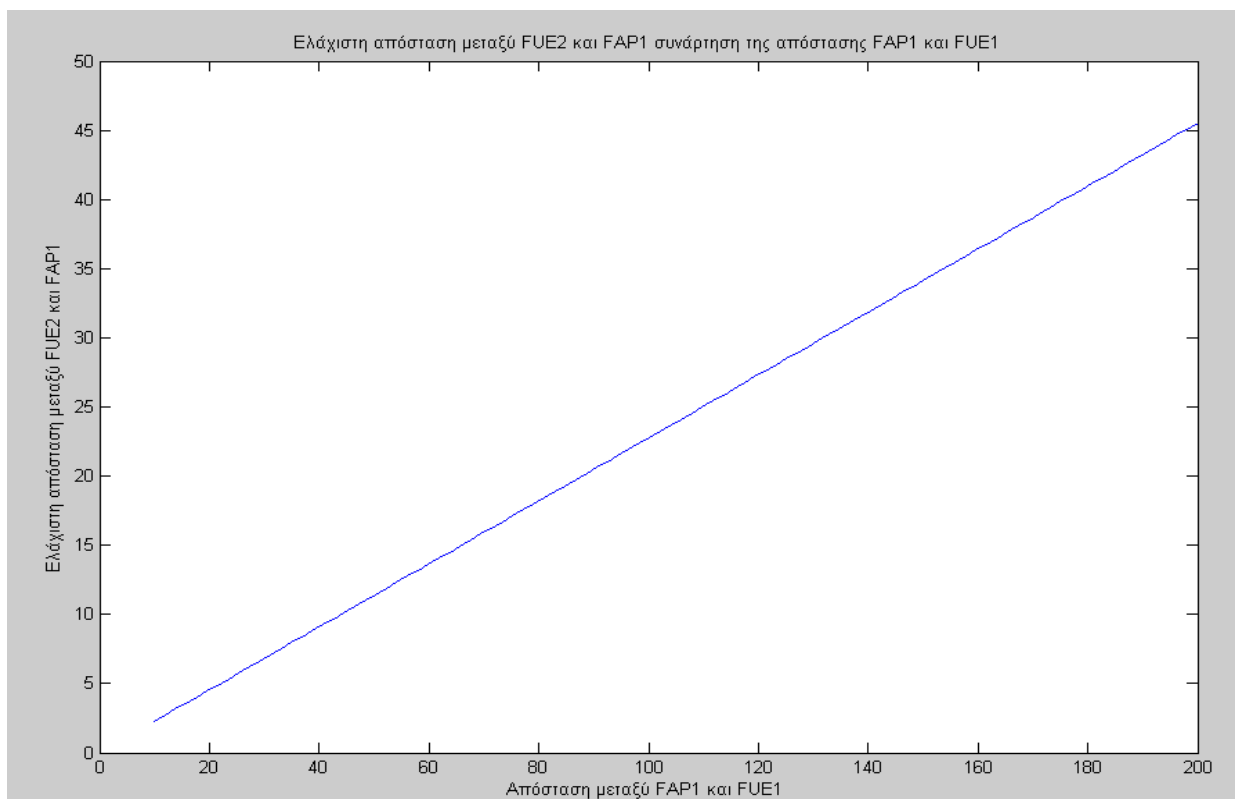
$$PL1=x+10*2.8\log(D1)\Rightarrow PL1 =x+ 28\log(D1) \text{ (1)}$$

$$PL2=x+10*2.8\log(D2)\Rightarrow PL2= x+28\log(D2) \text{ (2)}$$

$$\text{Επίσης, όπως ειπώθηκε και πριν, απαιτείται } E_c/I_o=-18\text{dB δηλαδή } PL2=PL1-18 \text{ (3)}$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (2) την (3) παίρνουμε:

$x+ 28\log(D1)-18= x+28\log(D2)\Rightarrow 28\log(D2/D1)=-18 \Rightarrow D2/D1=10^{(-18/28)}$ δηλαδή καταλήγουμε στην σχέση που πρέπει να ισχύει, για το λόγο των αποστάσεων μεταξύ των FUE's και του FAP1 για να υπάρχει κλήση, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28 :Γράφημα Ελάχιστης απόστασης FUE-FAP1 ως συνάρτηση της απόστασης FAP1-FUE1

Παρατηρείται ότι η ελάχιστη απόσταση FAP1-FUE2 εξαρτάται από την απόσταση FUE1-FAP1, έτσι ώστε να διατηρείται το επιθυμητό όριο Ec/Io. Σημειωτέον, ότι η ελάχιστη απόσταση έχει την έννοια, ότι όταν ο χρήστης FUE2 ξεπεράσει την ελάχιστη απόσταση τότε παρεμβάλλει το FAP1. Όσο μεγαλώνει η απόσταση FAP1-FUE1, αυξάνεται και η ελάχιστη απόσταση FAP1-FUE2. Εάν η ελάχιστη απόσταση παρέμενε ίδια, ενώ απομακρυνόταν το FAP1-FUE1, τότε θα είχαμε μείωση του Ec/Io κάτω από -18dB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Οικονομική Μελέτη ανάπτυξης δικτύου Femtocell.

Όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφάλαιο 1, εκτός από τεχνικό μέρος μελετάται και ο οικονομικός αντίκτυπος (πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα) της παρουσίας της τεχνολογίας Femtocell , τόσο στον συνδρομητή όσο και στον πάροχο.

- Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, προσφέρονται δωρεάν χρήση μετάδοσης δεδομένων με την χρήση Femtocell. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να επιλέξουν την μετάδοση δεδομένων δωρεάν όταν συνδεθούν στην Femtocell
- Με την παροχή απεριόριστου χρόνου ομιλίας, παρατηρείται η αύξηση της ασύρματης επικοινωνίας εσωτερικό χώρο. Βέβαια, η συγκεκριμένη παροχή συνοδεύεται με πάγιο στον πελάτη που καθορίζεται από τον πάροχο.
- Έτσι οι χρήστες με προβλήματα κάλυψης, αλλά και υπηρεσιών, επωφελούνται από την παρουσία των Femtocell, ενώ προσελκύονται νέοι συνδρομητές με την εμφάνιση νέων υπηρεσιών που υποστηρίζονται

Μια σύντομη παρουσίαση των πλεονεκτημάτων των Femtocells αναφέρονται στον Πίνακα 23 από το [2]

Πίνακας 23 :Πλεονεκτήματα της Femtocell στον πάροχο και στον συνδρομητή

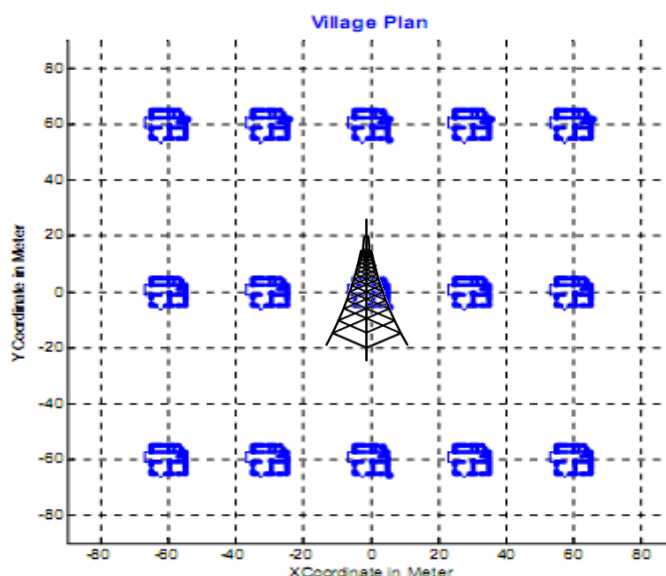
Όφελος	Περιγραφή	Όφελος Πελάτη	Όφελος Παρόχου
Βελτίωση της κάλυψης	Η παρουσία Femtocell παρέχει υψηλής ποιότητας κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους (σπίτια, γραφεία κτλ) σε σχέση με την κάλυψη της Μακροκυψέλης	*	
Βελτίωση ταχύτητας δεδομένων (Ασύρματη σύνδεση)	Η τεχνολογία Femtocell παρέχει αρκετά υψηλότερες ταχύτητες η οποίες μπορεί να περιορίζονται από την υπάρχουσα υποδομή του ευρυζωνικού δικτύου.	*	
Μείωση του κόστους χρήσης.	Το κόστος ανά λεπτό ή το κόστος ανά MB της αποστολής της κίνησης μέσω της Femtocell είναι μικρότερη από την αποστολή της κίνησης μέσω Μακροκυψελών.		*
Μείωση της συμφόρησης σε περιοχές με υψηλές απαιτήσεις χωρητικότητας	Σε ορισμένες περιοχές ο πάροχος ενδιαφέρεται περισσότερο για παροχή υπηρεσίας, παρά για την μείωση του κόστους κυρίως σε περιοχές όπου είναι περιορισμένη η δυνατότητα «τοποθέτησης» επιπλέον κυψελών , όπως ουρανοξύστες, αεροδρόμια, κτλ		*

<p>Ικανότητα για καλύτερη χρήση σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές.</p>	<p>Στην περίπτωση που ο πάροχος μπορεί να αναγνωρίσει τη κίνηση που διεκπεραιώνεται ή τερματίζεται σε ένα πχ σπίτι, τότε μπορεί να προσφέρει μεταβλητή κάλυψη χωρητικότητας σε διαφορετικούς χώρους αλλά και περιοχές.</p>	*	*
<p>Ικανότητα προσφοράς προηγμένων υπηρεσιών</p>	<p>Πχ Με την τοποθέτηση ειδικής συσκευής εντός του χώρου κάλυψης της Femtocell η οποία μπορεί να ανιχνεύει την κίνηση στο χώρο, μπορούν να προσφερθούν νέες υπηρεσίες.</p>	*	

5.2 Κεφάλαια και δαπάνες Κυψελοειδούς δικτύου προαστιακής περιοχής

5.2.1 Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής

Θεωρούμε μια περιοχή όπως διαρθρώνεται στην Εικόνα 29, όπου κάθε κατοικία τοποθετείται όπως φαίνεται στο σχήμα, ενώ υπάρχει και το Μακροκυψελωτό δίκτυο με το MNB το οποίο καλύπτει μια περιοχή πλάτους 1000m*1000m

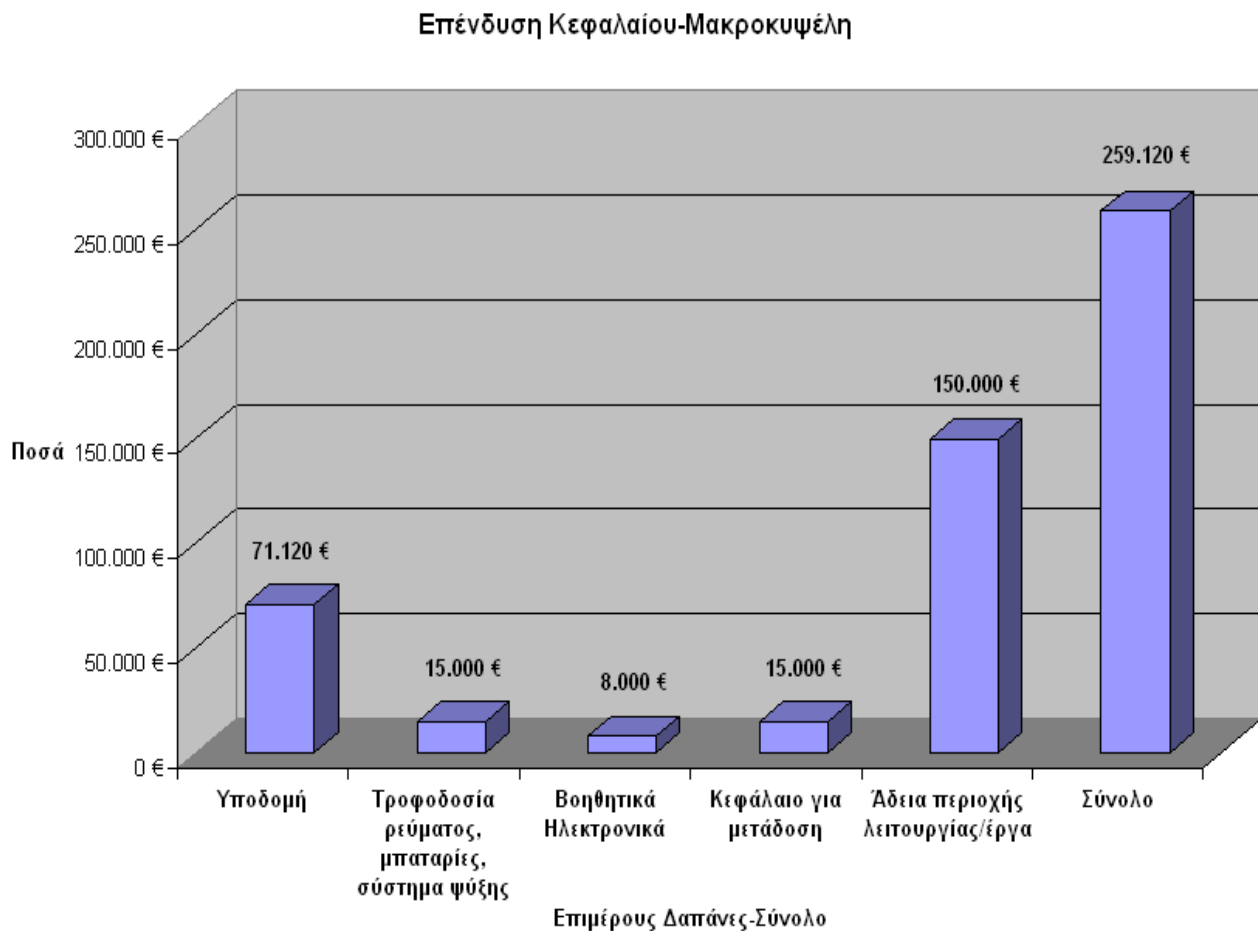


Εικόνα 29:Πλάνο περιοχής για οικονομική μελέτη

Από την Εικόνα 29 παρατηρείται ότι κατά πλάτος οι κατοικίες απέχουν περίπου 30m ενώ κατά ύψος περίπου στα 60m. Άρα έχουμε περίπου $1000m/30m=33$ κατοικίες ανά σειρά και $1000m/60m=17$ κατοικίες ανά στήλη, οπότε σύνολο $17*33=561$ κατοικίες. Επίσης υποθέτουμε ότι έχουμε 2 άτομα ανά κατοικία που εξυπηρετούνται από την Μακροκυψέλη.

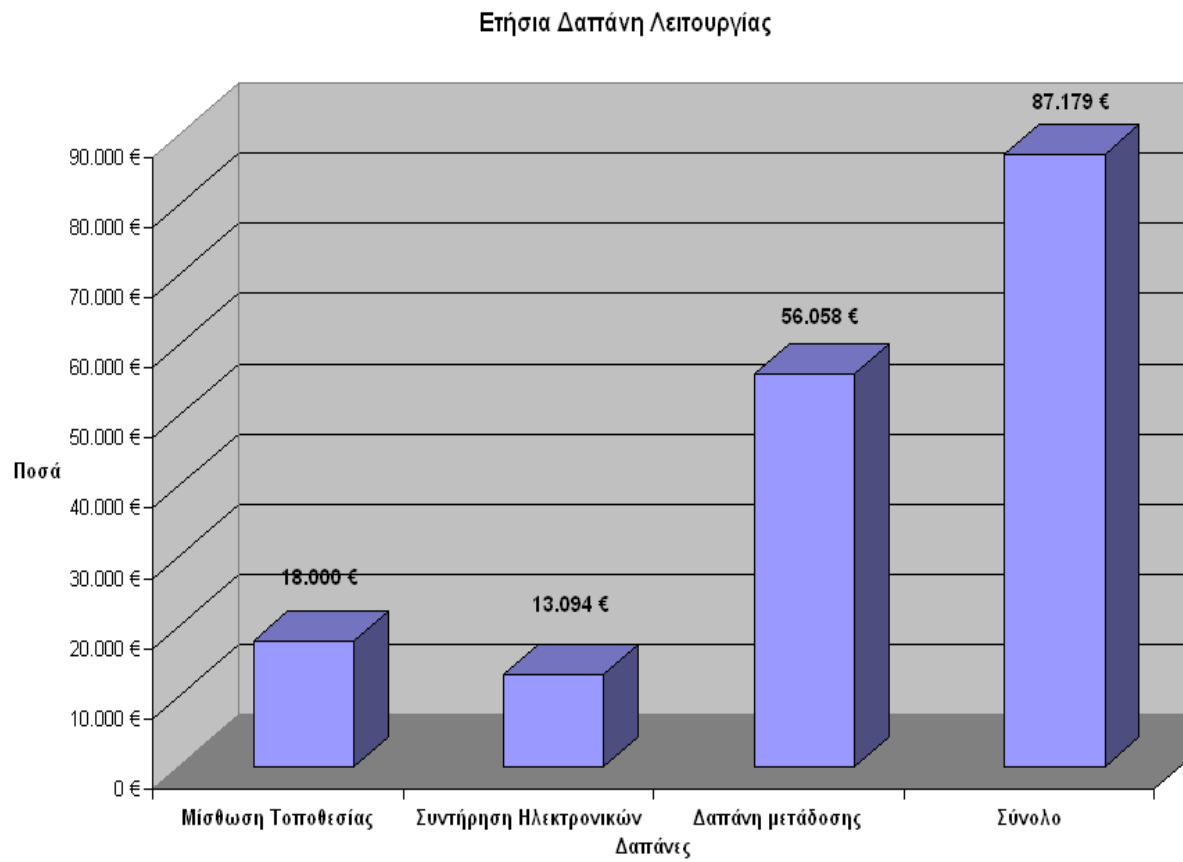
5.2.2 Μελέτη προϋπολογισμού για την Μακροκυψέλη

Στην συνέχεια της μελέτης, παρουσιάζεται το κόστος του υπάρχοντος δικτύου της Μακροκυψέλης της υπό μελέτη περιοχής, αλλά και ο επιμερισμός του κόστους σε επιμέρους δαπάνες [2]. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30:Γράφημα κατανομής κόστους Μακροκυψέλης

Βέβαια η υποδομή που παρουσιάστηκε, δεν είναι το μοναδικό κόστος της Μακροκυψέλης. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και οι επιμέρους δαπάνες της ετήσιας λειτουργίας του δικτύου [2], όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Ετήσιες Δαπάνες Λειτουργίας Μακροκυψέλης

5.2.3 Κοστολόγηση ετήσιας Δαπάνης Λειτουργίας ανά κατοικία.

Κατά την μελέτη και κοστολόγηση της ετήσιας δαπάνης λειτουργίας ανά κατοικία, λαμβάνουμε υπόψιν ότι όλες οι κατοικίες της υπό μελέτη περιοχής εξυπηρετούνται από την Μακροκυψέλη. Αναλυτικά στον Πίνακα 24:

Πίνακας 24 : Μηνιαία κοστολόγηση ετήσιας λειτουργίας Μακροκυψέλης ανά κατοικία.

Δαπάνη	Ποσό
Ετήσια λειτουργία	87.179€ (Εικόνα 31)
Λειτουργία δικτύου ανά μήνα	$87.179\text{€}/12(\text{Μήνες})=7.265\text{€}$
Ποσό ανά κατοικία	$7.265\text{€}/561(\text{Κατοικίες})=13\text{€}$

5.2.4 Κοστολόγηση Επένδυσης Κεφαλαίου ανά κατοικία.

Το σύνολο των δαπανών που επενδύθηκαν για την υποδομή του Μακροκυψελατού δικτύου από την Εικόνα 30 είναι 259.120€ Δεδομένου ότι, όλες οι κατοικίες εξυπηρετούνται από την Μακροκυψέλη και ότι ο στόχος απόσβεσης του κεφαλαίου είναι οι 24 μήνες, έχουμε:

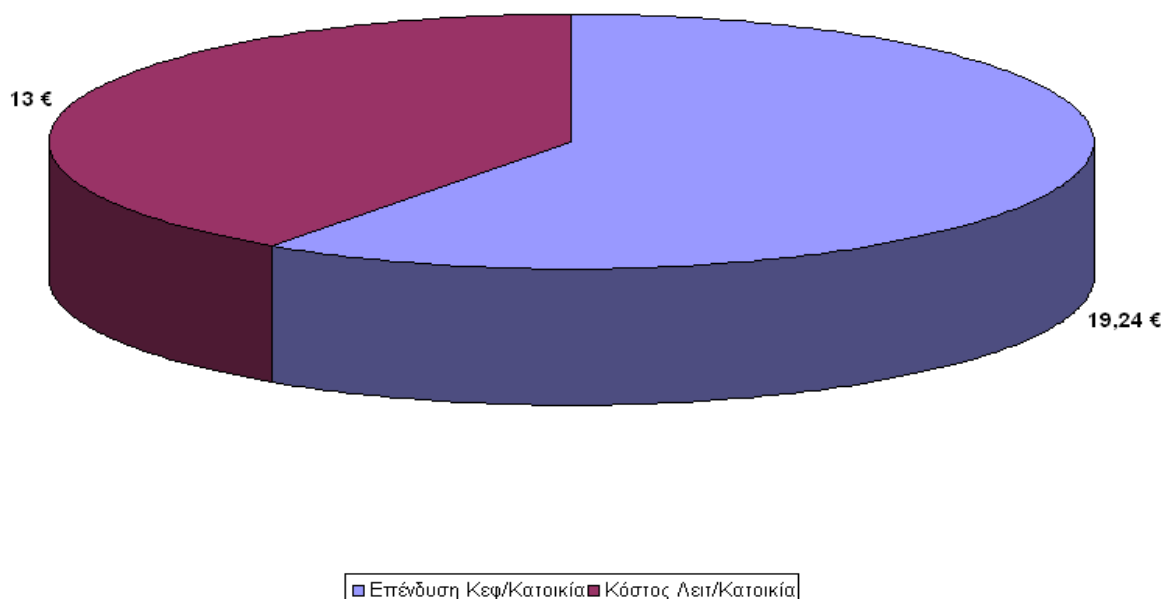
Πίνακας 25: Μηνιαία Κοστολόγηση ανά κατοικία-Επένδυσης Κεφαλαίου Μακροκυψέλης

Κεφάλαιο	Ποσό
Επένδυση Κεφαλαίου	259.120€ (Εικόνα 30)
Κόστος ανά μήνα	$259.120\text{€}/24(\text{Μήνες})=10.797\text{€}$
Κόστος ανά μήνα, ανά κατοικία	$10.797\text{€}/561(\text{Κατοικίες})=19,24\text{€}$

5.2.5 Μηνιαίο Κόστος ανά κατοικία (Μακροκυψέλη).

Λαμβάνοντας υπόψιν τους Πίνακες 24 και 25, των παραγράφων 5.2.3 και 5.2.4 αντίστοιχα υπολογίζεται ότι το κόστος ανά κατοικία ανέρχεται στα $13\text{€}+19,24\text{€}=32,24\text{€}$ ή $16,12\text{€}/\text{Συνδρομητή}$ (2 Συνδρομητές / Κατοικία).

Κόστος ανά κατοικία-Μακροκυψέλη

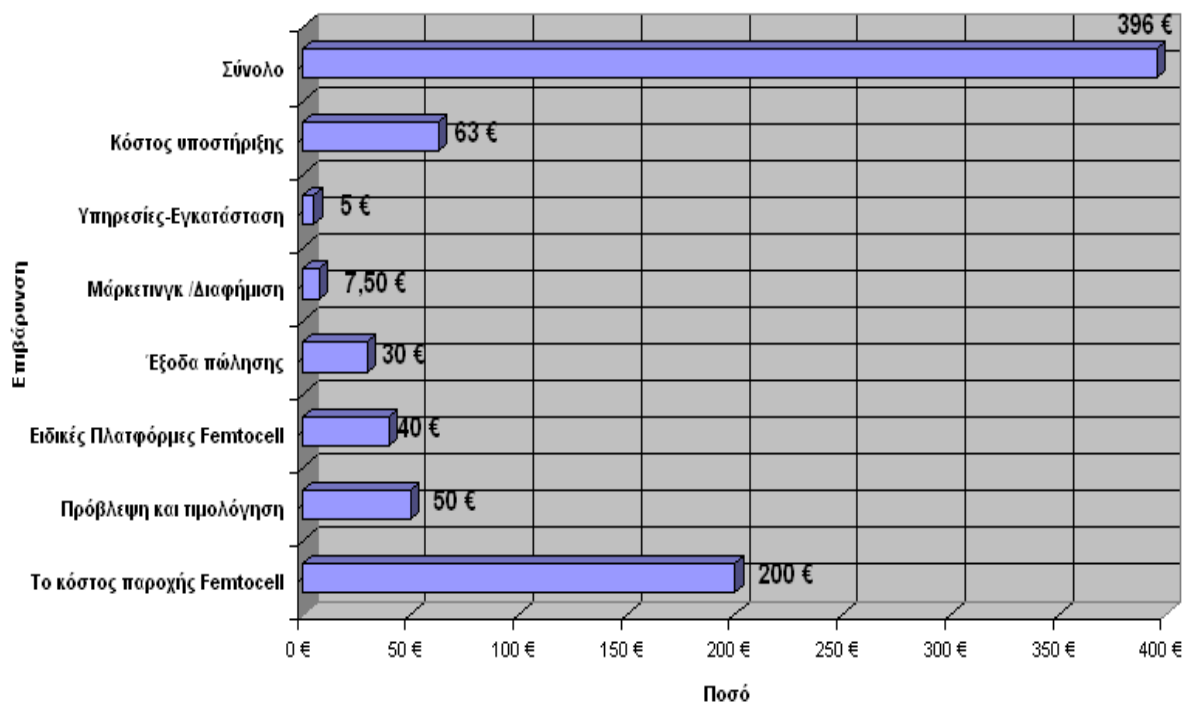


Εικόνα 32: Γράφημα ανάλυσης κόστους/κατοικία, υποδομής και ετήσιας λειτουργίας Μακροκυψέλης

5.2.6 Κοστολόγηση Femtocell.

Στην Εικόνα 33 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους επιβαρύνσεις στο κόστος της συσκευής Femtocell από το [2].

Κοστολόγηση Femtocell



Εικόνα 33: Γράφημα Επιβαρύνσεων κόστους Femtocell

5.2.7 Οικονομική Επίδραση παρουσίας Femtocell.

Στην συνέχεια, μελετάται ο οικονομικός αντίκτυπος της παρουσίας της τεχνολογίας Femtocell τόσο στον πάροχο, ο οποίος θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να προμηθεύσει όλες τις κατοικίες με Femtocell, όσο και στον ίδιο τον συνδρομητή. Στον Πίνακα 26 παρουσιάζονται τα κόστη που αναλογούν στην οικογένεια και στον πάροχο. Ο πάροχος επιδοτεί με το ποσό των 328€ την προμήθεια Femtocell [2]. Άρα αφού η Femtocell (βλέπε Εικόνα 33) στοιχίζει 395,50 η επιβάρυνση της οικογένειας που προμηθεύεται Femtocell είναι 67,50€.

Πίνακας 26 : Ανάλυση Κόστους λόγω ανάπτυξης δικτύου Femtocell.

Κόστη /Εξοικονομήσεις	Ποσό
Αγορά Femtocell κόστος στην οικογένεια	67,50€
Επιβάρυνση Παρόχου ανά κατοικία	395,50€-67,50=328€
Εξοικονόμηση κόστους από την μεταφόρτωση κίνησης στην Femtocell	68€
Κόστος για κάλυψη Femtocell στην περιοχή	
Επένδυση για σύνολο κατοικιών	328€*561=184.008€
Απόσβεση σε 24 μήνες/Κόστος ανά μήνα	184.008€/24=7.664€
Κόστος ανά κατοικία	7.664€/561=13,6€

Με βάση τα παραπάνω το κόστος ανά κατοικία για χρήση της Μακροκυψέλης, με παρουσία Femtocell, προσαρμόζεται ως εξής:

$32,24€ + 13,6€ = 45,84€$ το μήνα (22,92€/ Συνδρομητή).

Οι εξοικονόμηση κόστους ανά Femtocell στο δίκτυο, υπολογίζεται ότι είναι κατά μέσο όρο 68€ από το [2]. Έτσι, εάν όλα σπίτια προμηθευτούν Femtocell τότε έχουμε εξοικονόμηση στην λειτουργία του δικτύου $68€ * 561 = 38.148€$. Αναλυτικότερα στον Πίνακα 27 έχουμε:

Πίνακας 27: Προσαρμογή Δαπάνης Ετήσιας λειτουργίας δικτύου Μακροκυψέλης παρουσία Femtocell

Δαπάνη	Ποσό
Ετήσια λειτουργία	87.179€-38.148€=49.031€
Λειτουργία ανά μήνα	49.031€/12(Μήνες)=4.085€
Ποσό ανά νοικοκυριό	4.085€/561(Κατοικίες)=7,28€

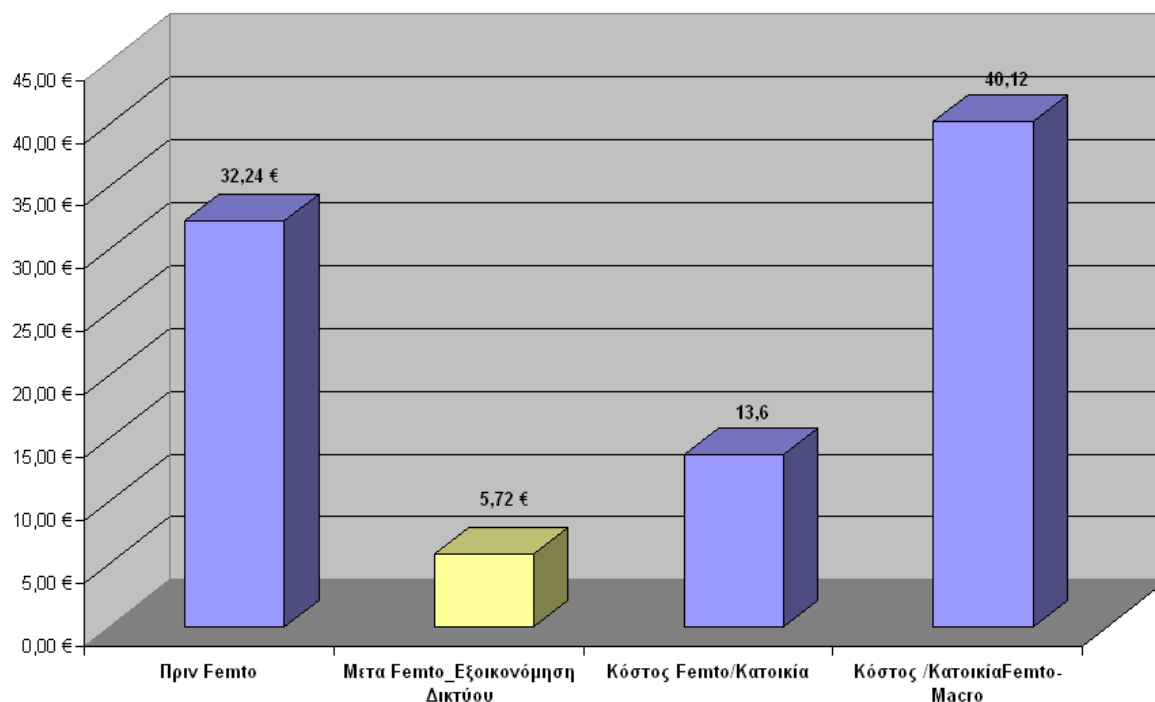
Λαμβάνοντας υπόψιν τους Πίνακες 24,25 και 27 το κόστος ανά κατοικία με την παρουσία Femtocell διαμορφώνεται στα :

$19,24€ + 7,28€ + 13,6€ = 40,12€$ το μήνα ή 20,6€ / Συνδρομητή (2 Συνδρ/Κατοικία),

ενώ η εξοικονόμηση ανά κατοικία είναι $13€$ (Πίν 24)- $7,28€$ (Πίν 27)= $5,72€$.

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται και σχεδιαγραμματικά η προσαρμογή του κόστους ανά κατοικία με την παρουσία της Femtocell.

Προσαρμογή Κόστους ανα Κατοικία παρουσία Femto



Εικόνα 34: Γράφημα προσαρμογής κόστους ανά κατοικία πριν και μετά την παρουσία Femto.

Επιπλέον Επιβαρύνσεις I

Ο πάροχος προσφέρει δωρεάν χρόνο ομιλίας, οπότε αυξάνεται η πιθανότητα εγγραφής νέου μέλους. Ο πελάτης εκτός από την βελτίωση της κάλυψης, να απολαμβάνει την ομιλία στο χώρο του απεριόριστα καταβάλλοντας μηνιαία συνδρομή. Επίσης ορίζεται και μηνιαία συνδρομή για βελτίωση κάλυψης 6,75€ όπως φαίνεται στον Πίνακα 28 από το [2].

Πίνακας 28 :Επιπλέον Επιβαρύνσεις I

Υπηρεσία	Μηνιαία Συνδρομή
Δωρεάν χρόνος ομιλίας	20€
Μηνιαία Συνδρομή	6,75€

Το μηνιαίο κόστος ανά νοικοκυριό, διαμορφώνεται λαμβάνοντας υπόψιν τα προηγούμενα :

$$40,12€+20€+6,75€= 66,87€(33,4€/Συνδρομητή)$$

Η παρουσία της Femtocell έχουμε την εμφάνιση νέων βελτιωμένων υπηρεσιών ή και βελτίωση υπηρεσιών που υπολειτουργούσαν στην Μακροκυψέλη. Στον Πίνακα 29 παρουσιάζονται οι σχετικές επιβαρύνσεις [2].

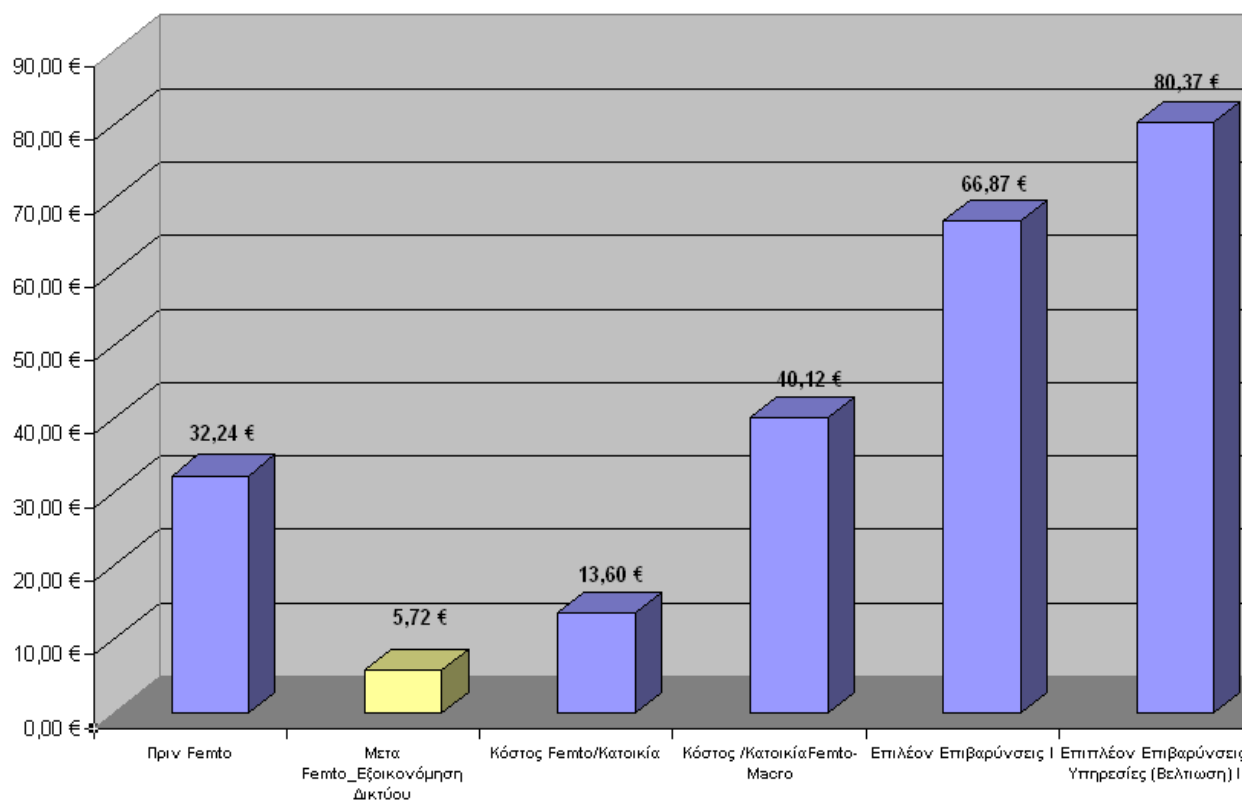
Πίνακας 29 : Επιπλέον Επιβαρύνσεις(Βελτίωση) II

Υπηρεσία	Μηνιαία Συνδρομή
Νέες Βελτιωμένες Υπηρεσίες σε σχέση με την Μακροκυψέλη	6,75€
Βελτίωση υπηρεσιών που υπολειτουργούσαν	6,75€

Άρα το μηνιαίο κόστος ανά κατοικία (Μακροκυψέλη-Femtocell-Επιπλέον υπηρεσίες-Υποστήριξη υπαρχόντων υπηρεσιών), λαμβάνοντας υπόψιν τα προηγούμενα διαμορφώνεται στα :

$$66,87€+6,75€+6,75€= 80,37€. (40,2€/Συνδρομητή)$$

Προσαρμογή Κόστους ανά Κατοικία παρουσία Femto



Εικόνα 35 :Γράφημα Προσαρμογής κόστους ανά κατοικία μετά την παρουσία Femto-Βελτίωση υπηρεσιών I&II

Εγγραφή νέων μελών στις υπηρεσίες Femtocell.

Παραδοχή. Θεωρείται ότι το νέο μέλος εξυπηρετείται στις υπηρεσίες Femtocell, και της Μακροκυψέλης. Επίσης, μελετάται η περίπτωση εγγραφής 200 νέων μελών-συνδρομητών.

Στόχος του παρόχου είναι η εγγραφή νέων μελών-συνδρομητών. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως ως εξής.

1. Με την βελτίωση της κάλυψης,
2. Με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών.
3. Με την βελτίωση των υπάρχουσων υπηρεσιών.
4. Με την παροχή οικονομικών πακέτων(απεριόριστου χρόνου ομιλίας, δωρεάν μεταβίβαση δεδομένων)
5. Με οικονομικές χρεώσεις σε σχέση με τις προσφερόμενες υπηρεσίες.

Για κάθε νέα εγγραφή έχουμε αύξηση κατά 40€ ανά συνδρομητή, με την προϋπόθεση, ότι απολαμβάνει όλες τις υπηρεσίες.

Πίνακας 30 : Εισροή Κεφαλαίου εγγραφής νέων συνδρομητών

Κεφάλαια	Ποσό
Εισροή Κεφ ανά συνδρομητή	40€
Εισροή Κεφ από 200 νέους συνδρομητές	8.000€
Εισροή Κεφ σε 24 μήνες	192.000€

5.2.8 Καταγραφή Ισολογισμού διάρκειας 24 μηνών

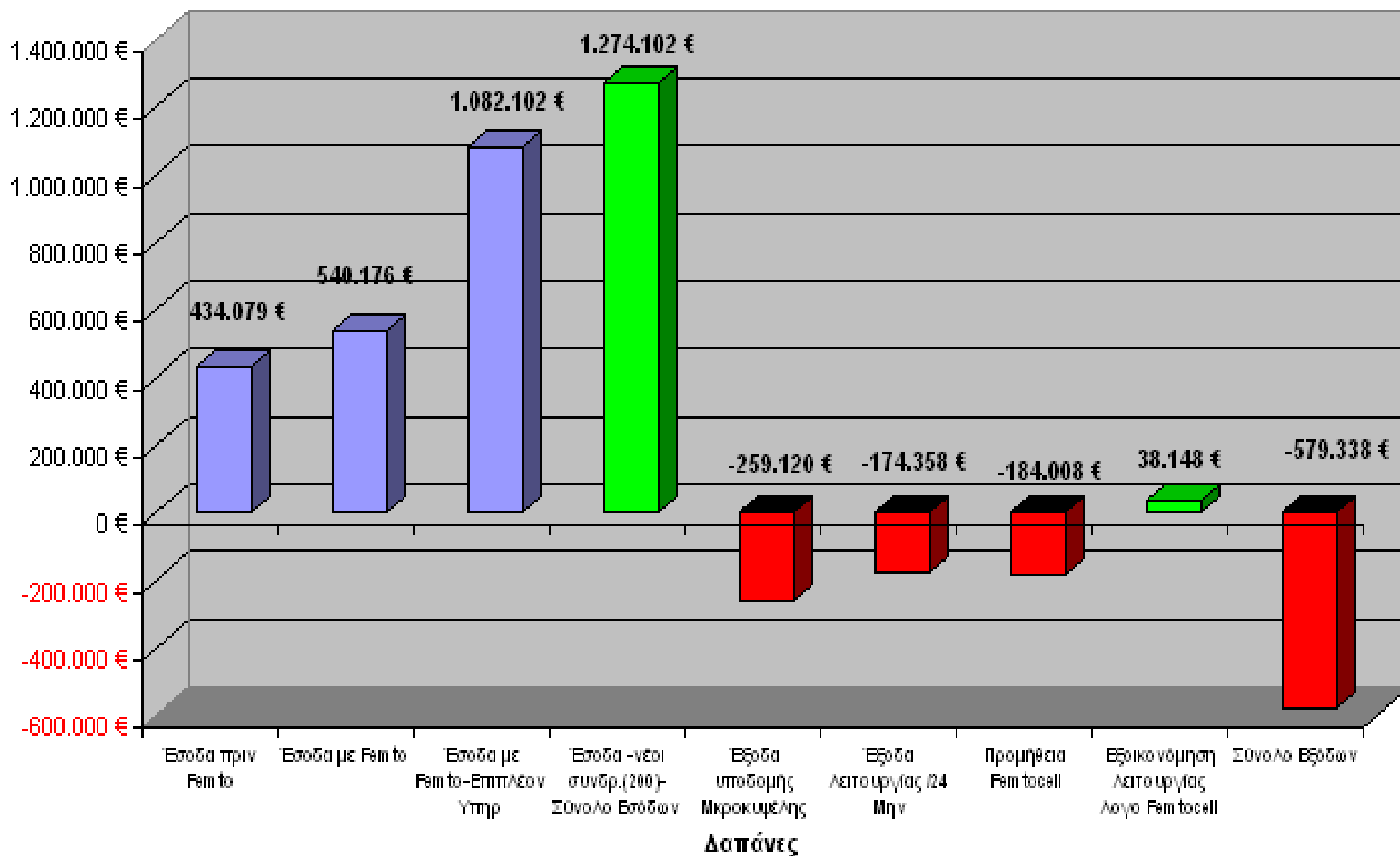
Καταλήγοντας, και σύμφωνα με τις προηγούμενες προσεγγίσεις, καταγράφονται στον Πίνακα 31 η διαμόρφωση των εσόδων και εξόδων.

Ο χρόνος απόσβεσης των κεφαλαίων είναι 24 μήνες.

Πίνακας 31: Έσοδα-Έξοδα διάρκειας 24 μηνών

Έσοδα- Έξοδα	Υπολογισμός	Ποσό
Έσοδα πριν Femto	32,24€/Νοικ*561Νοικ*24μην	434.079,36€
Έσοδα με Femto	40,12€/Νοικ*561Νοικ*24μην	540.175,68€
Έσοδα με Femto-Επιπλέον Υπηρ	80,37€/Νοικ*561*24μην	1.082.101,68€
Έσοδα -με νέους συνδρομητές(200συν)	1.082.101,68€+192.000€	1.274.101,68€
Έξοδα υποδομής Μακροκυψέλης		259.120€
Έξοδα λειτουργίας	87.179€ *2έτη	174.358€
Προμήθεια Femtocell	328€*561 Νοικ	184.008€
Εξοικονόμηση λειτουργίας λόγω Femtocell		38.148€
Σύνολο Εξόδων		579.338€

Στην Εικόνα 36, παρουσιάζονται οι προσαρμογή των Εσόδων πριν την παρουσία της Femto, με την προμήθεια των Femto, με τις νέες προτάσεις υπηρεσιών, αλλά και με την εγγραφή νέων συνδρομητών. Παρουσιάζονται επίσης τα έξοδα, η εξοικονόμηση λόγω παρουσίας των Femto και η συνολική δαπάνη για τον πάροχο στους 24 μήνες



Εικόνα 36:Γράφημα Εσόδων Εξόδων διάρκειας 24 μηνών

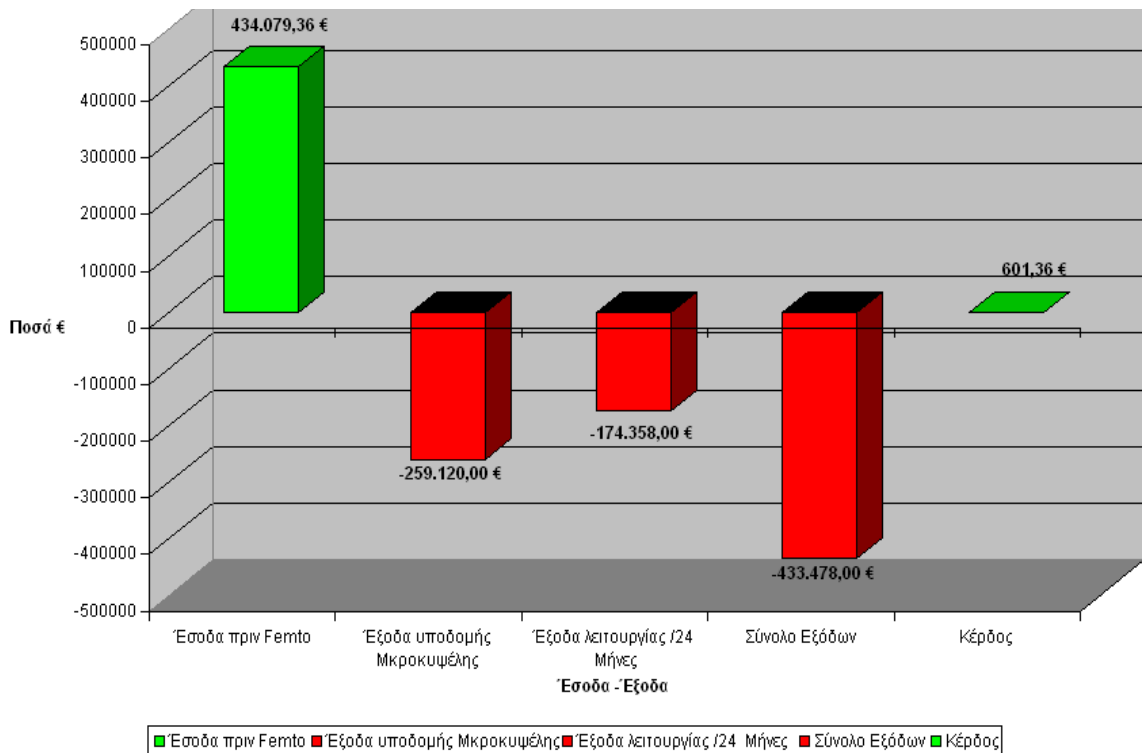
Στο σημείο αυτό και στον Πίνακα 32 με βάση τα προηγούμενα, παρουσιάζεται το συνολικό οικονομικό γενικό μοντέλο για τον υπολογισμό της χρέωσης ανά κατοικία για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 32: Γενικό Οικονομικό Μοντέλο

Περίπτωση	Υπολογισμός	
Σύνολο Κατοικιών (Femtocells)		(1)
Χρόνος Απόσβεσης (σε μήνες)		(2)
Επένδυση Κεφαλαίου (Πριν Femto)	Υποδομή + Τροφοδοσία Ρεύματος + Βοηθητικά Ηλεκτρονικά + Κεφάλαια για Μετάδοση + Άδεια Περιοχής	(3)
Ετήσια Δαπάνη Λειτουργίας (Πριν Femto)	Μίσθωση Τοποθεσίας + Συντήρηση Ηλεκτρονικών + Δαπάνη Μετάδοσης	(4)
Ετήσια Δαπάνη Λειτουργίας ανά Κατοικία (Πριν Femto)	Ετήσια Δαπάνη Λειτουργίας /12 Μήνες / (1)	(5)
Επένδυση Κεφαλαίου ανά Κατοικία	(3) / (2) / (1)	(6)
Μηνιαίο Κόστος ανά Κατοικία (Χρέωση)	(5)+(6)	(7)
Κόστος Femtocell	Κόστος παροχής Femtocell + Πρόβλεψη και τιμολόγηση + Ειδικές Πλατφόρμες Femtocell + Έξοδα πώλησης + Μάρκετινγκ / Διαφήμιση + Υπηρεσίες-Εγκατάσταση + Κόστος υποστήριξης	(8)
Κόστος Femtocell ανά κατοικία	{Συμμετοχή Παρόχου * (1)} / (2) / (1)	(9)
Κόστος Femtocell & Μακροκυψέλης ανά Κατοικία(Χρέωση)	(7) + (9)	(10)
Εξοικονόμηση Κόστους	Ποσό Εξοικονόμησης * (1)	(11)
Ετήσιας Δαπάνης Λειτουργίας με Εξοικονόμηση Κόστους ανά Κατοικία	{(5)-(11)} /12 / (1)	(12)
Κόστος Femtocell & Μακροκυψέλης ανά Κατοικία(με εξοικονόμηση)(Χρέωση)	(9)+(6)+(12)	(13)
Προσαρμογή Πρότασης (χρέωση)	(13)+Μηνιαία συνδρομή για κάθε νέα υπηρεσία.	(14)
Έσοδα πριν Femto	(7)*(1)* μήνες	(15)
Έσοδα με Femto	(10)*(1)*μήνες	(16)
Έσοδα με Femto-Επιπλέον Υπηρ	(14)*(1)*μήνες	(17)
Έσοδα από Έγγραφή χρηστών	{(14) /Πληθ. Συν ανά κατοικία}* Πλήθος Εγγραφών *μήνες	(18)

Συμπεράσματα

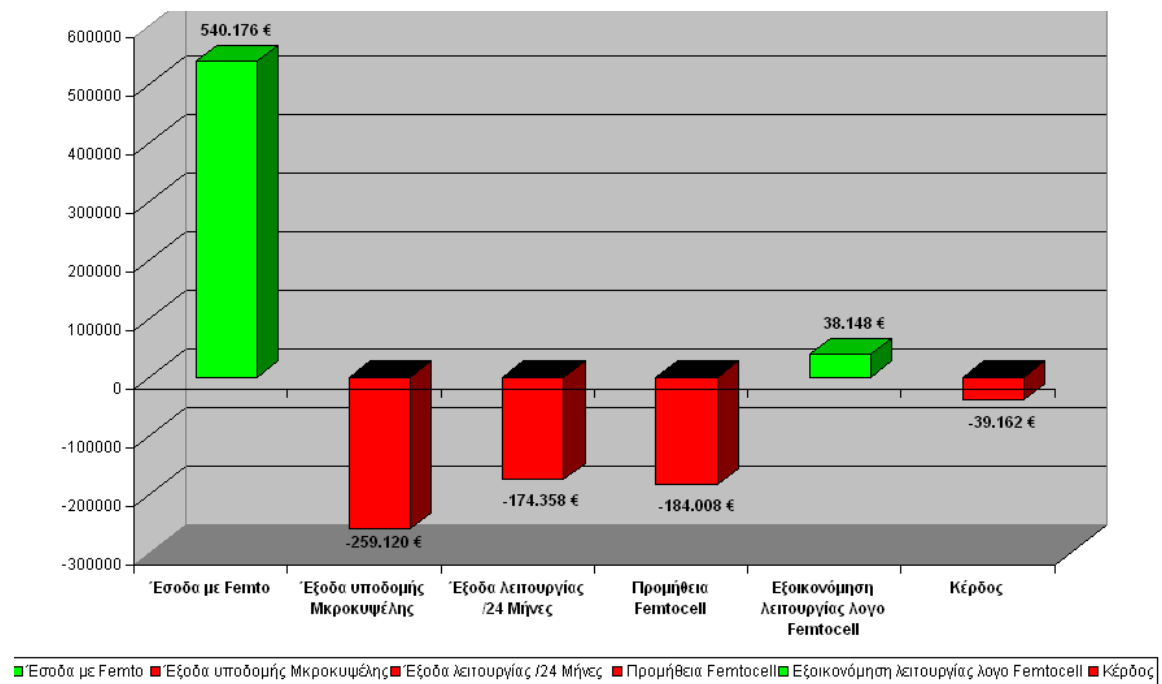
Πριν Femto, παρατηρούμε ότι σε διάρκεια 24 μηνών, έχουμε απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου με κέρδος μόλις 600 ευρώ. Αναλυτικά στην Εικόνα 37.



Εικόνα 37: Έσοδα- Έξοδα πριν Femto για 24 μήνες

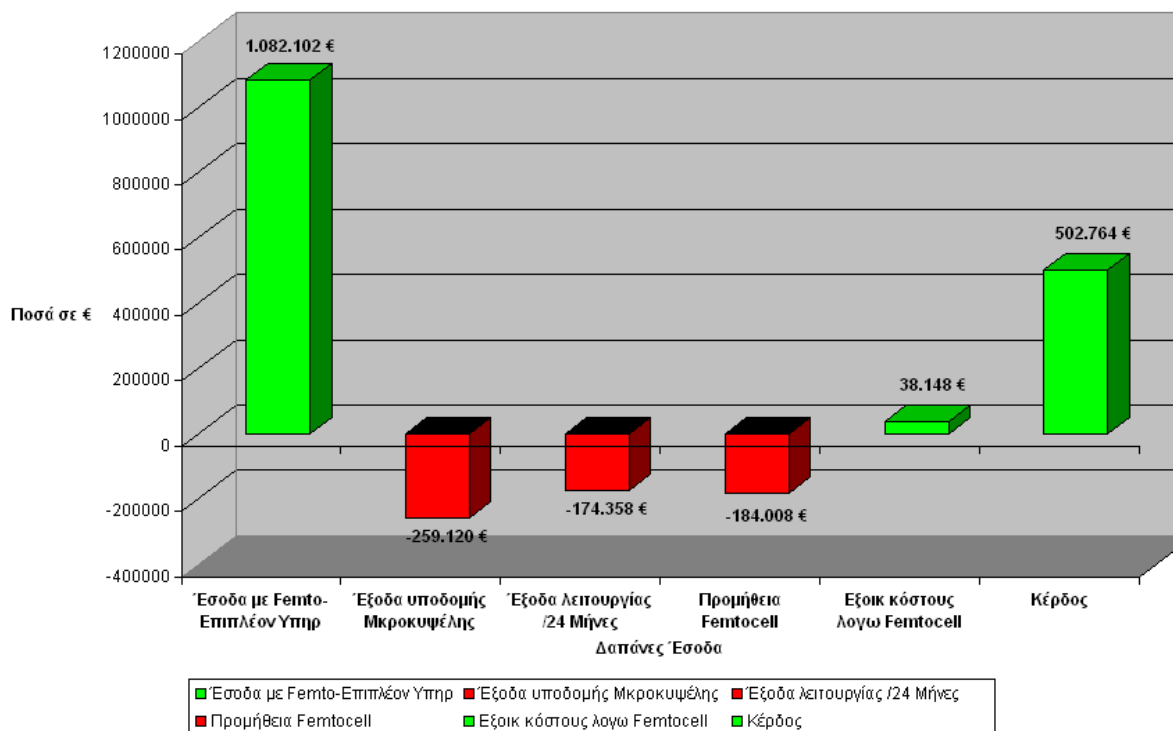
Στην συνέχεια, στην περίπτωση της προμήθειας όλων των κατοικιών με Femto, παρατηρούμε ότι παρά την αύξηση των εσόδων σε σχέση με την Εικόνα 37 και την εξοικονόμηση κόστους στην λειτουργία του δικτύου, έχουμε ζημία 39.162€.

Πιο αναλυτικά στην Εικόνα 38



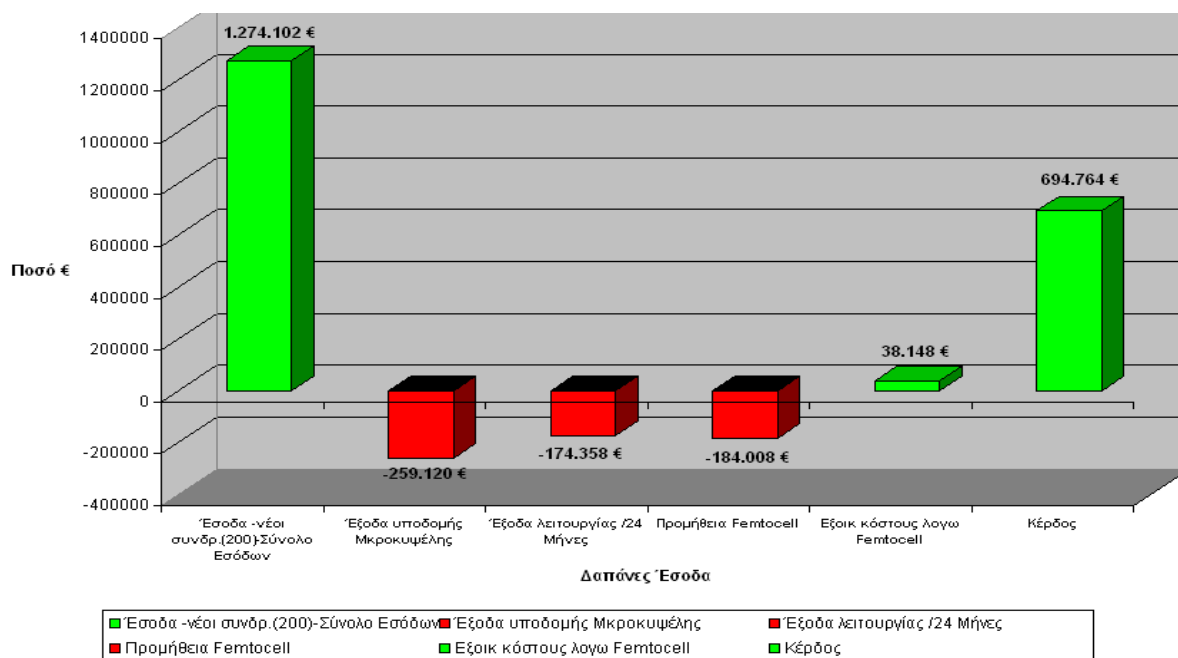
Εικόνα 38 :Προσαρμογή κέρδους με την προμήθεια Femto για όλες τις κατοικίες

Παρατηρούμε όμως, ότι με την προσφορά νέων υπηρεσιών και με τις προσαρμοσμένες προτάσεις προς στους συνδρομητές, σε διάρκεια 24 μηνών δεν έχουμε μόνο απόσβεση κεφαλαίου, αλλά και κέρδος περίπου 502.000€. Αναλυτικά στην Εικόνα 39.



Εικόνα 39 :Κέρδος παρουσίας Femto με εισηγήσεις νέων βελτιωμένων υπηρεσιών

Περαιτέρω, με την προσφορά νέων υπηρεσιών και με τις προσαρμοσμένες προτάσεις, σε συνδυασμό εγγραφής νέων συνδρομητών, σε διάρκεια 24 μηνών, έχουμε περαιτέρω βελτίωση των κερδών. Αναλυτικά στην Εικόνα 40.



Εικόνα 40 : Προσαρμογή κέρδους σε συνδυασμό βελτιωμένων υπηρεσιών & εγγραφή νέων συνδρομητών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ανακεφαλαίωση-Συμπεράσματα

6.1 Τεχνική Ανάλυση

6.1.1 Αλληλεπίδραση με το υπάρχον δίκτυο-Ανακεφαλαίωση

Όσο πιο κοντά βρίσκεται η Femtocell στον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης, τόσο αυξάνονται τα επίπεδα των παρεμβολών στα FUE, από την κάτω ζεύξη της Μακροκυψέλης. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στην απόσταση μεταξύ FUE και FAP και κατά επέκταση στο όριο κάλυψης της Femtocell. Βέβαια, συμπεραίνεται από το Πίνακα 5 ότι για σταθερή απόσταση μεταξύ MNB και FUE, το όριο κάλυψης της Femtocell βελτιώνεται με την αύξηση της ισχύος του FAP, οπότε όσο πιο κοντά βρίσκεται η Femto και ο χρήστης FUE στο MNB, τόσο θα πρέπει να αυξάνεται και η ισχύς του FAP. Έτσι, το FUE παραμένει συνδεδεμένο στο FAP και βελτιώνεται και η περιοχή κάλυψης της Femtocell. Είναι προφανές, ότι όσο αυξάνεται η απόσταση MNB από FUE&FAP, έχουμε μείωση παρεμβολών, και βέβαια απαιτείται λιγότερη ισχύς από το FAP, για την εξυπηρέτηση των FUEs που είναι συνδεδεμένα σε αυτό.

Παρατηρήθηκε επίσης, ότι η παρεμβολή της κάτω ζεύξης της Μακροκυψέλης επηρεάζει και τον ρυθμό μετάδοσης της άνω ζεύξης της Femtocell. Όσο μειώνεται η απόσταση FUE-MNB, τόσο αυξάνεται η παρεμβολή, οπότε για σταθερό $P_{HS-DSCH}$ έχουμε μείωση του SNR και κατά επέκταση του ρυθμού μετάδοσης της άνω ζεύξης. Από την Εικόνα 8, μπορεί να παρατηρήσει κανείς, ότι για δεδομένη απόσταση MNB&FUE, ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται και από την απόσταση του FUE-FAP.

Έτσι, τόσο το όριο κάλυψης της Femtocell, όσο και ο ρυθμός μετάδοσης της άνω ζεύξης FUE, εξαρτάται από την απόσταση της Femtocell από το MNB, αλλά και του FUE από το FAP, καθώς και από την ισχύ της άνω ζεύξης του FAP.

Η μικρή απόσταση μεταξύ Femtocell και MNB, δημιουργεί προβλήματα και στο ίδιο το MNB, (από την άνω ζεύξη της Femtocell). Το FUE εκπέμπει υψηλή ισχύ για να μείνει συνδεδεμένο στην Femtocell, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου του θορύβου στον σταθμό βάσης της Μακροκυψέλης (Εικόνα 19). Επίσης, η αύξηση του θορύβου είναι ιδιαίτερα αισθητή, στην περίπτωση που η απαίτηση του ρυθμού μετάδοσης μεταξύ FUE-FAP είναι υψηλή, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 20.

Οι παρεμβολές (κάτω ζεύξη), από το υπάρχον Μακροκυψελωτό δίκτυο, δεν οφείλονται μόνο στην μικρή απόσταση της Femto με MNB. Παρεμβολές, μπορεί να έχουμε και από την άνω ζεύξη της Μακροκυψέλης, ιδιαίτερα όταν ένα MUE βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης της Femtocell και ταυτόχρονα στα όρια κάλυψης

του Μακροκυβελωτού δικτύου. Το MUE, αναγκάζεται να εκπέμπει σε μέγιστη ισχύ για να παραμείνει συνδεδεμένο στην Μακροκυβέλη, με αποτέλεσμα την παρεμβολή της Femtocell.

Εδώ είναι προφανές, ότι τα επίπεδα παρεμβολής στο FAP αυξάνονται καθώς πλησιάζει το MUE το FAP (Εικόνα 10). Άμεση συνέπεια είναι η μείωση του Eb/No στην Femtocell, όποτε το FUE, αναγκάζεται να αυξήσει την ισχύ της άνω ζεύξης, για να διατηρήσει του επιθυμητό Eb/No (Εικόνα 11). Επίσης, επισημάνθηκε ότι για δεδομένη απόσταση FUE-Femto, όσο μεγαλώνει η απόσταση MUE-Femto, βελτιώνεται το DPDCH Eb/No, οπότε και ο ρυθμός μετάδοσης. Βέβαια εδώ παίζει ρόλο και η απόσταση FUE-FAP. Το χειρότερο σενάριο είναι η απομάκρυνση FUE-FAP ενώ το MUE πλησιάζει την Femtocell.

Η απόσταση MUE- FAP, επηρεάζει και τα επίπεδα παρεμβολής στο MUE από την κάτω ζεύξη της Femtocell. Εδώ από τις Εικόνες 14&15 συμπεραίνεται ότι όσο μεγαλώνει η ισχύς του Femto, τόσο μεγαλώνει η ελάχιστη απόσταση στην οποία μπορεί να πλησιάσει το MUE το FAP, έτσι ώστε να μην είναι αισθητή η παρεμβολή. Από την Εικόνα 17, είδαμε επίσης, ότι η ισχύς του FAP επηρεάζει και τον ρυθμό μετάδοσης της κάτω ζεύξης. Η πιθανότητα μείωσης του ρυθμού μετάδοσης αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος του FAP.

6.1.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ Femtocell- Παρατηρήσεις

Παρεμβολές δεν εμφανίζονται μόνο μεταξύ της Femtocell και του υπάρχοντος δικτύου, αλλά και μεταξύ των Femtocell, ιδιαίτερα όταν είναι κοντά, π.χ. διπλανά διαμερίσματα

Η μία περίπτωση που παρουσιάστηκε είναι όταν ο χρήστης μιας Femtocell πλησιάζει την περιοχή κάλυψης ή το FAP μιας άλλης Femtocell. Είδαμε εδώ ότι η Femtocell, της οποίας το FUE δέχεται την παρεμβολή από την κάτω ζεύξη της διπλανής Femto, αυξάνει την ισχύ της, για να διατηρήσει την επικοινωνία με FUE, ανάλογα βέβαια με την απόσταση του FUE με την Femtocell, που προκαλεί την παρεμβολή (Εικόνα 22). Βέβαια γενικότερα και μελετώντας και την επίπτωση των γειτονικών Femtocell στον ρυθμό μετάδοσης (σε μία Femto), είδαμε στην Εικόνα 24 ότι η παρουσία γειτονικών Femto μειώνουν τον ρυθμό έναντι της περίπτωσης μη παρουσίας Femto ιδιαίτερα μάλιστα όταν οι απώλειες του σήματος μεταξύ των δύο Femto είναι μικρές (Περίπτωση Flat).

Εδώ εξετάστηκε και η περίπτωση η άνω ζεύξη μιας Femtocell να παρεμβάλει το FAP γειτονικής Femtocell καθώς το πλησιάζει, οπότε με βάση την Εικόνα 28, βλέπουμε ότι υπάρχει μια ελάχιστη απόσταση πέρα από την οποία είναι αισθητή η

παρεμβολή στο FAP, ανάλογα βέβαια πόσο το FUE που προκαλεί την παρεμβολή, απομακρύνεται από στο σταθμός βάσης του (FAP).

6.1.3 Συμπεράσματα-Προτάσεις

1. Η ισχύς του FAP, πρέπει να προσαρμόζεται ανά περίπτωση και να μην παραμένει σταθερή, έτσι ώστε να μειώνονται οι παρεμβολές τόσο στα MUE όσο και στο MNB, αλλά και για εξοικονόμηση ενέργειας. Η προσαρμογή της ισχύος σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται από την απόσταση τόσο του FUE που εξυπηρετεί το FAP, όσο και από την απόσταση της Femtocell από το MNB ή το MUE. Βέβαια ο έλεγχος ισχύος αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος δικτύου.
2. Όταν ένα MUE βρίσκεται στα όρια κάλυψης της Μακροκυψέλης, αλλά και στην περιοχή κάλυψης μιας Femtocell, εκπέμπει σε μέγιστη ισχύ προκαλώντας παρεμβολή στα FUE, αλλά και στο FAP. Σε αυτές τις περιπτώσεις, προτείνεται η μεταπομπή του MUE σε κοντινότερο MNB ή σε ένα MicroNB η ακόμη και στην Femtocell (Ανοιχτή Πρόσβαση)[28].
3. Ιδιαίτερα προβλήματα παρουσιάζονται στο ακραίο σενάριο, που η Femtocell είναι πολύ κοντά σε ένα MNB, όπου απαιτείται το FAP να εκπέμπει μεγαλύτερη ισχύ (κάτω ζεύξη Femtocell), για να διατηρεί τα επιθυμητά επίπεδα E_c/N_0 , έτσι ώστε να διατηρείται η σύνδεση με τα FUE. Το ίδιο ισχύει και για το FUE, όσο αφορά την ισχύ της άνω ζεύξης, προκαλώντας την αύξηση των επιπέδων θορύβου στο MNB. Εκτός αυτού, ίσως η ισχύς που απαιτείται από το FUE ή από το FAP, να είναι πάνω από τις δυνατότητές τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, προτείνεται η μεταπομπή του FUE στην Μακροκυψέλη.
4. Στην περίπτωση των γειτονικών Femtocells, είναι αναγκαία η ύπαρξη δυνατότητας της προσαρμογής της ισχύος. Εκμεταλλευόμενοι την συγκεκριμένη δυνατότητα, η ισχύς θα πρέπει προσαρμόζεται έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη έως τα όρια του διαμερίσματος. Έτσι, όταν το FUE περνά σε διπλανό διαμέρισμα θα συνδέεται στην Μακροκυψέλη οπότε τότε έχουμε τις συνθήκες του Σεναρίου Α' αλλά χωρίς προβλήματα όταν είναι μακριά από το MNB.
5. Εάν ένας χρήστης επιθυμεί υπηρεσία με απαιτητικό ρυθμό, είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, όταν η Femtocell είναι κοντά στο MNB. Η κατάσταση επιβαρύνεται όσο απομακρύνεται το FUE από το FAP. Είδαμε επίσης, ότι η άνω ζεύξη της Femtocell προκαλεί την αύξηση του θορύβου στο MNB. Εδώ,

με την μεταπομπή στην Μακροκυψέλη αυξάνεται η πιθανότητα να υποστηριχτεί η επιθυμητή υπηρεσία.

6. Για τις απαιτητικές σε χωρητικότητα υπηρεσίες από τις Femtocell, ιδανικό όπως ειπώθηκε και πριν, είναι να μην υπάρχει παρεμβολή από την Μακροκυψέλη και από τις γειτονικές Femtocell (Εικόνα 24,25). Έτσι, προτιμάται ο έλεγχος ισχύος της Femtocell στα όρια του διαμερίσματος, αλλά και τοποθέτησή των FAP σε σημεία του κτιρίου, όπου οι απώλειες σημάτων από έξω να μεγιστοποιούνται.
7. Με την μεταπομπή χρηστών από την Μακροκυψέλη στην Femtocell μειώνονται οι παρεμβολές με αποτέλεσμα να αυξάνεται το QoS στην Μακροκυψέλη.
8. Η παρουσία Femtocell σε μια περιοχή, περιορίζει τον ρυθμό μετάδοσης της Μακροκυψέλης, ειδικά όταν δεν έχουμε προσαρμογή στην ισχύ και κατά επέκταση στα όρια κάλυψης της Μακροκυψέλης.
9. Γενικά είναι σαφές ότι η ομοδιαυλική παρεμβολή περιορίζεται με την προσαρμογή της ισχύος της Femtocell, ενώ έχουμε βελτιωμένη φασματική απόδοση. Λόγω της μικρής ακτίνας κάλυψης, είναι δυνατό η συχνή επαναχρησιμοποίηση φάσματος σε σχέση με την Μακροκυψέλη, με λιγότερο κόστος, αυξάνοντας την χωρητικότητα.

Παρατηρήσεις:

Βέβαια μελετώντας τα σενάρια στην τεχνική μελέτη θα μπορούσε να πει κανείς ότι ίσως να υπάρχουν προβλήματα παρεμβολών, αλλά και περιορισμός στον ρυθμό μετάδοσης με άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα των υπηρεσιών. Η πιθανότητα όμως να συμβούν τα συγκεκριμένα σενάρια είναι μικρή, αφού μιλάμε για ακραία σενάρια (worst case), οπότε τα συγκεκριμένα προβλήματα είναι πολύ λιγότερα πιθανά να συμβούν από εκείνα λόγω της παρουσίας μόνο της Μακροκυψέλης.

6.2 Οικονομική Ανάλυση

Στόχος του παρόχου είναι η διατήρηση των πελατών του, η ικανοποίηση των απαιτήσεων κάλυψης και χωρητικότητας, αλλά και η προσέλκυση νέων. Βέβαια όσο αφορά την εγγραφή νέων συνδρομητών στην Μακροκυψέλη, υπάρχει ο περιορισμός της μέγιστης χωρητικότητας του δικτύου. Εκτός αυτού στόχος αποτελεί η απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης, προτείνοντας όμως λογικές προτάσεις χρέωσης στους συνδρομητές.

Έτσι ο πάροχος καλείται να εξετάσει την τεχνολογία Femtocell για την βελτίωση των υπηρεσιών αλλά και για την μεταπομπή χρηστών από την Μακροκυψέλη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εγγραφή νέων συνδρομητών, αλλά και η βελτίωση των υπηρεσιών τους. Είναι προφανές ότι σημαντικό ρόλο στην διάδοση της τεχνολογίας παίζει η οικονομική στρατηγική που θα ακολουθήσει ο πάροχος, από την οποία μάλιστα εξαρτάται ο χρόνος παραμονής του συνδρομητή στο δίκτυο ως πελάτης.

Η συνδρομή του χρήστη αυξάνεται αλλά η αύξηση αντισταθμίζεται με την βελτίωση των υπάρχουσων υπηρεσιών αλλά και με την προσθήκη νέων υπηρεσιών (δωρεάν χρόνο ομιλίας κτλ). Λόγω της εξοικονόμησης της λειτουργίας του δικτύου βελτιώνεται και η οικονομική πρόταση στον συνδρομητή (Εικόνες 33, 34).

Από την Εικόνα 35 βλέπουμε ότι με την χρήση της Femtocell αυξάνονται σταδιακά τα έσοδα μαζί βέβαια με τις προσφερόμενες υπηρεσίες αλλά και με την εγγραφή νέων πελατών, παρουσιάζοντας τελικά κέρδος στο όριο του 24μήνου αφήνοντας περιθώρια μείωσης της συνδρομής των χρηστών.

Ο συνδρομητής βλέπει την συνδρομή του να αυξάνεται, αυτό όμως αντισταθμίζεται όμως όπως ειπώθηκε και πριν βλέποντας τις υπηρεσίες του να βελτιώνονται, με τον απεριόριστο χρόνο ομιλίας, με την φθηνότερη χρέωση ανά μονάδα MB σε σχέση με την Μακροκυψέλη. Έτσι όταν θέλει να μεταδώσει δεδομένα ή να μιλήσει προτιμά να το κάνει όταν βρεθεί στα όρια κάλυψης της Femtocell.

7. Βιβλιογραφία

1. Femto Forum, «Interference Management in UMTS Femtocells», December 2008
2. Femto Forum «Femtocell Business Case Whitepaper» June 2009.
3. Harri Holma & Antti Toskala , «WCDMA For UMTS 3rd Edition», WILEY, 0-470-87096-6,
4. H. Holma and A. Toskala, «HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile»
5. J. Wiley & Sons, Ltd, Jie Zhang & Guillaume de la Roche, «Femtocells Technologies and Deployment », 2006.
6. Fabio M. Chiusi, Dimitris Logothetis, Indra Widjaja, Deepak Kataria, «Femtocells» , IEEE Communications Magazine, Vol 48, No1, January 2010.
7. Tommi Heikkla , «HSDPA Radio Network Planning», S-72.4210 PG Course in Radio Communications, 45444T.
8. ESG, «Aspects of HSUPA Network Planning», 80-W1159-1 Revision B
9. Sanjeev Verma, Catharine Trebnick «The Business Case For Femtocells», June 2008,.
10. «Wireless Base Stations Utilizing Femtocells», IEEE Communications Magazine, Vol 47, No 9, September 2009.
11. Jane-Hwa Huang, «An Introduction to Femtocells», Department of Communications Engineering National Chiao Tung University Hsinchu,Taiwan
12. T Jim Zyren and Al Petrick, «Tutorial on Link Budget Analysis», AN9804.1, June 1998.
13. Guang Han «Distributes Power Control Mechanism for HSDPA Femtocells»
14. «Simulation results for the Home NodeB downlink performance within the block of flats scenario», Ericsson, 3GPP TSG- RAN Working Group 4 (Radio) meeting #46, February, 2008 [R4-080149]
15. 3GPP, «Radio Frequency (RF) system scenarios», 3rd Generation Partnership Project, Technical © 2008 Femto Forum Limited.[TR25.942] Specification Group Radio Access Networks, TR25.942, v.7.0.0, 03- 2007
16. 3GPP, «Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)», 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Networks, TR 25.104, v7.9.0, 01- 2008. .
17. 3GPP «Technical Specification Group Radio Access Networks Requirements

- for Support of Radio Resource Management (FDD)», 3rd Generation Partnership Project, (Release 5), TS 25.133 V5.1.0 (2001-12).
18. William Stallings, «Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα», Εκδόσεις Τζιόλα
 19. Theodore S Rappaport «Ασύρματες Επικοινωνίες» , 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας.
 20. Mervi Berner , «HSDPA, Improving thw WCDMA downlink» , 20.12.2005.
 21. Χρήστος Ι Μπούρας, « Lecture Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών, HSPA<E,» , Πανεπιστήμιο Πατρών.
 22. Fabio Providente, «The TETRA Business Case», October 2007
 23. Διαμόρφωση Διασκορπισμού Φάσματος (Spread Spectrum), Γεώργος Τσούλος, 5th Lecture «Σύγχρονα Συστήματα Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών.»
 24. Εισαγωγή Στην Τεχνική Πολλαπλών Φερόντων, Γεώργος Τσούλος, 6th Lecture «Σύγχρονα Συστήματα Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών.»
 25. Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος, «Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών», Κεφ 4,8.
 26. Doru Calin, Holger Claussen, Huseyin Uzunalioglu, Alcatel-Lucent, «On Femto Deployment Architectures and Macrocell Offloading Benefits in Joint Macro-Femto Deployments», IEEE Communications Magazine, January 2010
 27. Guillaume de la Roche, Alvaro Valcarce, David. Lopez-Perez, Zie Zhang, «Access Control Mechanism for Femtocells», IEEE Communications Magazine, January 2010.
 28. Jay Weitzen, Theodore Grosch, Airvana, «Comparing Coverage Quality for Femtocell and Macrocell Broadband Data Services», IEEE Communications Magazine, January 2010.
 29. «Femtocells», Guest Editorial, IEEE Communications Magazine, September 2009,.
 30. Arunabha Ghosh and Richard A. Kobylnski, «Advanced Receiver Architecture for HSDPA and performance benefits»,SBC Laboratories Inc, Austin TX, 2005.
 31. 3GPP, « User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)» 3rd Generation Partnership Project Technical Specification Group Radio Access Network (Release 9), TS 25.101 V9.4.0 (2010-06).