



ΑΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

**Κατασκευή Ασύρματου Δικτύου με τη χρήση της
τεχνολογία Wimax**



ΠΑΠΙΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ (Α.Μ.:8318)
ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΡΤΖΙΩΤΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

ΑΡΤΑ, 2014

Copyright © Σωτήριος Δ. Παππάς, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή μέρος αυτής, για εμπορικούς σκοπούς. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του ΑΤΕΙ Άρτας.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου και επόπτη καθηγητή κ. Βαρτζιώτη Φώτιο ο οποίος καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας με καθοδήγησε και μεταδοτικότητα βοήθησε τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της.

Θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον πατέρα μου Δημήτρη, την μητέρα μου Ασπασία και την αδερφή μου Θεοδώρα οι οποίοι όλα αυτά τα χρόνια με βοήθησαν να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου και ήταν δίπλα μου σε όλες τις δύσκολες στιγμές.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου που με βοήθησαν όλα αυτά τα χρόνια να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Η πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στην γυναίκα μου Ευαγγελία.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε για να παρατηρήσει τις πιθανές λύσεις που υπάρχουν για την κατασκευή ενός ασύρματου δικτύου σε περιοχές στις οποίες είναι πολύ δύσκολη και πολύ ακριβή η παροχή νέων καλωδίων χαλκού ή οπτικών ινών.

Κατά συνέπεια στόχος είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση του προτύπου IEEE 802.16 (Wimax) και η προσομοίωση ενός δικτύου με δύο διαφορετικά λογισμικά, OPNET Modeler και Radio Mobile.

Την τελευταία δεκαετία τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας. Μαζί με τα ενσύρματα δίκτυα οπτικών ινών αποτελούν τις επικοινωνίες του μέλλοντος. Οι δύο τεχνολογίες δεν είναι ανταγωνιστικές αλλά θα λέγαμε ότι συμπληρώνουν η μία την άλλη.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα δούμε βήμα-βήμα την εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου με την τεχνολογία Wimax σε μία περιοχή στην οποία δεν υπάρχει η δυνατότητα παροχής σύνδεσης μέσω καλωδίων χαλκού ή οπτικών ινών.

Συγκεκριμένα στο θεωρητικό κομμάτι αναλύουμε για ποιους λόγους επιλέγουμε την τεχνολογία Wimax έναντι των άλλων ανταγωνιστικών τεχνολογιών. Επίσης παρουσιάζουμε την οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.16. Επίσης αναλύουμε την πολλαπλή πρόσβαση OFDMA, την πολυπλεξία OFDM, τις τεχνικές TDD-FDD, το QoS (Quality of Service) στο MAC layer και ανάλυση των τύπων ποιότητας υπηρεσιών (UGS, rtPS, ErtPS, nrtPS, Best Effort). Επίσης θα αναλύσουμε τις απαιτήσεις των χρηστών αυτής της περιοχής, θα παρουσιάσουμε ποιες υπηρεσίες θα παρέχουμε στους χρήστες και στο πειραματικό κομμάτι θα συλλέξουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων και θα καταλλήξουμε στα ανάλογα συμπεράσματα.

Στο πειραματικό κομμάτι θα σχεδιάσουμε και θα προσομοιώσουμε με τα δύο λογισμικά που αναφέραμε πιο πάνω ένα δίκτυο Wimax σε μία περιοχή με λοφώδες έδαφος και υψηλή πυκνότητα δέντρων, θα παρατηρήσουμε και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Λέξεις Κλειδιά

Wimax, OFDM, OFDMA, QoS, Τύποι ποιότητας υπηρεσίας, IEEE 802.16, OPNET Modeler, Radio Mobile, MAC layer.

Περιεχόμενα

Προσωπικά Δικαιώματα	ii
Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	viii
<u>Περιεχόμενα</u>	v
Κατάλογος Πινάκων	vi
Κατάλογος Σχημάτων	vi
<u>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</u>	1
<u>Κεφάλαιο 2:Wimax</u>	3
2.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία Wimax	3
2.1.1 Το πρότυπο IEEE 802.16-2001	5
2.1.2 Το πρότυπο IEEE 802.16c	5
2.1.3 Το πρότυπο IEEE 802.16a	5
2.1.4 Το πρότυπο IEEE 802.16-2004	6
2.1.5 Το πρότυπο IEEE 802.16e	6
2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	6
2.2.1 OFDM	9
2.2.2 OFDMA	10
2.3 FDD – TDD	10
2.3.1 FDD	11
2.3.2 TDD	11
2.4 Ταχύτητες και εμβέλεια Wimax	12
2.5 QoS και Wimax	13
2.5.1 Τύποι Υπηρεσίας	14
2.5.1.1 UGS (Unsolicited Grant Services)	14
2.5.1.2 rtPS (Real-Time Polling Services)	14
2.5.1.3 nrtPS (Nonreal-time Polling Services)	14
2.5.1.4 BE (Best Effort)	15
2.5.1.5 ErtPS (Extended real-time Pollong Services)	15

2.6 Ασφάλεια μετάδοσης Wimax.....	15
2.6.1 Authentication.....	15
2.6.2 Encryption.....	16
2.7 Ζώνες Συχνότητων.....	16
2.7.1 Αδειοδοτημένη Ζώνη Συχνότητων.....	17
2.7.2 Μη Αδειοδοτημένη Ζώνη Συχνότητων.....	17
<u>Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση Δικτύου</u>	
3.1 Προσομοίωση Δικτύου στο Opnet Modeler.....	18
3.2 Προσομοίωση Δικτύου στο Radio Mobile.....	44
<u>Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</u>	
4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων στο Opnet Modeler.....	54
4.2 Κόστος Επιχειρηματικού Σχεδίου.....	59
<u>Κεφάλαιο 5:</u>	
5.1 Συμπεράσματα.....	63
<u>Βιβλιογραφία.....</u>	65

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 2-1 : Υποπρότυπα IEEE 802.16
- Πίνακας 4-1 : Απαιτήσεις Υπηρεσιών σε Throughput
- Πίνακας 4-2 : Συντελεστές υπολογισμού ετήσιων τελών χρήσης
- Πίνακας 4-3 : Δαπάνες υλοποίησης δικτύου
- Πίνακας 4-4 : Πάγιες δαπάνες δικτύου
- Πίνακας 4-5 : Δαπάνες συνδρομητή

Κατάλογος Σχημάτων

- Σχήμα 2-1 : Τρόπος λειτουργίας Wimax
- Σχήμα 2-2 : Λειτουργία Wimax Backhaul
- Σχήμα 2-3 : Λειτουργία NLOS (Non Line of Sight)
- Σχήμα 2-4 : Λειτουργία LOS (Line of Sight)
- Σχήμα 2-5 : Λειτουργία FDD
- Σχήμα 2-6 : Λειτουργία TDD
- Σχήμα 2-7 : Εμβέλεια Wimax και WiFi
- Σχήμα 2-8 : Χάρτης ζωνών συχνοτήτων παγκοσμίως
- Σχήμα 3-1 : Δημιουργία project σε Ornet Modeler
- Σχήμα 3-2 : Ονομασία project και scenario
- Σχήμα 3-3 : Δημιουργία ενός κενού σεναρίου
- Σχήμα 3-4 : Επιλογή γεωγραφικής περιοχής
- Σχήμα 3-5 : Επιλογή χάρτη της Ευρώπης
- Σχήμα 3-6 : Επιλογή τεχνολογίας που θα χρησιμοποιήσουμε στο project
- Σχήμα 3-7 : Ολοκλήρωση Δημιουργίας Project
- Σχήμα 3-8 : Χάρτης περιοχής που επιλέξαμε να δημιουργήσουμε το project
- Σχήμα 3-9 : Object pallette όπου βλέπουμε τα εργαλεία του Wimax
- Σχήμα 3-10 : Εργαλεία του Wimax που θα χρησιμοποιήσουμε
- Σχήμα 3-11 : Επιλογή Point-to-point σύνδεσης
- Σχήμα 3-12 : Παραμετροποίηση Wimax Configuration
- Σχήμα 3-13 : Παραμετροποίηση Application Definition

- Σχήμα 3-14 : Έναρξη παραμετροποίησης λειτουργιών**
- Σχήμα 3-15 : Δημιουργία εφαρμογών που θα προσφέρουμε στους χρήστες**
- Σχήμα 3-16 : Παραμετροποίηση Video Applicaton**
- Σχήμα 3-17 : Επιλογή High Resolution Video**
- Σχήμα 3-18 : Παραμετροποίηση ToS (Type of Service)**
- Σχήμα 3-19 : Παραμετροποίηση Frame Size Information**
- Σχήμα 3-20 : Frame Size Information**
- Σχήμα 3-21 : Επιλογή PCM Quality and Silence Suppressed στο VoIp Application**
- Σχήμα 3-22 : Επιλογή Interactive Voice για ToS (Type of Service)**
- Σχήμα 3-23 : Ρυθμίσεις ToS (Type of Service)**
- Σχήμα 3-24 : Ρυθμίσεις για HTTP Application**
- Σχήμα 3-25 : Επιλογή Heavy Browsing για την HTTP υπηρεσία**
- Σχήμα 3-26 : Επιλογή ToS σε Best Effort για HTTP Application**
- Σχήμα 3-27 : Δημιουργία προφίλ στο Profile Definition**
- Σχήμα 3-28 : Παραμετροποίηση Profile Definition (1)**
- Σχήμα 3-29 : Παραμετροποίηση Profile Definition (2)**
- Σχήμα 3-30 : Παραμετροποίηση του Wimax Configuration**
- Σχήμα 3-31 : Δημιουργία κλάσεων στο QoS**
- Σχήμα 3-32 : Εκχώρηση τύπου ποιότητας υπηρεσίας στο χρήστη**
- Σχήμα 3-33 : Παραμετροποίηση σταθμού βάσης**
- Σχήμα 3-34 : Λειτουργίες σταθμού βάσης**
- Σχήμα 3-35 : Παραμετροποίηση των server του δικτύου**
- Σχήμα 3-36 : Δημιουργία υπηρεσιών που προσφέρει ο server**
- Σχήμα 3-37 : Επιλογή υπηρεσίας server**
- Σχήμα 3-38 : Δημιουργία Video Server**
- Σχήμα 3-39 : Ρυθμίσεις για τη λειτουργία του HTTP Server**
- Σχήμα 3-40 : Παραμετροποίηση των κόμβων**
- Σχήμα 3-41 : Λειτουργίες σταθμού συνδρομητή**
- Σχήμα 3-42 : Ρυθμίσεις σταθμού συνδρομητή**
- Σχήμα 3-43 : Υπηρεσίες τις οποίες θα παρέχονται στο χρήστη**

Σχήμα	3-44	: Παροχή VoIP Application στο χρήστη 1
Σχήμα	3-45	: Ρυθμίσεις για την προσομοίωση του δικτύου
Σχήμα	3-46	: Τελική μορφή του δικτύου μας στο χάρτη
Σχήμα	3-47	: Δημιουργία Δικτύου σε Radio mobile
Σχήμα	3-48	: Ρυθμίσεις Σταθμών βάσης και σταθμών συνδρομητών
Σχήμα	3-49	: Απεικόνιση του δικτύου στο χάρτη
Σχήμα	3-50	: Καταχώρηση συντεταγμένων
Σχήμα	3-51	: Παραμετροποίηση του δικτύου
Σχήμα	3-52	: Επιλογή τοπολογίας του δικτύου.....
Σχήμα	3-53	: Ζεύξεις μεταξύ των σταθμού βάσης 1 και συνδρομητών.....
Σχήμα	3-54	: Ζεύξεις μεταξύ σταθμού βάσης 2 και συνδρομητών.....
Σχήμα	3-55	: Ρυθμίσεις συστήματος του δικτύου.....
Σχήμα	3-56	: Τρισδιάστατη μορφή του δικτύου μας.....
Σχήμα	3-57	: Διαφορετικές μορφές χαρτών.....
Σχήμα	3-58	: Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (1)
Σχήμα	3-59	: Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (2)
Σχήμα	3-60	: Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (3)
Σχήμα	3-61	: Απεικόνιση ραδιοζεύξης μεταξύ σταθμού βάσης 1 και σταθμού συνδρομητή 7
Σχήμα	3-62	: Κάλυψη κόμβου 7 από τον σταθμό βάσης 1
Σχήμα	3-63	: Κακή ζεύξη μεταξύ σταθμού βάσης 1 και κόμβου 8
Σχήμα	3-64	: Απεικόνιση στο χάρτη όλων των ζεύξεων
Σχήμα	4-1	: Throughput του χρήστη 1
Σχήμα	4-2	: Καθυστέρηση (Delay) του χρήστη 1
Σχήμα	4-3	: Ζεύξη μεταξύ σταθμού βάσης 1 και χρήστη 1 σε Opnet
Σχήμα	4-5	: Παραμετροποίηση του Frame Size Information
Σχήμα	4-6	: Throughput του χρήστη 7
Σχήμα	4-7	: Delay του χρήστη 7
Σχήμα	4-8	: Throughput του χρήστη 9
Σχήμα	4-9	: Delay του χρήστη 9
Σχήμα	4-10	: Τροχιά χρήστη mobile node 1

Σχήμα 4-11 : Κεραία σταθμού βάσης

Σχήμα 4-12 : Εξοπλισμός συνδρομητή

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια και η ανάγκη για πρόσβαση ενός χρήστη σε αυτό από οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται κάνει την σταθερή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (Fixed Broadband Wireless Access - FBWA) μία πολύ καλή και αξιόλογη λύση έναντι των σταθερής ενσύρματης πρόσβασης (DSL) και μάλιστα με πολύ ανταγωνιστικούς ρυθμούς μετάδοσης.

Μέχρι σήμερα, η ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές επιτυγχάνεται, κυρίως, μέσω σταθερών δικτύων, βασισμένων σε καλωδιωμένες υποδομές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα κυβελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, στα οποία οι κινητοί σταθμοί επικοινωνούν μόνο με τους σταθμούς βάσης χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους ραδιοδιαύλους. Οι σταθμοί βάσης είναι υπεύθυνοι για τη διασύνδεση και την επιτυχημένη επικοινωνία των κινητών τερματικών. Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι η περίπτωση των φορητών υπολογιστών οι οποίοι συνδέονται στο Διαδίκτυο (Internet) μέσω σταθερών σημείων πρόσβασης (access points).

Οι ενσύρματες τεχνολογίες οι οποίες εμφανίστηκαν ως η ιδανική λύση για την κάλυψη τελευταίου μιλιού, εμφανίζουν ορισμένα μειονεκτήματα που η τεχνολογία ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης είναι σε θέση να τα ξεπεράσει. Βασικό μειονέκτημα είναι η χρήση της υπάρχουσας υποδομής, δηλαδή η χρήση των ήδη εγκατεστημένων χάλκινων καλωδίων και έτσι υπάρχουν περιορισμοί στην απόδοση. Η εγκατάσταση οπτικών ινών για να επιτυγχάνονται μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης και αυξημένη απόδοση είναι ένα πολύ μεγάλο κόστος και μία χρονοβόρα επιχειρηματική κίνηση. Αυτή την περίπτωση την συναντάμε σε αραιοκατοικημένες περιοχές όπου δεν υπάρχουν οι απαραίτητες ενσύρματες εγκαταστάσεις και ο αριθμός των πελατών είναι πολύ μικρός για να δικαιολογήσει την εγκατάσταση οπτικών ινών η οποία αποτελεί μία πολύ ακριβή επένδυση.

Η ασύρματη πρόσβαση πλέον είναι οι ιδανικότερη λύση, ιδιαίτερα για αραιοκατοικημένες περιοχές. Το WiFi ήταν η πρώτη λύση, η οποία αν και πολύ απλή στη χρήση, έχει ιδιαίτερους περιορισμούς σε σχέση με τους ρυθμούς μετάδοσης σε συνάρτηση και με την απόσταση.

Έτσι, κάτω από αυτές τις συνθήκες υπήρξε η ανάγκη για κάτι το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες των κινητών χρηστών με χαμηλό κόστος, υψηλή ποιότητα υπηρεσιών και με μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.

Όλα αυτά μας δείχνουν ότι το IEEE 802.16 (Wimax) είναι η ιδανική λύση ώστε να αντιμετωπιστούν όλα αυτά τα προβλήματα που υπάρχουν στις ενσύρματες τεχνολογίες αλλά και στο WiFi.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε και να παρουσιάσουμε την τεχνολογία του Wimax, να δημιουργήσουμε και να προσομοιώσουμε ένα δίκτυο σε μία μη αστική περιοχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλύσουμε την τεχνολογία του Wimax και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Θα ασχοληθούμε με όλα τα υποπρότυπα του IEEE 802.16, τις ζώνες συχνοτήτων, το QoS (Quality of Service), την ασφάλεια μετάδοσης του Wimax, τις τεχνικές διαμόρφωσης OFDM – OFDMA και τις τεχνικές διαχωρισμού σήματος FDD – TDD.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε και με τη βοήθεια εικόνων βήμα – βήμα την διαδικασία δημιουργίας και προσομοίωσης του δικτύου σε δύο διαφορετικά λογισμικά. Το OPNET Modeler και το Radio Mobile.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και βλέπουμε τις διαφορές που παρουσιάζονται ανάλογα με τις ρυθμίσεις λειτουργίας του δικτύου. Επίσης παρουσιάζουμε το κόστος του επιχειρηματικού σχεδίου ώστε να έχουμε μία εικόνα και στο οικονομικό κομμάτι μίας τέτοιας επιχειρηματικής κίνησης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο ολοκληρώνουμε αυτή την πτυχιακή εργασία με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές που έχουμε κάνει.

Κεφάλαιο 2

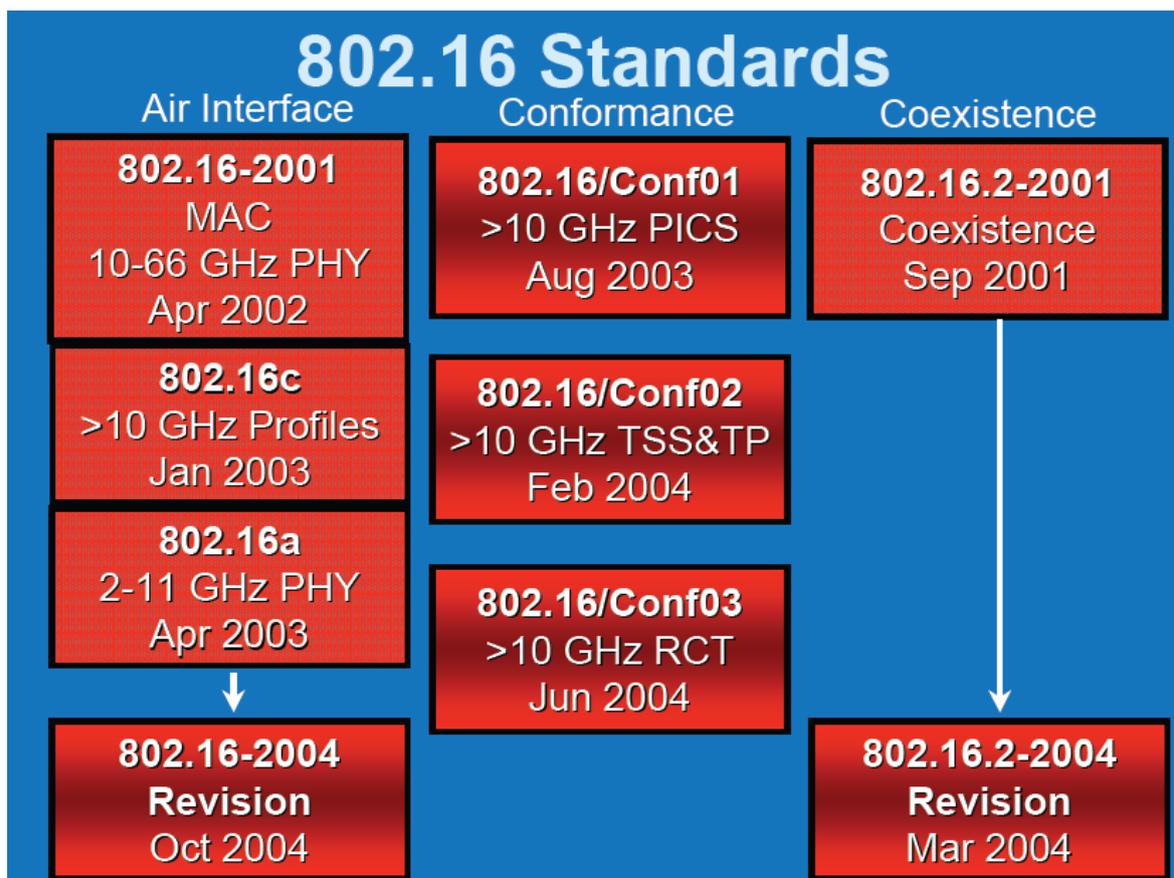
Τεχνολογία Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε την τεχνολογία που έχουμε επιλέξει για την δημιουργία του ασύρματου δικτύου και τους λόγους για τους οποίους επιλέξαμε την συγκεκριμένη τεχνολογία.

2.1 Wimax

Η τεχνολογία Wimax είναι η τελευταία λέξη της ασύρματης τεχνολογίας η οποία επικεντρώνεται πλήρως στα ασύρματα πρότυπα. Η ταχύτητα του, η κάλυψη, και η IP integration συνδυάζονται για να κάνουν την τεχνολογία Wimax μία εξαιρετική επιλογή για υπηρεσίες τηλεφωνίας και για την προσθήκη νέων υπηρεσιών σε αρχιτεκτονικές σταθερού δικτύου.

Το 802.16 αρχικά δημιουργήθηκε για την παροχή μιας σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης με τεχνικές point-to-point και point-to-multipoint. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του αποφασίστηκε πως πρέπει να υποστηρίζει και το mobility.



Πίνακας 2-1 : Υποπρότυπα IEEE 802.16

Επειδή το πρότυπο 802.16 προσδιορίζει διαφοροποιεί μόνο τα PHY και MAC επίπεδα, κρίθηκε αναγκαίο μία end-to-end αρχιτεκτονική με σκοπό την πολύ γρήγορη ανάπτυξη στα παραγόμενα προϊόντα σχετικά με την τεχνολογία, τη διαλειτουργικότητα και την ταχεία είσοδο στις αγορές.

Έτσι το Wimax Forum ανέπτυξε μία ομάδα NWG (Network Working Group) με σκοπό την ανάπτυξη ενός end-to-end μοντέλου αναφοράς με αρχιτεκτονική βασισμένη στο IP supporting για Fixed και για Mobile Wimax. (www.cisco.com)

Σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς NWG ένα Wimax δίκτυο είναι χωρισμένο σε τρία ανεξάρτητα αρχιτεκτονικά επίπεδα:

- 1) CPE (Customer Premises Equipment) εξοπλισμός χρήστη
- 2) RAN (Radio Access Network) βασισμένο στο 802.16 πρότυπο και
- 3) Δίκτυο παροχής IP υπηρεσιών με το διαδίκτυο.

Κάθε ένα από αυτά τα τρία συστατικά μέρη ενός δικτύου μπορούν να διοικούνται και να αναπτύσσονται από διάφορους παροχείς υπηρεσιών. Αυτό κάνει την αρχιτεκτονική του δικτύου ευέλικτη, διευκολύνει τη λειτουργία και τη συντήρηση του δικτύου, μπορεί υπό προϋποθέσεις να αυξήσει τον ανταγωνισμό και να ανοίξει το δρόμο για νέα επιχειρηματικά μοντέλα. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες ασύρματες τεχνολογίες, σε ένα δίκτυο Wimax πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν οι IP υπηρεσίες. (Στεφάνου Κωνσταντίνος, Διπλωματική Εργασία, «Σχεδίαση και προσομοίωση συστήματος WiMAX», Ιούλιος 2006).

Πράγματι λοιπόν, την τελευταία δεκαετία οι IP υπηρεσίες παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Σκοπός αυτής της κατάστασης θα είναι η αντιμετώπιση λιγότερων προβλημάτων από τους παρόχους υπηρεσιών και τους κατασκευαστές εξοπλισμού κατά την εξέλιξη του Wimax.

Αρχικά, το Wimax θεωρήθηκε από ορισμένους μία αντικατάσταση της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας. Μία σημαντική θεωρία χρησιμοποιούσε VoIP (Voice-over-IP) για τις φωνητικές κλήσεις, όπου η φωνή ήταν μία άλλη υπηρεσία πάνω στο δίκτυο δεδομένων. Αυτό το μοντέλο ήρθε σε αντίθεση με την υπάρχουσα κυψελοειδή υπηρεσία όπου τα δεδομένα ήταν ένα συμπλήρωμα πάνω σε μία τεχνολογία η οποία η βασική της υπηρεσία ήταν η TDM-based φωνή.

Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία του Wimax γίνεται όλο και πιο προφανές ότι δημιουργήθηκε και προορίζεται για παροχή υπηρεσιών δεδομένων και φωνής σε περιοχές στις οποίες είναι δύσκολο να τοποθετηθούν νέα νέα καλώδια.

Η τεχνολογία Wimax διαθέτει προηγμένα συστήματα “έξυπνων” κεραιών και την λειτουργία MIMO (multiple-input multiple-output). Επιτρέπει παροχή υπηρεσιών multi-megabit, αυξημένη κάλυψη και μεγαλύτερη εσωτερική διείσδυση και έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- 1) Παρέχονται στους συνδρομητές υψηλής ποιότητας ασύρματες υπηρεσίες (QoS)
- 2) Οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν λιγότερες επιδιορθώσεις βλαβών, συντόμευση του χρόνου διάθεσης στις αγορές νέων υπηρεσιών καθώς και βελτίωση του κόστους.

Το Wimax λοιπόν παρέχει μία πλήρη σουίτα σταθμών βάσης, συστημάτων κεραιών, δικτυακές πύλες πρόσβασης, συστήματα διαχείρισης καθώς και εγκατάσταση εξοπλισμού στην πλευρά του πελάτη.

2.1.1 IEEE 802.16-2001

Τον Απρίλιο του 2002 δημιουργήθηκε το πρότυπο IEEE 802.16-2001 το οποίο και το ονομάστηκε στην αρχή WirelessMAN-SC IEEE 802.16-2001 καθώς αφορούσε ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα για συχνότητες από 10-66GHz και χρησιμοποιούσε διαμόρφωση μονού φέροντος (Single Carrier – SC). Για το λόγο ότι μεγάλες συχνότητες σημαίνουν μικρά μήκη κύματος, το πρότυπο IEEE 802.16-2001 αφορούσε αποκλειστικά επικοινωνίες LOS (Line of Sight) λόγω των ισχυρών απωλειών που οφειλόταν στα μικρά μήκη κύματος. Βασικό πλεονέκτημα του προτύπου οι μεγάλες ταχύτητες οι οποίες και ξεπερνούσαν τα 120 Mbps για κανάλια με εύρος 25 MHz. Να συμπληρώσουμε ότι το ποσοστό που πρέπει να είναι καθαρό στην 1^η ζώνη Fresnel για να έχουμε οπτική επαφή είναι 60%.

2.1.2 IEEE 802.16c

Τον Ιανουάριο του 2003 δημοσιεύτηκε και τον ίδιο μήνα εγκρίθηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16c το οποίο αποτέλεσε την πρώτη τροποποίηση και στην ουσία ήταν ένα σύνολο από ενημερώσεις και αποφασημένες σε σχέση με το πρότυπο IEEE 802.16-2001. Το υποπρότυπο αναπτύχθηκε και αναφέρεται για ασύρματα δίκτυα μεταξύ των αδειοδοτημένων ζωνών συχνοτήτων 10 έως 66 GHz και σχετιζόταν με το λεπτομερές προφίλ και τις επιδόσεις μέσα από δοκιμές του συστήματος.

2.1.3 IEEE 802.16a

Τον Απρίλιο του 2003 αναπτύχθηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16a και σαν κύριο χαρακτηριστικό του είχε την ανάγκη για NLOS (Non Line of Sight) επικοινωνία. Το υποπρότυπο αυτό λειτουργεί στις συχνότητες 2 έως 11 GHz όπου η NLOS επικοινωνία μπορεί να είναι αποδοτική. Οι χαμηλές συχνότητες που χρησιμοποιεί το πρότυπο έχουν σαφώς λιγότερες απώλειες.

Η δυνατότητα ζεύξης πομπού και δέκτη χωρίς οπτική επαφή κατέστησε το πρότυπο το πλέον κατάλληλο για επικοινωνία τελευταίου μιλίου (last mile) όπου υπάρχουν φυσικά εμπόδια. Αυτό το πλεονέκτημα δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης των κεραιών σε χαμηλότερα σημεία από κορυφές βουνών. Επιπρόσθετα το πρότυπο προδιαγράφει τρία air interfaces:

- 1) WirelessMAN-SC μονού φέροντος
- 2) WirelessMAN-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) με μετασχηματισμό 256 σημείων
- 3) WirelessMAN-OFDMA με μετασχηματισμό 2048 σημείων και υπόσχεται ρυθμούς μετάδοσης έως και 70 Mbps, αποστάσεις κάλυψης έως και 50 Km και ποιότητα υπηρεσιών (QoS) κατάλληλη ώστε να υποστηριχθούν υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση, όπως είναι η φωνή.

Επιπρόσθετα το 802.16a αποτελεί την ιδανική λύση για backhaul δίκτυα, δηλαδή WiFi hotspots με το διαδίκτυο.

2.1.4 IEEE 802.16-2004

Καθώς οι τεχνολογικές απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται όπως και η πολυπλοκότητα των εφαρμογών ο παράγοντας «Ποιότητα Υπηρεσίας» γίνεται ακόμη πιο σημαντικός.

Το 2004 ήρθε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 να αντικαταστήσει όλα τα προηγούμενα πρότυπα, περιγράφοντας την συνολική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου σταθερής πρόσβασης (Fixed ή Fixed Wireless) με συχνότητες από 2-66 GHz, ενώ διασφαλίζει ρυθμούς μετάδοσης περίπου 70 Mbps για στο Downlink και 28 Mbps στο Uplink για κάθε κανάλι με εύρος ζώνης 10 MHz.

2.1.5 IEEE 802.16e

Τον Δεκέμβριο του 2005 παρουσιάζεται το πρότυπο 802.16e το οποίο ονομάζεται Mobile Wimax. Κύριο χαρακτηριστικά του είναι ότι προσφέρει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητούς χρήστες. Η δομή του δικτύου αποκτά κυψελωτή δομή η οποία έχει ακτίνα 4 km. Υιοθετείται η χρήση κλιμακωτής OFDMA για περιβάλλον NLOS με πολυδιαδρομική διάδοση με στόχο την επιλογή ευέλικτου και διαφορετικού εύρους ζώνης από 1.25 έως και 20 MHz.

Το 802.16e αποτελεί μία τροποποίηση του 802.16-2004 που στοχεύει με την προσθήκη της φορητότητας και της υποστήριξης κινητών χρηστών (μπορεί να υποστηρίξει παράλληλα και σταθερούς χρήστες) να παρέχει Wimax υπηρεσίες ακόμη και σε χρήστες οι οποίοι κινούνται μέχρι και με 120km/h. Για την υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών, χρησιμοποιούνται διαδικασίες μεταπομπής (handover) μεταξύ των κυψελών αλλά και διαδικασίες εξοικονόμησης ενέργειας στο φορητό εξοπλισμό.

Μεγάλα πλεονεκτήματα του Mobile Wimax είναι οι μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση των έξυπνων κεραιών σε συνδυασμό με εξελιγμένες τεχνικές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης, η ευελιξία, το QoS, η ασφάλεια στις επικοινωνίες και η κινητικότητα. (Αντωνίου Λεωνίδα, Πτυχιακή εργασία, Wimax, Τρίπολη-2014).

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Wimax

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16, γνωστό ως Wimax, για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης με σταθερούς ρυθμούς.

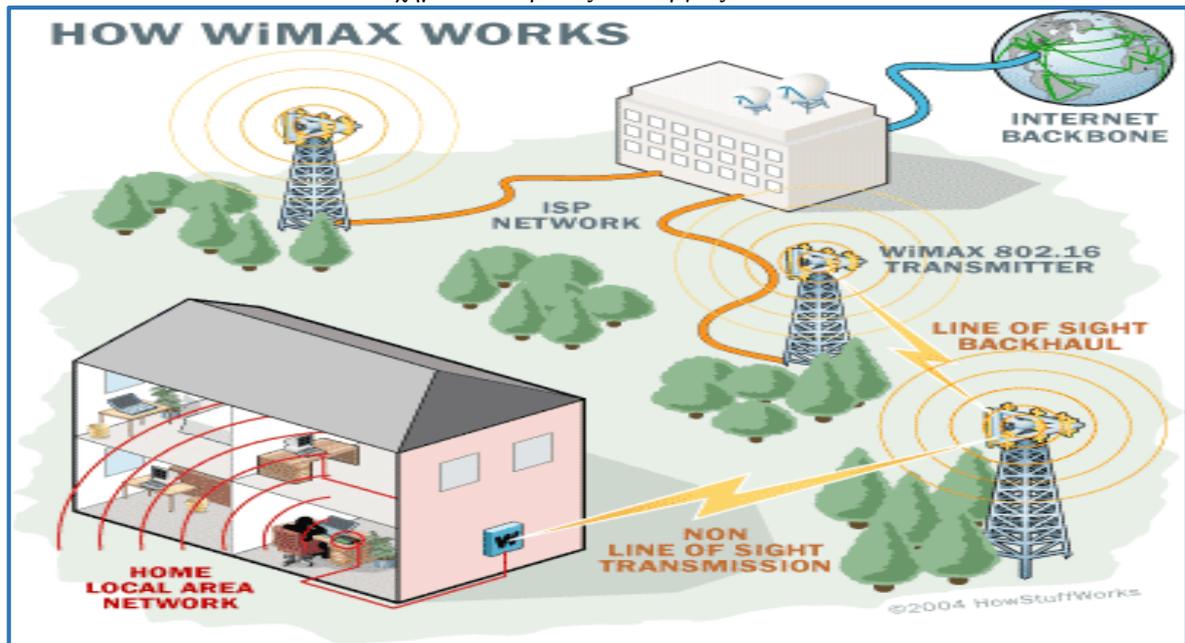
Το Wimax μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία τεχνολογία πρόσβασης τελευταίου μιλιού, παρόμοια με την DSL με ένα τυπικό εύρος κάλυψης από 3 έως 10 χιλιόμετρα και με ταχύτητες έως 5 Mbps ανά χρήστη με non-line of sight. Τα δίκτυα πρόσβασης Wimax μπορούν να λειτουργούν με ή χωρίς άδεια σε διάφορες πόλεις ή χώρες, αν και οι περισσότερες υλοποιήσεις είναι αδειοδοτημένες.

Θα μπορούσαμε επίσης να αναφέρουμε ότι κατά κάποιο τρόπο το Wimax λειτουργεί όπως το WiFi, αλλά σε υψηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερες αποστάσεις και για πολλούς περισσότερους χρήστες.

Το πρότυπο αυτό έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει επικοινωνία point-to-point καθώς και point-to-multipoint. Το 802.16 σχεδιάστηκε για να παρέχει στους χρήστες όταν το επιθυμούν εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε με ποιον τρόπο λειτουργεί το Wimax.

Σχήμα 2-1 : Τρόπος λειτουργίας Wimax



Το Wimax αποτελείται από 2 κομμάτια τα οποία είναι:

- Wimax Tower ο οποίος είναι παρόμοιος με τις κεραιές κινητής τηλεφωνίας.
- Wimax Receiver το οποίο μπορεί να είναι ακόμη και μια κάρτα ασύρματης πρόσβασης όπως αυτές που χρησιμοποιούμε για το Wi-Fi στους προσωπικούς υπολογιστές μας.

Ένας Wimax Tower έχει τη δυνατότητα σύνδεσης στο Internet με τη χρήση υψηλού εύρους ζώνης, ενσύρματη σύνδεση (ας πούμε DSL). Μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί ζεύξη με ένα άλλο Wimax Tower χρησιμοποιώντας LOS(Line-of-Sight) μικροκυμματική ζεύξη. Αυτή η μικροκυμματική ζεύξη μεταξύ των δύο κεραιών, γνωστή και ως backhaul (σχήμα), σε συνδυασμό με την ικανότητα κάθε πύργου να καλύπτει περίπου 3000 τετραγωνικά μίλια κάνει την τεχνολογία Wimax την ιδανικότερη για απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές.

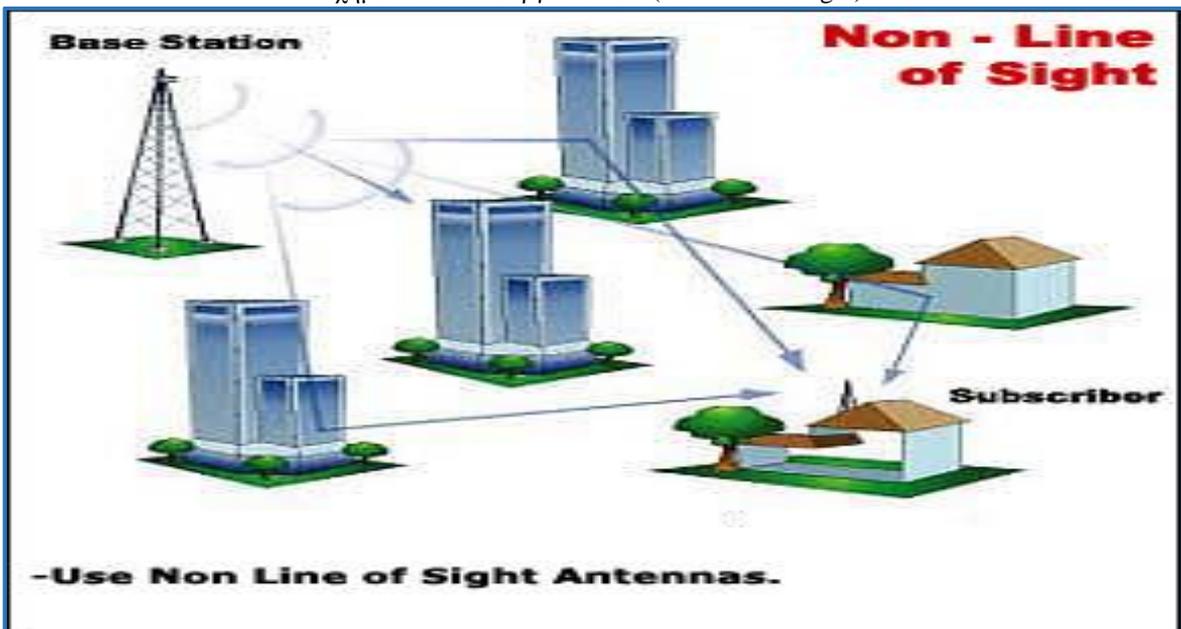
Σχήμα 2-2 : Λειτουργία Wimax Backhaul



Στην πραγματικότητα το Wimax προσφέρει 2 μορφές ασύρματων υπηρεσιών:

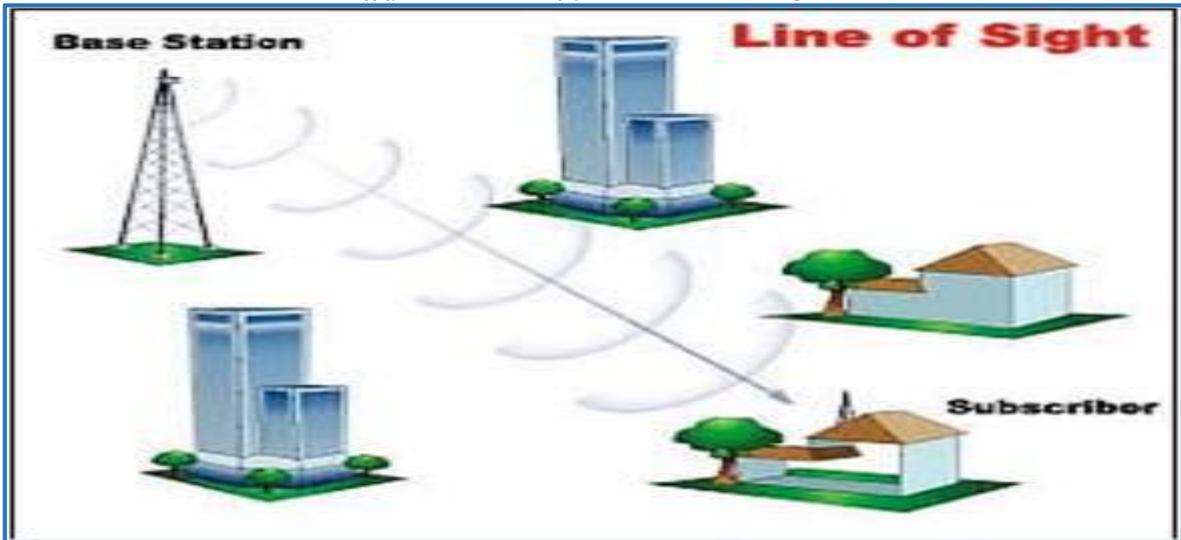
Η πρώτη είναι η NLOS (Non-Line-of-Sight), κάτι σαν τη WiFi υπηρεσία, η οποία με τη χρήση μιας κάρτας δικτύου Wimax (όπως οι Wireless cards) μας δίνει τη δυνατότητα να συνδεθούμε απ'ευθείας στον εκάστοτε πύργο. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται χαμηλό εύρος συχνοτήτων (2GHz-11GHz) και με τη χρήση χαμηλού μήκους κύματος δεν υπάρχει ο κίνδυνος παρεμβολών του σήματος από φυσικά εμπόδια. Είναι θα λέγαμε το σήμα πιο ευέλικτο στο να αποφεύγει φυσικές παρεμβολές σε αυτές τις χαμηλές συχνότητες.

Σχήμα 2-3 :Λειτουργία NLOS (Non Line of Sight)



Η δεύτερη περίπτωση είναι η LOS (Line-of-Sight). Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια σταθερή κεραία (συνήθως πιάτο) η οποία συνδέεται απ'ευθείας στον πύργο Wimax. Η σύνδεση LOS είναι ισχυρότερη και πιο σταθερή όπως είναι λογικό και φυσικά είναι σε θέση να στείλει πολλά δεδομένα χωρίς την πιθανότητα σφαλμάτων ή απώλειας πακέτων. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται πιο υψηλές συχνότητες που μπορεί να φτάσουν μέχρι και τα 66GHz. Σε αυτές τις υψηλές συχνότητες υπάρχουν λιγότερες παρεμβολές.

Σχήμα 2-4 : Λειτουργία LOS (Line of Sight)



Αυτή η WiFi προσέγγιση περιορίζει την εμβέλεια κάλυψης σε περίπου 65 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Με τη βοήθεια των ισχυρών line-of-sight κεραιών οι σταθμοί βάσης στέλνουν δεδομένα σε Wimax-PC ή σε Wimax-Routers εντός εμβέλειας 30 μιλίων του πομπού, δηλαδή περίπου 9.300 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αυτό είναι που κάνει το Wimax να επιτυγχάνει τη μέγιστη εμβέλεια.

2.2.1 OFDM

Το πρότυπο 802.16 και κατά συνέπεια το Wimax υιοθέτησε την ψηφιακή διαμόρφωση σήματος OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), ένα σύστημα πολλαπλούς διαμόρφωσης στο PHY επίπεδο του OSI Model.

Στην OFDM διαμόρφωση, το διαθέσιμο εύρος ζώνης χωρίζεται σε ξεχωριστές ορθογώνιες ζώνες με χαμηλότερο εύρος ζώνης. Ένα κανάλι ευρείας ζώνης ορίζεται ως ένα γκρουπ από γειτονικά κανάλια στενής ζώνης:

Ένα κανάλι υψηλού ρυθμού ροής δεδομένων διαιρείται σε υποκανάλια και πολλαπλές ροές δεδομένων στενής ζώνης μεταδίδονται μέσω του αέρα.

Ένας λόγος για την ευρεία υιοθέτηση του OFDM σε σύγχρονα συστήματα ευρυζωνικών επικοινωνιών είναι η απλότητα στην εφαρμογή υλικού.

Τα OFDM σήματα μπορούν να σχηματιστούν και να υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας το IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) και FFT (Fast Fourier Transform) στον πομπό και στον δέκτη, αντίστοιχα, και οι δύο μετασχηματισμοί μπορούν να εφαρμοσθούν κατευθείαν στο hardware για υψηλότερες αποδόσεις.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του OFDM είναι ότι αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο της πολυδιδόδευσης, εξοικονομεί εύρος ζώνης σε σχέση με τα συστήματα μονής φέρουσας, υποστηρίζει NLOS και είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στην παρεμβολή στενού φάσματος διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.

Το OFDM αποτελεί καλό οιωνό για τα κινητά ευρυζωνικά συστήματα μέσα από την ποικιλία συχνοτήτων και την προσαρμοστικότητα τόσο της διαμόρφωσης όσο και της κωδικοποίησης καναλιού. Εφαρμόζοντας το AMC (Adaptive Modulation and Coding), μπορεί να προληφθεί ή να μειωθεί η υποβάθμιση της ποιότητας από άκρο σε άκρο (end-to-end), η οποία προκαλείται από τις περιττές καθυστερήσεις λόγω της κινητικότητας.

2.2.2. OFDMA

Η OFDM διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως σύστημα, έχοντας φέροντα σήματα τα οποία ομαδοποιούνται σε υποκανάλια, τα οποία μπορούν να παραχωρηθούν σε διαφορετικούς χρήστες υποστηρίζοντας ζεύξη δεδομένων.

Κάθε υποκανάλι μπορεί να περιέχει έναν τυχαίο αριθμό από φέροντα σήματα και μεταβάλλοντας το μέγεθος των ομάδων φερόντων και παρατηρώντας τις συνθήκες καναλιού, είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί η διαφοροποίηση στην κατανομή καναλιού για διαφορετικούς χρήστες. Αυτή η τεχνική της χρήσης του OFDM ως multiaccess σύστημα ονομάζεται OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Το Mobile Wimax χρησιμοποιεί το OFDMA στο PHY επίπεδο του αντί για το απλό OFDM, και η διαίρεση σε υποκανάλια σε uplink και downlink είναι πιθανή.

Στην OFDMA διαμόρφωση τα φέροντα εκχωρούνται σε υποκανάλια τα οποία μπορεί να ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετικές περιοχές του συνολικού εύρους ζώνης.

Όταν τα υποφέροντα σήματα εκχωρηθούν σε υποκανάλια, τότε διανέμονται πάνω στο διαθέσιμο εύρος ζώνης και μία ποικιλομορφία συχνοτήτων μπορεί να επιτευχθεί. Στα κινητά ευρυζωνικά συστήματα αυτή η ποικιλομορφία συχνοτήτων είναι συμφέρουσα, διότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει η σύνδεση μεταφοράς πιο ανθεκτική σε παρεμβολές. Αυτή η διαίρεση σε υποκανάλια βασισμένη στη διάσπαρτη κατανομή φερόντων σε υποκανάλια ονομάζεται Partial Usage of Subcarriers (PUSC), και είναι απαραίτητη και υποχρεωτική σε κάθε εφαρμογή Mobile Wimax.

2.3 FDD – TDD

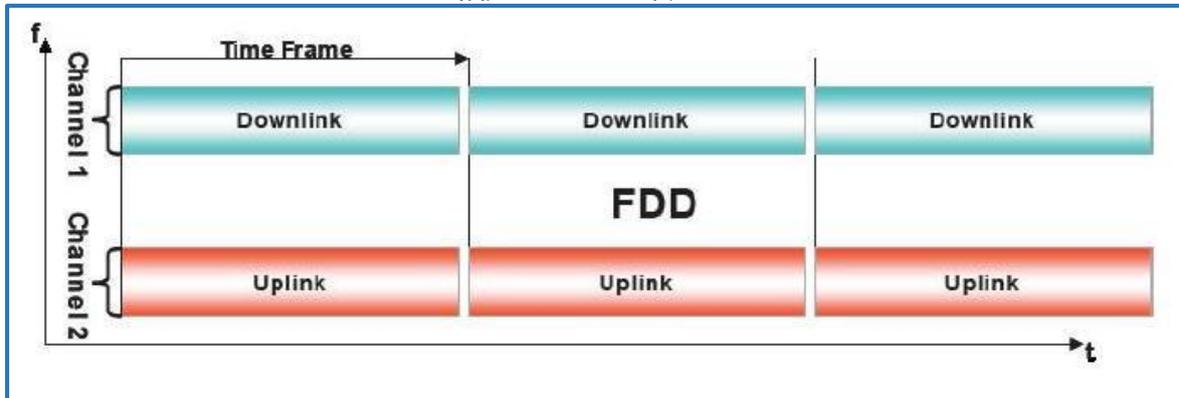
Σε όλα τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οι σταθμοί βάσης και σταθμοί συνδρομητών διατηρούν μία αμφίδρομη σχέση και εναλλάσσουν συνεχώς τους ρόλους του πομπού και του δέκτη. Με κάποιο τρόπο όμως θα έπρεπε να ρυθμίζεται η μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των δύο σταθμών.

Έτσι λοιπόν έχουμε για το σκοπό αυτό δύο ειδών τεχνικές αμφίδρομης εκπομπής, την FDD (Frequency Division Duplex), η οποία είναι τεχνική διαχωρισμού συχνότητας και η TDD (Time Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού στο χρόνο. (Διπλωματική εργασία, Τερζάκης – Τσαπάρας, 2007)

2.3.1 FDD

Στην FDD τεχνική τα uplink και downlink κανάλια εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες. Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν στην downlink συχνότητα, ενώ οι σταθμοί συνδρομητών στην uplink συχνότητα. Οι δομές ροής uplink και downlink είναι ίδιες αλλά εκπέμπονται από διαφορετικά κανάλια.

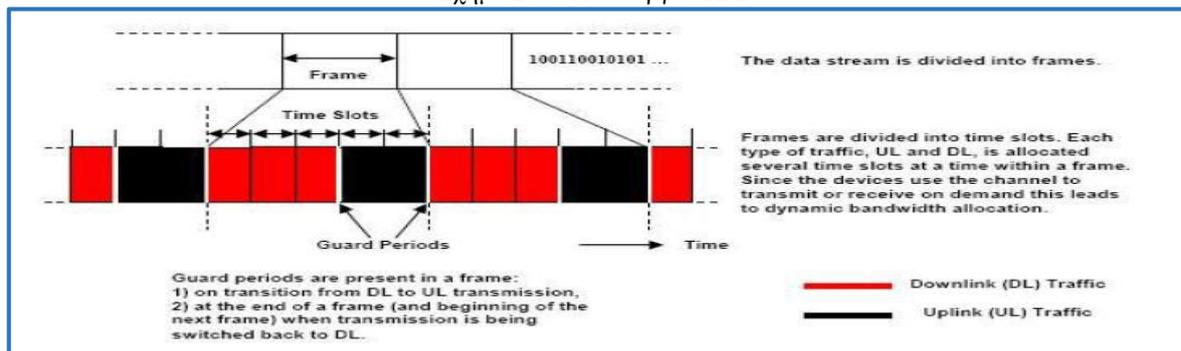
Σχήμα 2-5 : Λειτουργία FDD



2.3.2 TDD

Η TDD τεχνική η οποία είναι και νεότερη σε σχέση με την FDD, χρησιμοποιεί ένα μόνο διαύλο τον οποίο και διαμοιράζει στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας κάποιες χρονοσχιμές (Time Slot) για τη μία κατεύθυνση και κάποιες άλλες για την άλλη κατεύθυνση. Για να μην συμβαίνουν συγκρούσεις δεδομένων διαφορετικών κατευθύνσεων, μεσολαβεί ένας χρονικός διαχωρισμός ασφαλείας, το Transmit Transition Gap (TTG). Αυτό το χρονικό κενό δίνει την δυνατότητα στο σταθμό βάσης ώστε να πέσει από την διαμόρφωση του πομπού σε αυτή του δέκτη και τους συνδρομητικούς σταθμούς να πέσουν από τη διαμόρφωση του δέκτη σε αυτή του πομπού. Κατά την διάρκεια του χρονικού κενού, ο σταθμός βάσης και οι σταθμοί συνδρομητών δεν εκπέμπουν διαμορφωμένα δεδομένα αλλά επιτρέπουν στις κεραιές πομπού και δέκτη (Tx/Rx) και στον τομέα λήψης του σταθμού βάσης να ενεργοποιηθούν. Μετά το χρονικό κενό, ο δέκτης- σταθμός βάσης πρέπει να κοιτάξει για τα πρώτα σύμβολα της uplink ριπής. Το χάσμα έχει διάρκεια ακέραιο πολλαπλάσιο των χρονοσχιμών και αρχίζει στην έναρξη μιας χρονοσχιμής. Στην άλλη περίπτωση υπάρχει και το RTG (Receive Transition Gap) που είναι το κενό μεταξύ της uplink και της downlink ριπής.

Σχήμα 2-6 : Λειτουργία TDD



2.4 Ταχύτητες και εμβέλεια Wimax

Το Wimax λειτουργεί με τις ίδιες βασικές αρχές με το WiFi. Δηλαδή στέλνει δεδομένα από ένα υπολογιστή σε έναν άλλο μέσω ραδιοκυμάτων.

Όπως ένας υπολογιστής διαθέτει κάρτα WiFi έτσι στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιεί κάρτα Wimax και λαμβάνει δεδομένα από το σταθμό βάσης Wimax με τη χρήση κρυπτογραφημένων κλειδιών για την αποφυγή πρόσβασης σε χρήστες οι οποίοι δεν έχουν δικαιώματα πρόσβασης στα δεδομένα.

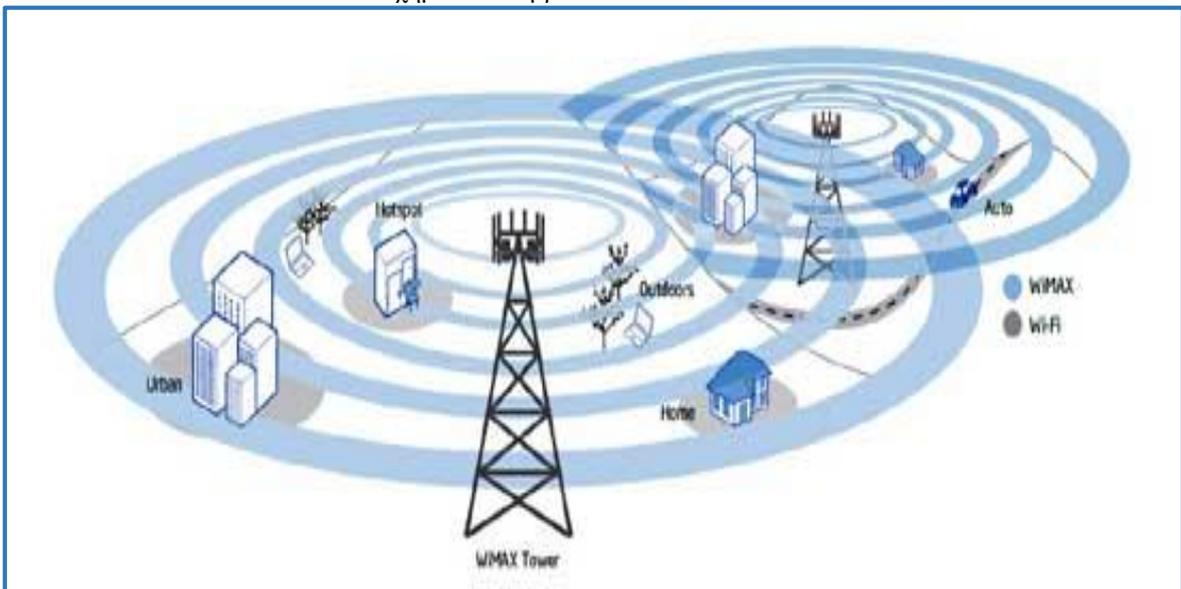
Σε ιδανικές συνθήκες το WiFi μπορεί να μεταδώσει με ταχύτητες που μπορούν να φτάσουν τα 54 Mbps. Το Wimax μπορεί να φτάσει σε ταχύτητες μέχρι και τα 70 Mbps. Και προσθέτουμε εδώ πως οι ταχύτητες που εξυπηρετούν τα Wimax BTS διαμοιράζονται σε εκατοντάδες οικιακούς χρήστες ή και σε εγκαταστάσεις επιχειρήσεων. Καταλήγουμε τελικά στο ότι το Wimax θα προσφέρει τουλάχιστον σε κάθε χρήστη τις ταχύτητες που θα είχαν με κάθε ενσύρματη οικιακή σύνδεση.

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ του Wimax και του WiFi δεν είναι η ταχύτητα, αλλά η απόσταση.

Οι αποστάσεις που καλύπτει η τεχνολογία WiFi είναι τα 30 μέτρα.

Το Wimax μπορεί να καλύψει περίπου 50 χιλιόμετρα ασύρματης πρόσβασης από το σταθμό βάσης. Αυτή η μεγάλη διαφορά απόδοσης οφείλονται στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται αλλά και στην ισχύ του εκάστοτε πομπού. (www.cisco.com)

Σχήμα 2-7 : Εμβέλεια Wimax και WiFi



2.5 QoS και Wimax

Το QoS (Quality of Service) αναφέρεται στην δυνατότητα ενός δικτύου να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες σε επιλεγμένη κυκλοφορία, όπως απαιτείται σε εφαρμογές φωνής και βίντεο. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στο σύνολο των παραμέτρων που καθορίζουν τις απαιτήσεις και το είδος κάθε υπηρεσίας ενός δικτύου. (www.wimaxforum.ofg)

Το πρότυπο 802.16 έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στους χρήστες όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort. Αν δηλαδή υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο Base Station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort κάτι που στο 802.11 πρότυπο ήταν αδύνατο.

Από την πρώτη έκδοση του προτύπου 802.16 η ποιότητα υπηρεσίας κατέχει σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση και την αποδοτικότητα ενός δικτύου και προορίζεται τόσο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όσο υπηρεσίες δεδομένων τα οποία έχουν δυνατότητα να εκμεταλευτούν την Προσαρμοστική κωδικοποίηση (Adaptive Modulation) στο PHY layer. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο όρος «ποιότητα υπηρεσίας» περιγράφει τη συνολική εμπειρία που αποκομίζει ένας χρήστης από το δίκτυο. Η επιστημονική κοινότητα όμως επιδιώκει και τον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων που κρίνουν την ποιότητα υπηρεσίας ανεξάρτητα από την αντίληψη του χρήστη.

Όταν τα πρώτα δίκτυα πακέτων έκαναν την εμφάνιση τους αναγνώριζαν και διαχειριζόντουσαν τα πακέτα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Δεν υπήρχε καμία ποιότητα υπηρεσίας ή εγγύηση αξιοπιστίας και άλλων χαρακτηριστικών για κανένα σύνολο πακέτων. Έτσι το αποτέλεσμα αυτού ήταν μία εφαρμογή με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης να προκαλούσε τον υποβιβασμό την απόδοσης άλλων εφαρμογών.

Σε ένα δίκτυο το οποίο διαθέτει πολλές και διαφορετικές εφαρμογές η Ποιότητα Υπηρεσίας θα πρέπει να είναι ανάλογη με το επίπεδο προτεραιότητας Ποιότητας Υπηρεσίας και της απαιτήσεις απόδοσης της κάθε εφαρμογής.

Οι μηχανικοί δικτύων υλοποιούν ένα μηχανισμό ο οποίος κάνει έλεγχο και διαχείριση στους πόρους του εκάστοτε δικτύου έτσι ώστε να ικανοποιήσουν ένα μοντέλο απαιτήσεων και να προστατέψουν εφαρμογές υψηλής κρισιμότητας από άλλες υπηρεσίες χαμηλότερης προτεραιότητας.

Στόχος αυτού που περιγράψαμε παραπάνω είναι η βελτιωμένη εμπειρία του χρήστη και το μειωμένο κόστος των συστημάτων εξαιτίας της περισσότερο αποδοτικής χρήσης των διαθέσιμων πόρων.

2.5.1 Τύποι Υπηρεσίας

Στο πρότυπο 802.16-2004 ορίζονται 4 τύποι υπηρεσίας και στο 802.16e δημιουργείτε ακόμη ένας τύπος υπηρεσίας οι οποίοι εφαρμόζονται σε κάθε ζεύξη σταθμού βάσης και σταθμού συνδρομητή και υποστηρίζονται από τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού του MAC layer.

2.5.1.1 UGS (Unsolicited Grant Services)

Το UGS αποτελεί τον τύπο υπηρεσίας ο οποίος υποστηρίζει τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπου σε συγκεκριμένα τακτά χρονικά διαστήματα μεταδίδονται πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους. Οι εφαρμογές αυτές αναφέρονται σε σταθερούς ρυθμούς μετάδοσης (CBR – Constant Bit Rate) και απαιτούν αυστηρό χρονοπρογραμματισμό και εγγυημένο throughput, καθυστέρηση και μεταβλητότητα. Στις εφαρμογές αυτές δεν απαιτείται η αποστολή μηνυμάτων αίτησης από τους χρήστες προς τους σταθμούς βάσης και έτσι εξοικονομούνται πόροι του δικτύου για τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

Ο τύπος υπηρεσίας προσφέρει εκχωρήσεις σταθερού μεγέθους σε περιοδική βάση σε πραγματικό χρόνο, εξαλείφει την πλεονάζουσα πληροφορία και την καθυστέρηση των αιτήσεων από την πλευρά του συνδρομητή και εξασφαλίζει τις ανάγκες για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

2.5.1.2 rtPS (Real-Time Polling Services)

Ο συγκεκριμένος τύπος υπηρεσίας προσφέρει μετάδοση πακέτων δεδομένων μεταβλητού μήκους ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ο σταθμός συνδρομητή έχει την δυνατότητα περιοδικών αιτήσεων εύρους ζώνης προς το σταθμό βάσης, αιτούμενος κάθε φορά στο σταθμό συνδρομητή το ποσό το εύρους ζώνης που χρειάζεται. Αυτός ο τύπος υπηρεσίας περιέχει περισσότερη πλεονάζουσα πληροφορία στην αίτηση από ότι ο UGS αλλά ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει μεταβλητά και όχι σταθερά μεγέθη εκχωρήσεων για να υπάρχει αποδοτικότητα στη μετάδοση δεδομένων. Επίσης προσφέρει την δυνατότητα στο σταθμό χρήστη να πραγματοποιεί περιοδικές αιτήσεις σε πραγματικό χρόνο ώστε ο συνδρομητής να ρεσδιορίσει το μέγεθος της επιθυμητής εκχώρησης.

2.5.1.3 nrtPS (Nonreal-time Polling Services)

Ο nrtPS τύπος δημιουργήθηκε για να υποστηρίζει υπηρεσίες όπου τα δεδομένα αποτελούνται από πακέτα μεταβλητού μήκους και απαιτείται ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης όπως για παράδειγμα σε FTP εφαρμογές. Αυτός ο τύπος υπηρεσίας εφαρμόζει την διαδικασία διαδοχικής διερεύνησης (polling) προς ένα προορισμό σε συγκεκριμένα τακτά χρονικά διαστήματα και εξασφαλίζει ότι η ροή άνω ζεύξης λαμβάνει δυνατότητες αιτήσεων ακόμη και αν στο δίκτυο επικρατεί συμφόρηση.

Ο σταθμός βάσης παρέχει την δυνατότητα στο σταθμό συνδρομητή ανά τακτά χρονικά διαστήματα δυνατότητα αίτησης και ο σταθμός συνδρομητή αποστέλλει αιτήσεις συμφόρησης (congestion request), καθώς και αιτήσεις μονής εκπομπής (unicast).

2.5.1.4 BE (Best Effort)

Είναι υπηρεσίες οι οποίες δεν απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας και η τηλεπικοινωνιακή κίνηση που απαιτείται αντιμετωπίζεται από το δίκτυο με τον καλύτερο τρόπο ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου.

Ο συγκεκριμένος τύπος υπηρεσίας είναι κατάλληλος για υπηρεσίες πλοήγησης στο διαδίκτυο. Παρέχεται και εδώ όπως και στον nrtPS η δυνατότητα για congestion request αλλά δεν παρέχεται η δέσμευση του εύρους ζώνης.

2.5.1.5 ErtPS (Extended real-time Pollong Services)

Αυτός ο τύπος υπηρεσιών σχεδιάστηκε κυρίως για υπηρεσίες VoD και ο οποίος βασίζεται στην αποδοτικότητα των UGS και rtPS. Χρησιμοποιεί μετάδοση δεδομένων μεταβλητού μεγέθους. Οι περιοδικές αναθέσεις που παρέχονται για ένα σταθμό συνδρομητή χρησιμοποιούνται είτε για εκπομπή δεδομένων είτε για αιτήσεις επιπλέον εύρους ζώνης. Άρα βλέπουμε ότι ο ErtPS μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές στις οποίες οι αιτήσεις για εύρος ζώνης είναι μεταβλητές με την πάροδο του χρόνου.

Ο ErtPS τύπος σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροή υπηρεσίας πραγματικού χρόνου και μεταβλητού μεγέθους πακέτων σε περιοδική βάση με την προϋπόθεση να τηρούνται κάποια όρια για την μέγιστη καθυστέρηση και τον ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης.

2.6 Ασφάλεια Wimax

Όπως έχουμε δει και μέχρι τώρα το Wimax είναι μία τεχνολογία η οποία και αναπτύχθηκε για να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό είναι και το χαρακτηριστικό που κάνει αυτή την τεχνολογία όλο και περισσότερο δημοφιλή στο χώρο των τηλεπικοινωνιών.

Επίσης υπάρχει μεγάλη βελτίωση στα θέματα της ασφάλειας σε σχέση με τις παλαιότερες WI-Fi τεχνολογίες.

Οι δημιουργοί της τεχνολογίας Wimax λοιπόν επικέντρωσαν την προσοχή τους σε θέματα ασφάλειας μετά τα κενά που ανακαλύφθηκαν σε προηγούμενες Wireless τεχνολογίες. Το πρότυπο περιλαμβάνει μεθόδους για την διασφάλιση της προστασίας των προσωπικών δεδομένων των συνδρομητών και την πρόληψη της μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης, με πρόσθετη βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου για το mobility. Έτσι κατασκεύασαν διάφορους μηχανισμούς για την προστασία του δικτύου και των χρηστών από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.

2.6.1 Authentication

Το Wimax παρέχει ένα ευέλικτο μέσο για τον έλεγχο ταυτότητας συνδρομητών και χρηστών για την αποφυγή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Το πλαίσιο ελέγχου ταυτότητας βασίζεται στο Internet Engineering Task Force (IETF) EAP, όπου υποστηρίζει μία ποικιλία από διαπιστευτήρια, όπως username/password, ψηφιακά πιστοποιητικά και έξυπνες κάρτες. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο ενσωματώθηκε στο 802.16 είναι κάθε τερματική συσκευή του συνδρομητή έχει ενσωματωμένο πιστοποιητικό X.509, το οποίο αναγνωρίζει και πιστοποιεί τον συνδρομητή με μοναδικό τρόπο καθώς περιέχει το δημόσιο κλειδί (public key) και την MAC address του. Με αυτό τον τρόπο ο πιθανός εισβολέας δεν θα μπορεί να πραγματοποιήσει spoofing, δηλαδή να αντιγράψει την

ταυτότητα του εκάστοτε συνδρομητή και να αποκτήσει πρόσβαση. Έτσι το X.509 παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια από επιθέσεις στα services του κάθε συνδρομητή.

2.6.2 Encryption

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στην τεχνολογία Wimax την αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard) και ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης AES (Advanced Encryption Standard). Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται μια παραλλαγή του, ο Triple-DES.

Με την μέθοδο Triple-DES, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά.

128-bit ή 256-bit κλειδιά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κρυπτογράφησης κατά την διάρκεια της φάσης του ελέγχου ταυτότητας και ανανεώνονται αυτόματα για επιπλέον προστασία.

2.7 Ζώνες Συχνότητων Wimax

Κατά την κατασκευή ενός Wimax δικτύου έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε την αδειοδοτημένη ή μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνότητων. Παρόλο που το πρότυπο 802.16 ορίζει τη λειτουργία ενός δικτύου σε ένα ευρύ φάσμα μεταξύ 2 GHz και 11GHz, έχουν επιλεγεί οι παρακάτω ζώνες συχνότητων βάσει της παγκόσμιας διαθεσιμότητας.

Σχήμα 2-8 : Χάρτης ζωνών συχνότητων παγκοσμίως



2.7.1 Αδειοδοτημένη Ζώνη Συχνότητων

Η αδειοδοτημένη ζώνη συχνότητων αποτελείται από τις συχνότητες των 2.3 GHz, 2.5 GHz (αναφέρονται και ως Multipoint Distribution Service - MDS) και 3.5 GHz.

Η χρήση συχνότητων του αδειοδοτημένου φάσματος υπερτερεί έναντι των μη αδειοδοτημένων πολύ απλά γιατί προστατεύεται από παρεμβολές άλλων παρόχων. Γενικότερα οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και είναι οι ιδανικές για εφαρμογές ευρείας κάλυψης (Point – to - Multipoint). Επίσης οι χαμηλότερες συχνότητες επιτρέπουν καλύτερη επικοινωνία NLOS (None Line of Sight) και μεγαλύτερη διείσδυση.

Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα έναντι των μη αδειοδοτημένων λύσεων είναι η διαδικασία χορήγησης της άδειας, η οποία διαδικασία είναι χρονοβόρα και κοστίζει αρκετά. Αυτές οι υψηλές όμως δαπάνες και η χρονοβόρα διαδικασία εξασφαλίζουν μία πολύ πιο σταθερή λύση για μητροπολιτικές εφαρμογές.

Στην Ελλάδα, οι άδειες που έχουν δοθεί για περιφερειακή κάλυψη στη ζώνη συχνότητων των 3.5 GHz, ανήκουν στον ΟΤΕ και στη Wind. Ο ΟΤΕ επίσης έχει δημιουργήσει τρία πιλοτικά δίκτυα. Ένα στο Άγιο Όρος, ένα στην Αθήνα και ένα στη Θεσσαλονίκη.

2.7.2 Μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνότητων

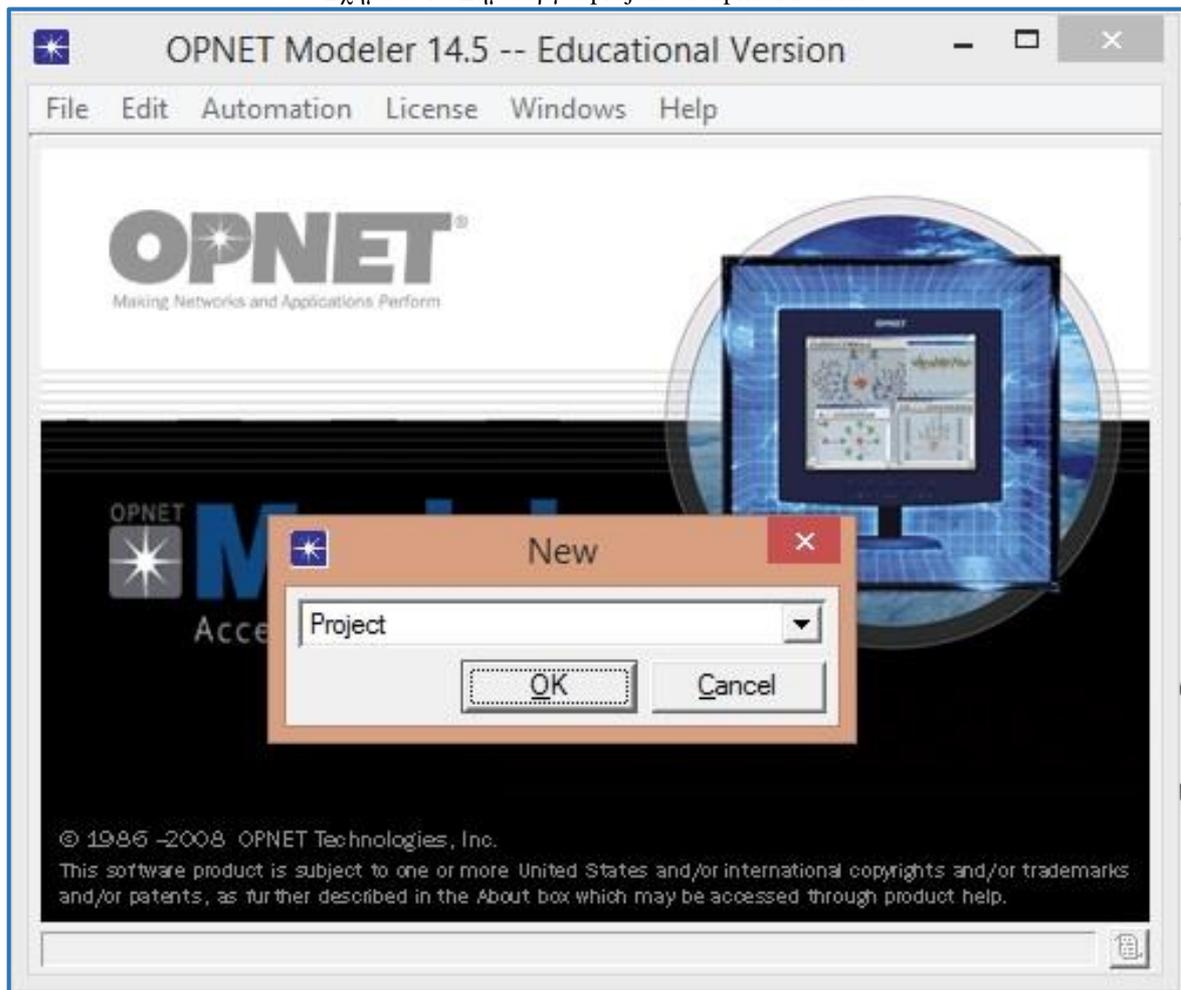
Η χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνότητων δίνει την δυνατότητα στον πάροχο για άμεση χρήση του, μία κίνηση η οποία φυσικά εγκυμονεί τον κίνδυνο για ισχυρές παρεμβολές από άλλους παρόχους που εκπέμπουν σε κοντινές συχνότητες στην ίδια περιοχή. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο μειονέκτημα του μη αδειοδοτημένου φάσματος ιδιαίτερα σε μεγάλα αστικά κέντρα. Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις είναι ιδανικές για εφαρμογές P2P (Point – to - Point).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΟ OPNET MODELER

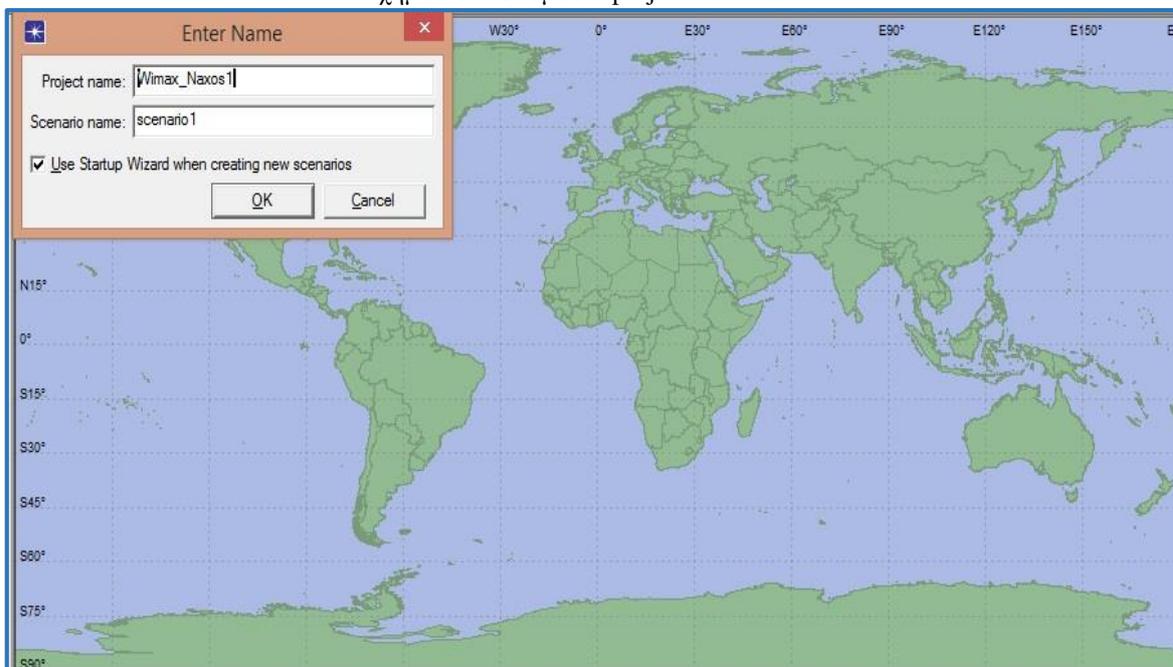
Στο σημείο αυτό θα ξεκινήσουμε τις προσομοιώσεις αρχής γενομένης από το Opnet Modeler. Αρχικά εκκινούμε το πρόγραμμα Opnet modeler και το εκτελούμε ως διαχειριστές.

Σχήμα 3-1 : Δημιουργία project σε Opnet Modeler



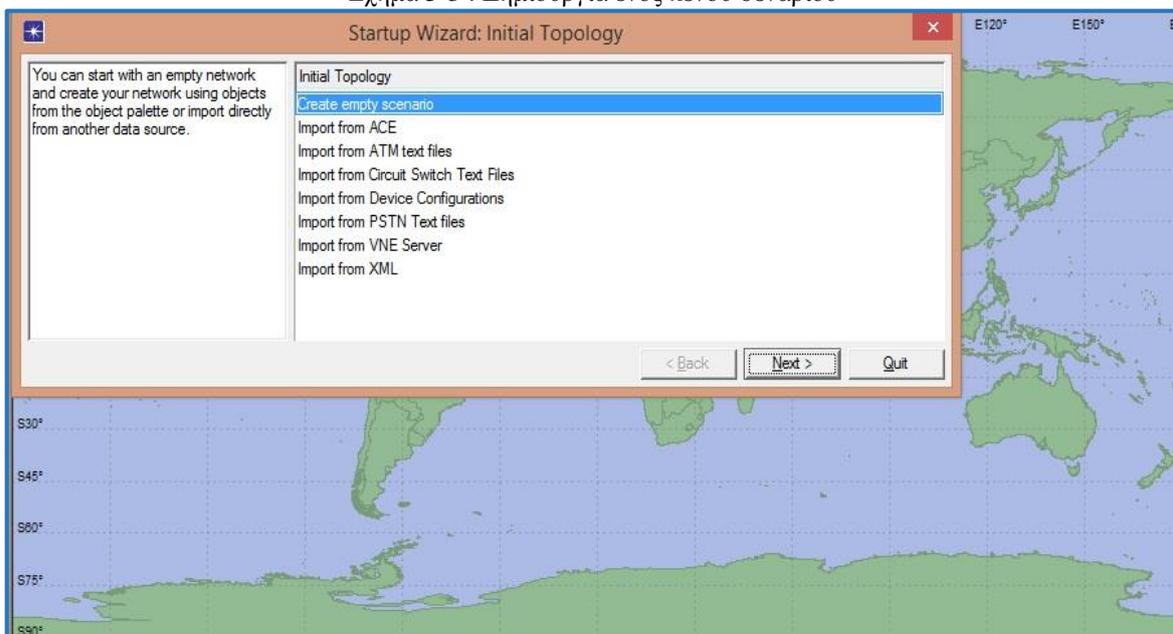
Στην συνέχεια ακολουθούμε βήμα – βήμα τις παρακάτω εντολές έτσι ώστε να φτιάξουμε με τον τρόπο που θέλουμε το δικό μας Project.

Σχήμα 3-2 : Ονομασία project και scenario



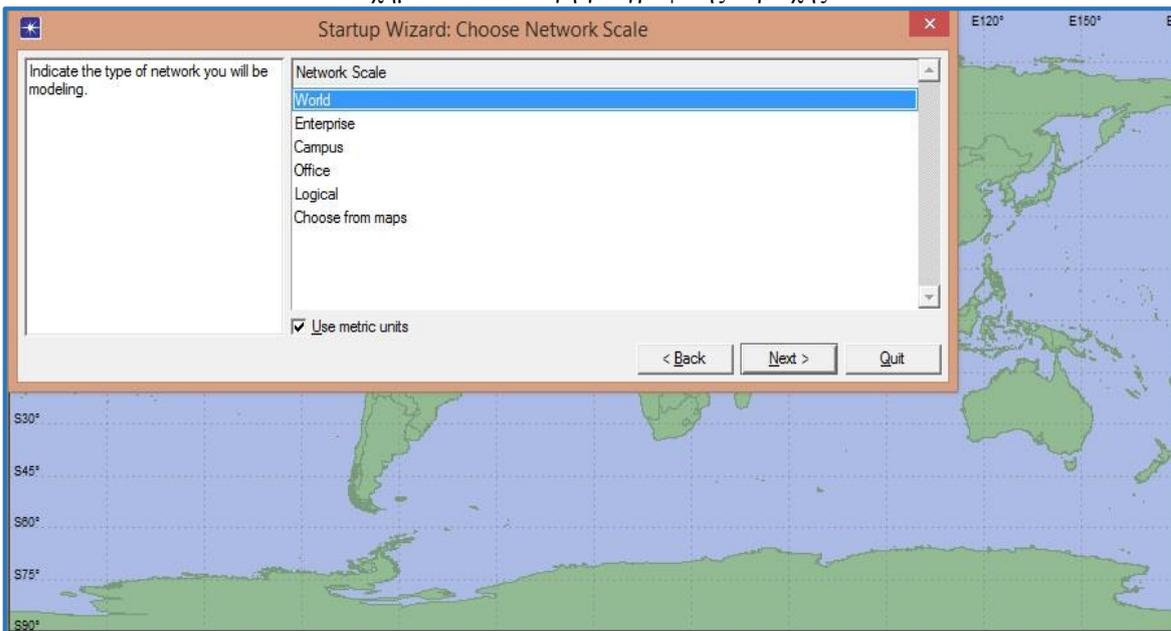
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε την δημιουργία ενός νέου Project το οποίο και ονομάζουμε όπως εμείς θέλουμε και επίσης έχουμε την δυνατότητα να φτιάξουμε ένα αριθμό από scenarios ανάλογα με το τι θέλουμε να κάνουμε.

Σχήμα 3-3 : Δημιουργία ενός κενού σεναρίου



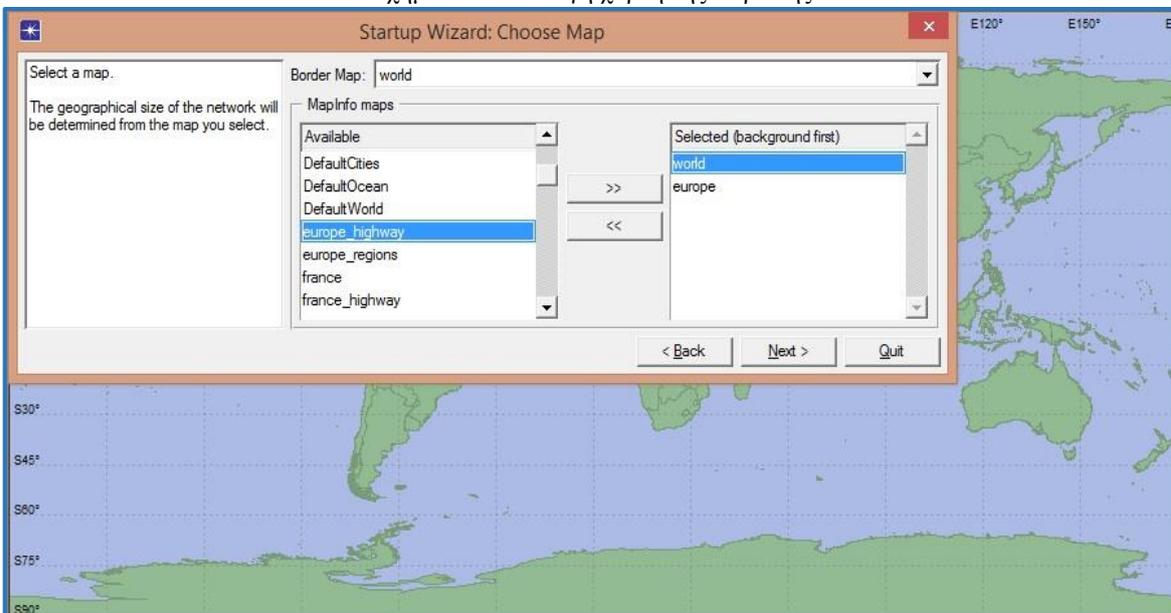
Εδώ επιλέγουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο σενάριο χωρίς να υπάρχει καμία ρύθμιση.

Σχήμα 3-4 : Επιλογή γεωγραφικής περιοχής



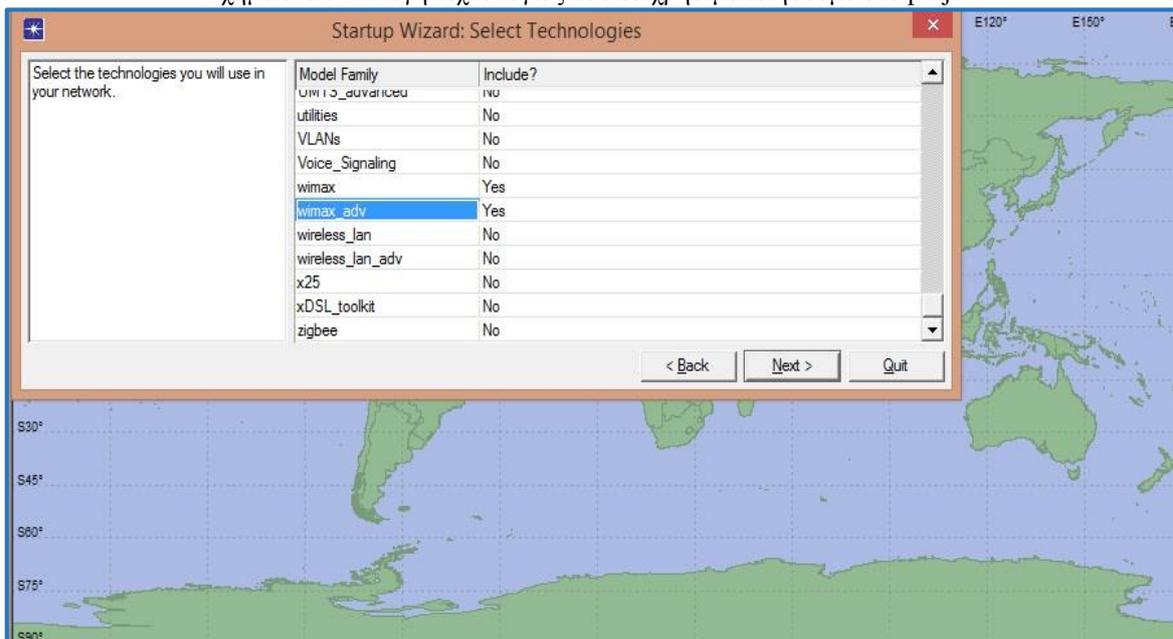
Στην παραπάνω εικόνα επιλέξαμε τον μέγεθος δικτύου και κατά συνέπεια του χάρτη που θα χρησιμοποιήσουμε.

Σχήμα 3-5 : Επιλογή χάρτη της Ευρώπης



Συνεχίζουμε επιλέγοντας την περιοχή την οποία θέλουμε να δημιουργήσουμε τον χάρτη.

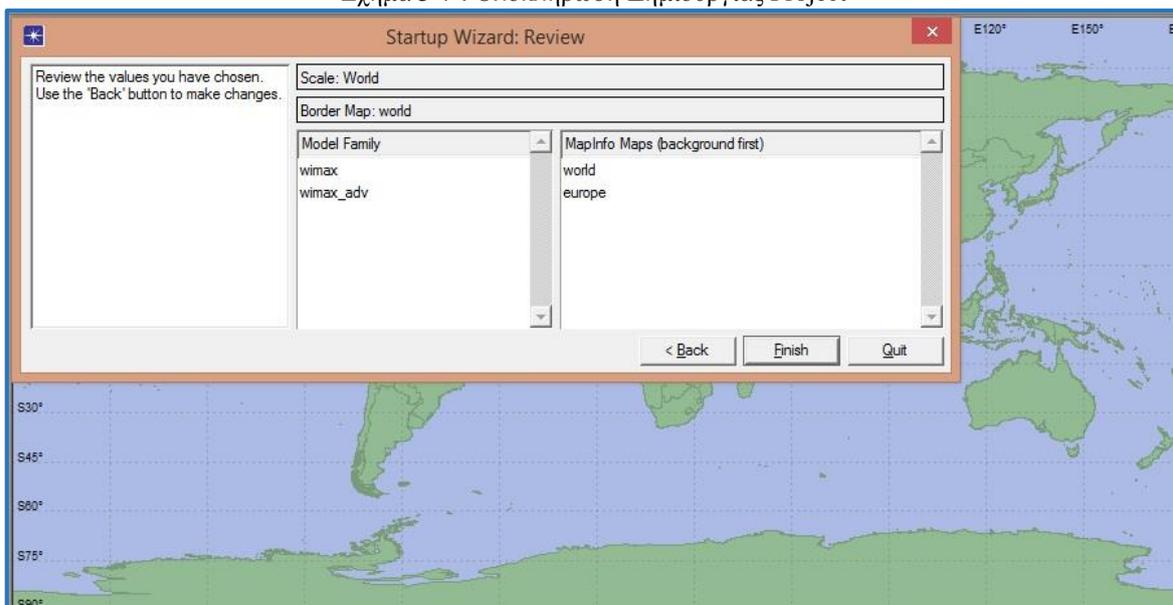
Σχήμα 3-6 : Επιλογή τεχνολογίας που θα χρησιμοποιήσουμε στο project



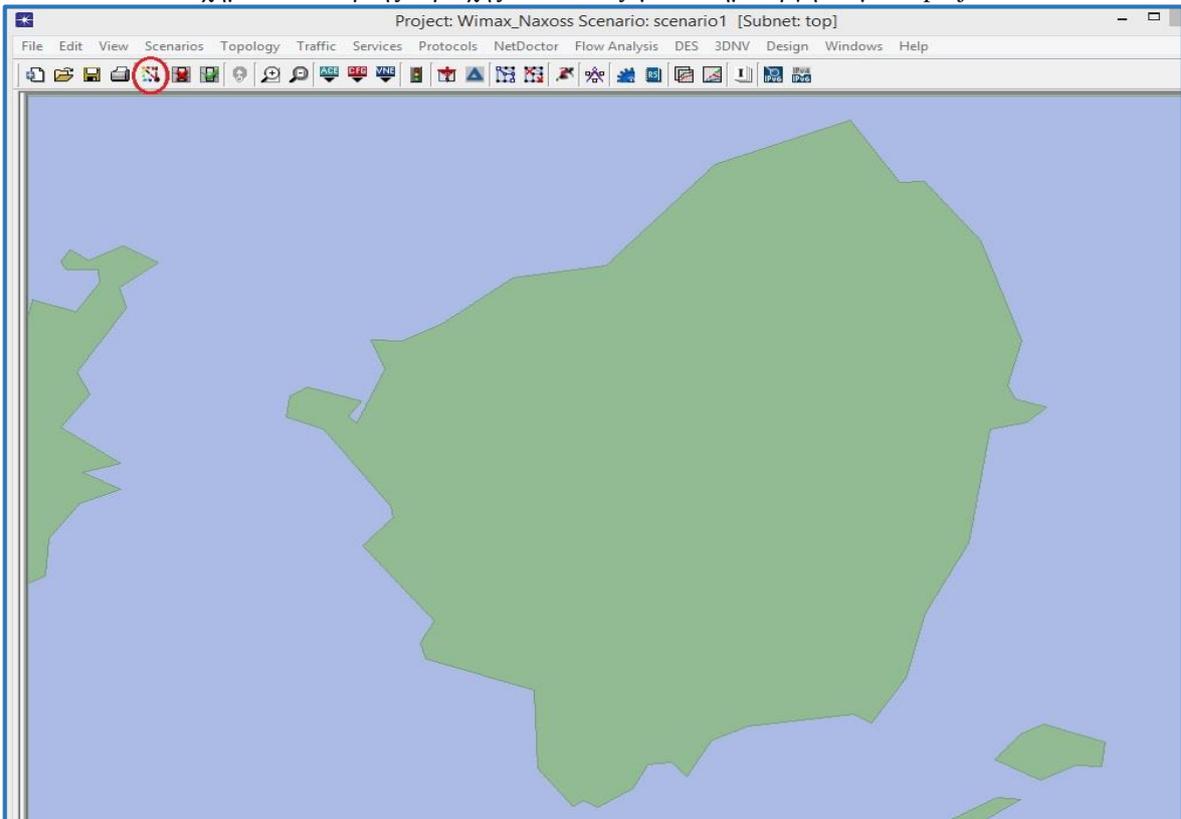
Σε αυτό το σημείο όπως βλέπουμε επιλέγουμε την τεχνολογία την οποία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

Έτσι πλέον πατώντας finish έχουμε δημιουργήσει το Project το οποίο και θα αναπτύξουμε παρακάτω. Στην συνέχεια επιλέγουμε τον χάρτη της Νάξου στον οποίο και θα αναπτύξουμε τις προσομοιώσεις μας και ο οποίος φαίνεται παρακάτω.

Σχήμα 3-7 : Ολοκλήρωση Δημιουργίας Project

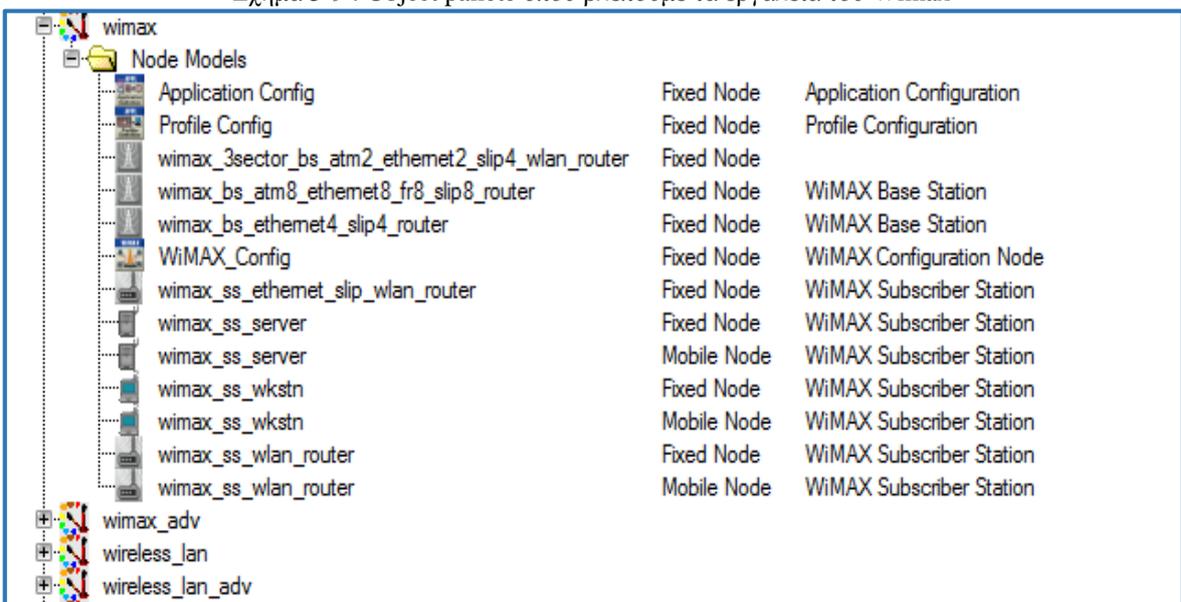


Σχήμα 3-8 : Χάρτης περιοχής που επιλέξαμε να δημιουργήσουμε το project



Στην γραμμή εργαλείων έχουμε κυκλώσει το object palette από το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε όλα τα αντικείμενα (Base Stations, Nodes, lines) για να δημιουργήσουμε το δίκτυο μας. Το object palette το βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα.

Σχήμα 3-9 : Object palette όπου βλέπουμε τα εργαλεία του Wimax



Στη συνέχεια θα αρχίσουμε να τοποθετούμε τους κόμβους μας στο δίκτυο που θέλουμε να δημιουργήσουμε.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με σταθερούς χρήστες για ένα δίκτυο Wimax το οποίο θα αποτελείται από 2 σταθμούς βάσης (Base Stations), 18 χρήστες (9 ανά σταθμό βάσης), ένα Video Server, ένα HTTP Server, και ένα Router το οποίο δρομολογεί την κίνηση των σταθμών βάσης προς τους Server του δικτύου μας.

Επίσης απαραίτητα στοιχεία στην προσομοίωση μας θα αποτελέσουν τα :

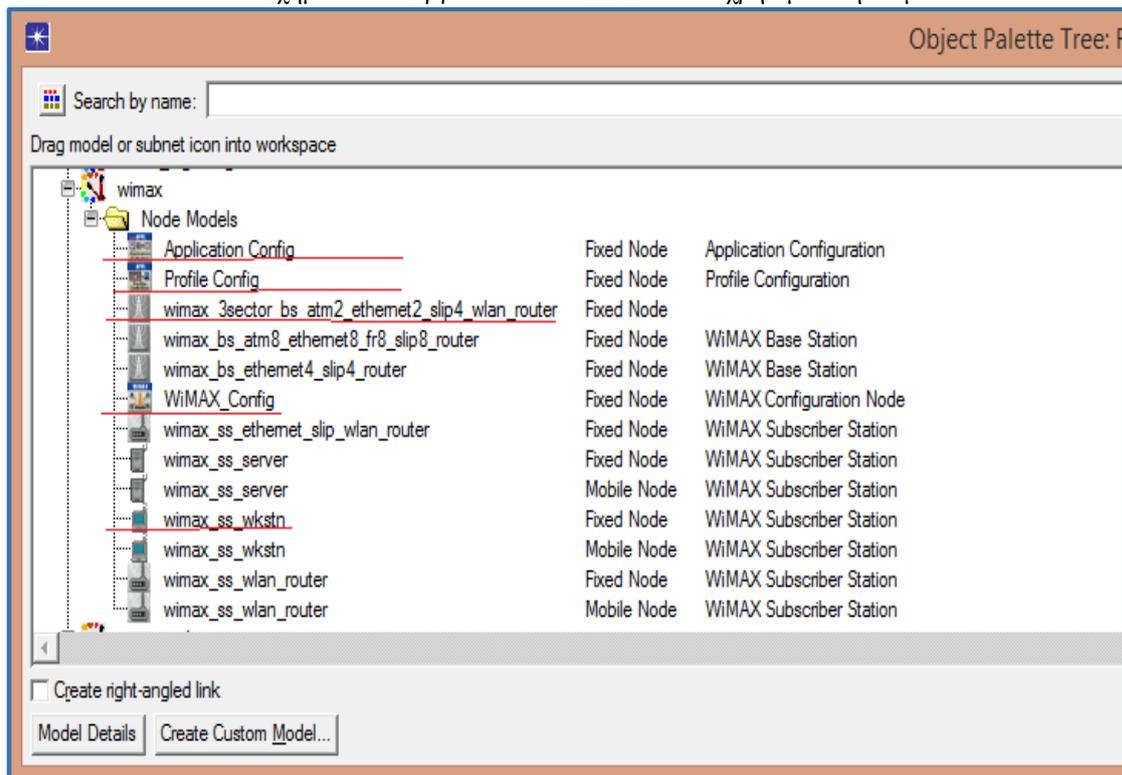
- Αντικείμενο διαμόρφωσης εφαρμογής (Application Definition)
- Αντικείμενο ορισμού προφίλ φορτίου δικτύου (Profile Definition)

Το πρώτο περιέχει κάποιες τυπικές ρυθμίσεις τυποποιημένων εφαρμογών και το δεύτερο μοντελοποιεί την μικρού βαθμού πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων.

Τέλος θα χρησιμοποιήσουμε το Wimax Configuration το οποίο είναι απαραίτητο για την υλοποίηση και την παραμετροποίηση ενός Wimax δικτύου.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε υπογραμμισμένα σε κόκκινη γραμμή τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε για την δημιουργία της προσομοίωσης μας.

Σχήμα 3-10 : Εργαλεία του Wimax που θα χρησιμοποιήσουμε

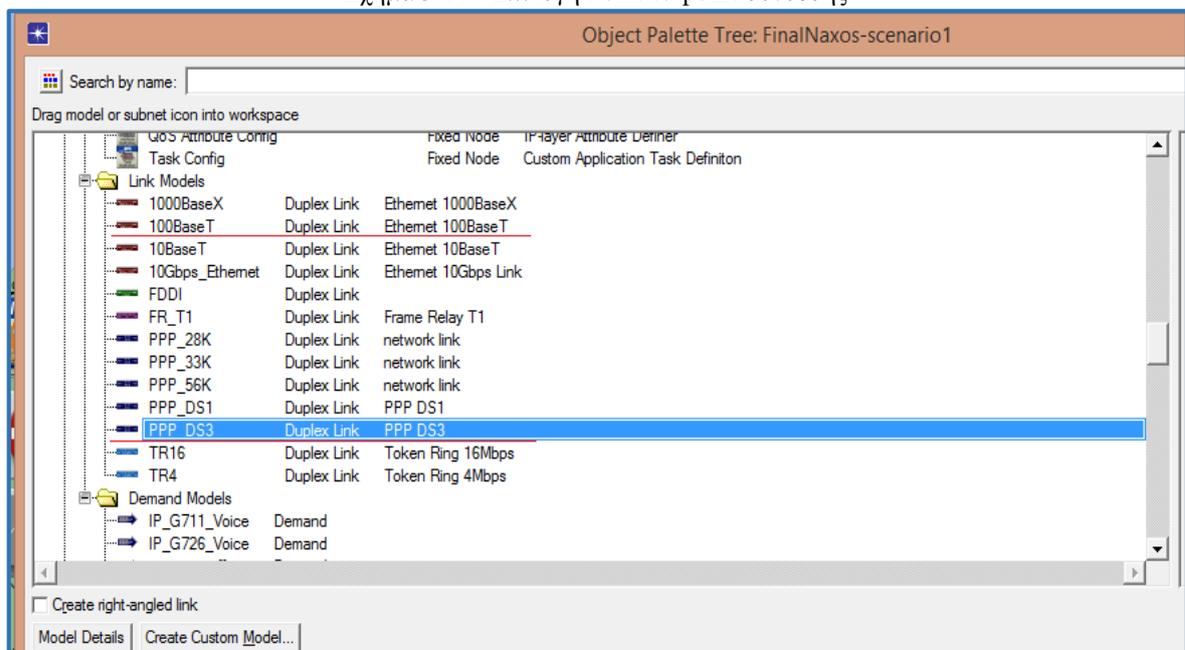


Όπως βλέπουμε πιο πάνω χρησιμοποιούμε ένα σταθμό βάσης ο οποίος αποτελείται από 3 τομείς. Ο σταθμός βάσης αποτελείται από :

- 2 ATM θύρες
- 2 Ethernet θύρες
- 4 SLIP θύρες
- 1 θύρα Wireless LAN
- 3 θύρες Wimax

Οι ενσύρματες συνδέσεις που θα πραγματοποιήσουμε για να συνδέσουμε το Base Station με τον Router είναι PPP (Point-to-point) DS3 και διαθέτει ονομαστικό Data Rate 44,736 Mbps. Η σύνδεση του Router με τους Server πραγματοποιείται με μία σύνδεση Ethernet 100BaseT η οποία μπορεί να προσφέρει μέχρι και 100 Mbps.

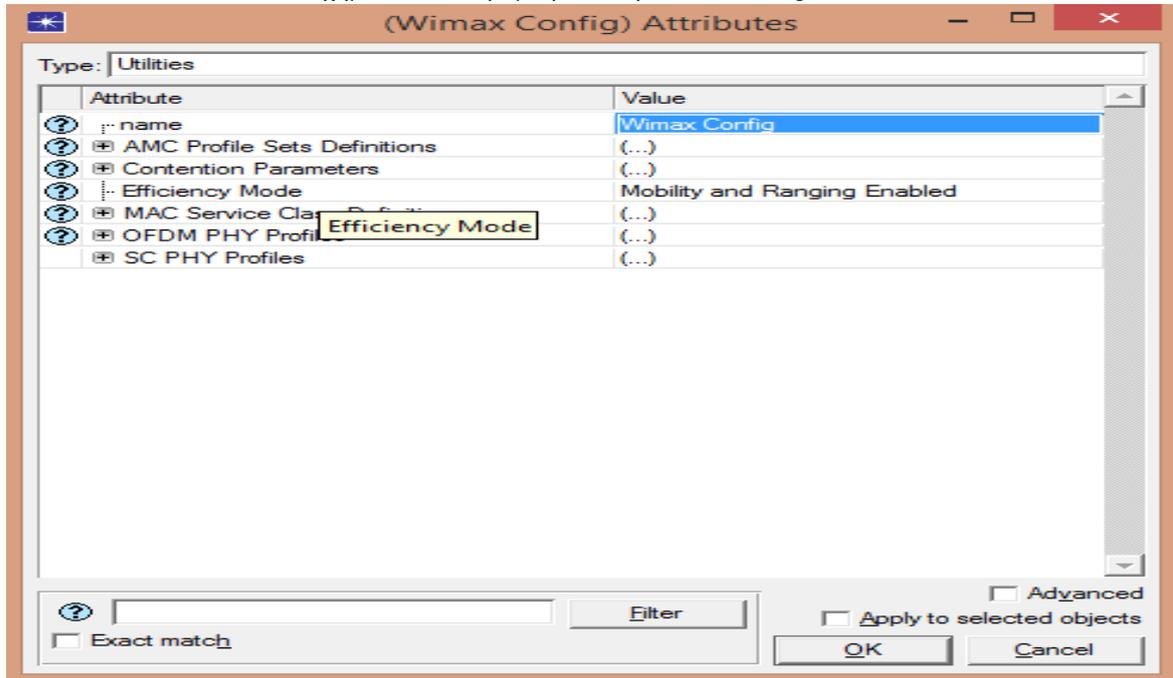
Σχήμα 3-11 : Επιλογή Point-to-point σύνδεσης



Όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα υπάρχει η δυνατότητα να παραμετροποιήσουμε λειτουργίες των MAC layer και PHY layer, όπως επίσης και τις συχνότητες τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για να τρέξουμε τις προσομοιώσεις του δικτύου μας.

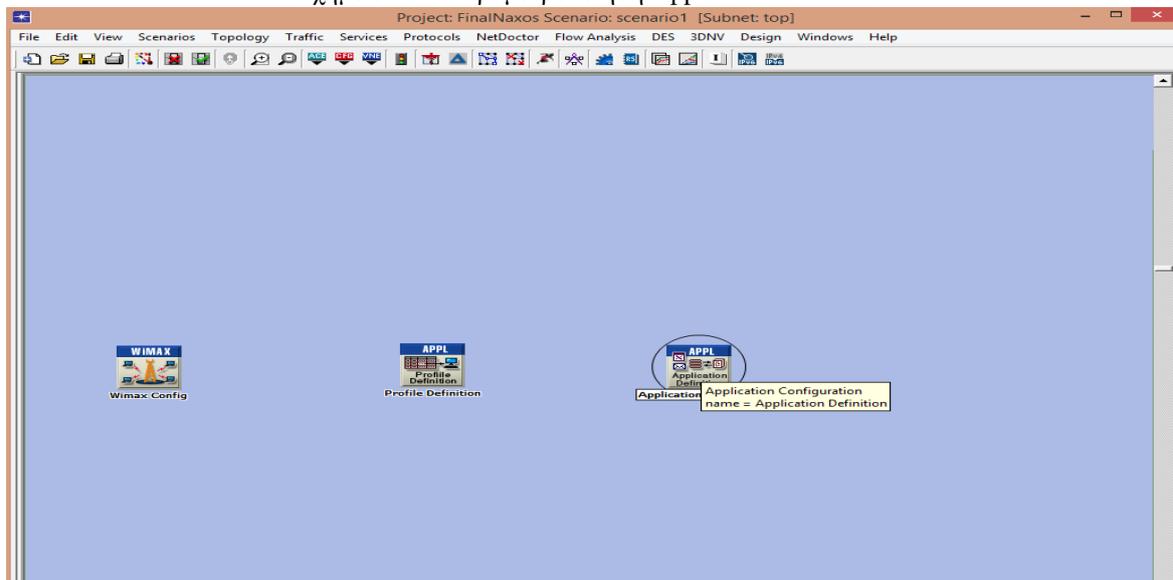
Παρακάτω βλέπουμε την παραμετροποίηση του Wimax Configuration το οποίο είναι το βασικό εργαλείο για να υλοποιήσουμε ένα ασύρματο δίκτυο Wimax.

Σχήμα 3-12 : Παραμετροποίηση Wimax Configuration



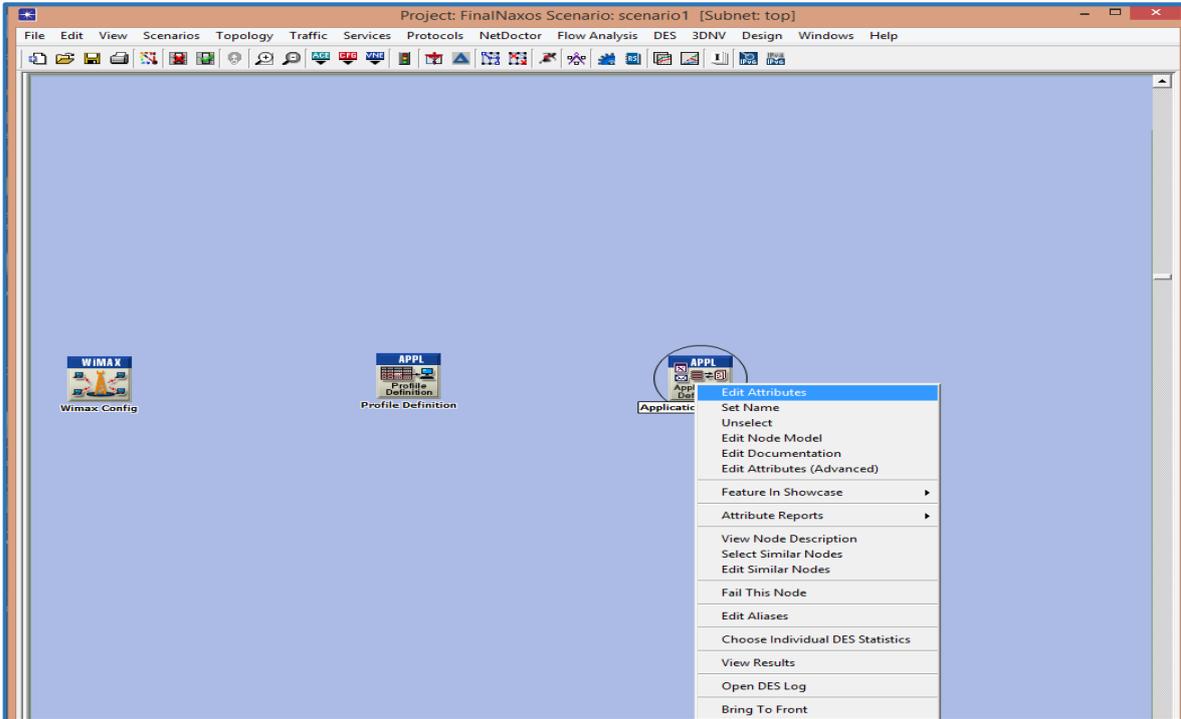
Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τα πρόσθετα εργαλεία που χρησιμοποιούμε για να υλοποιήσουμε και να προσφέρουμε τις υπηρεσίες που θέλουμε στους χρήστες του δικτύου μας. Η πρώτη περίπτωση μας έχει να κάνει με το εργαλείο διαμόρφωσης εφαρμογής (Application Definition). Εδώ θα δούμε βήμα – βήμα την διαδικασία διαχείρισης των εφαρμογών το οποίο δημιουργεί στην ουσία τηλεπικοινωνιακή κίνηση στο δίκτυο. Στο συγκεκριμένο project θα προσφέρουμε στους χρήστες μας υπηρεσίες Video on Demand (VoD), Voice over IP (VoIP) και HTTP υπηρεσία.

Σχήμα 3-13 : Παραμετροποίηση Application Definition



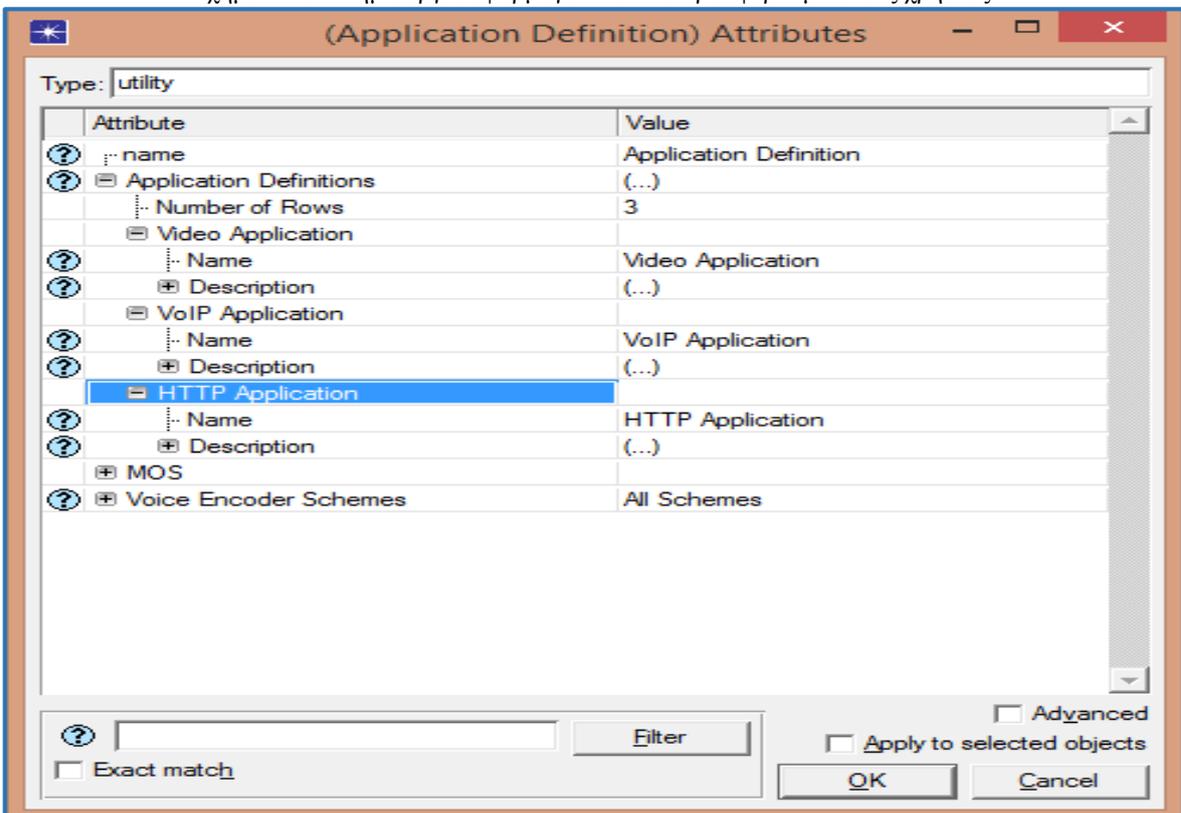
Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να παραμετροποιήσουμε τα χαρακτηριστικά του application definition.

Σχήμα 3-14 : Έναρξη παραμετροποίησης λειτουργιών



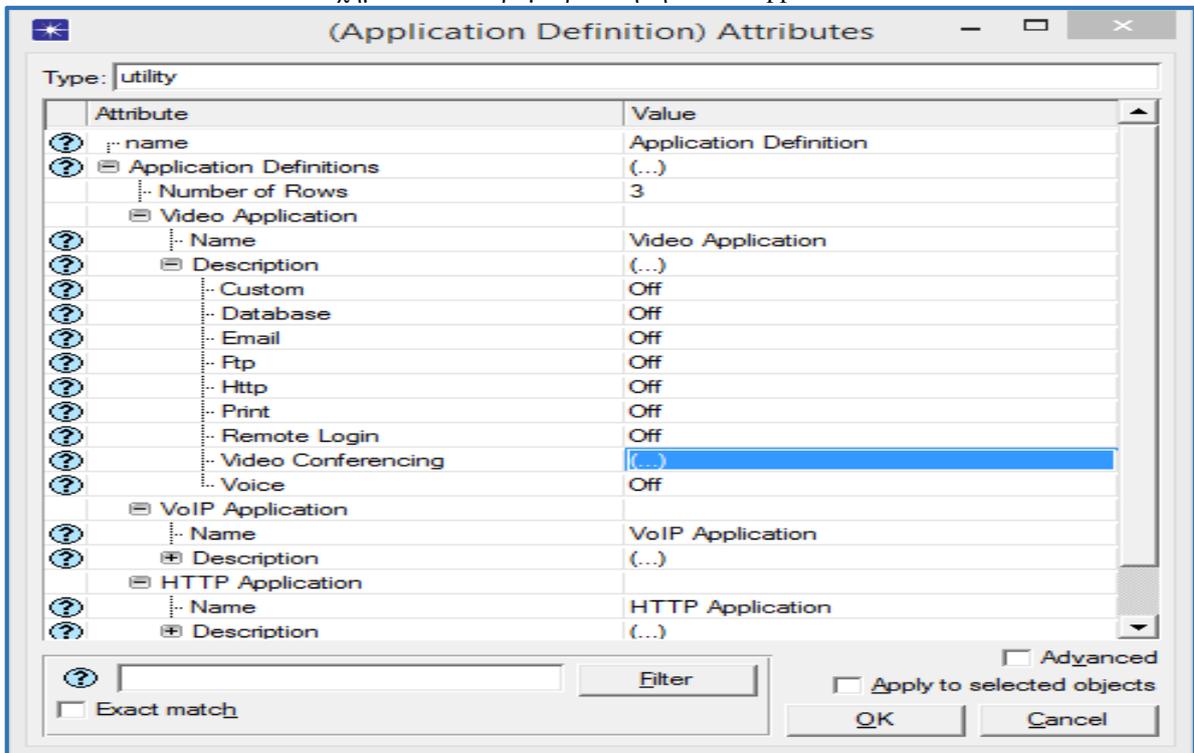
Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ότι δημιουργούμε τρεις rows (σειρές), στην ουσία τρεις παρεχόμενες υπηρεσίες.

Σχήμα 3-15 : Δημιουργία εφαρμογών που θα προσφέρουμε στους χρήστες

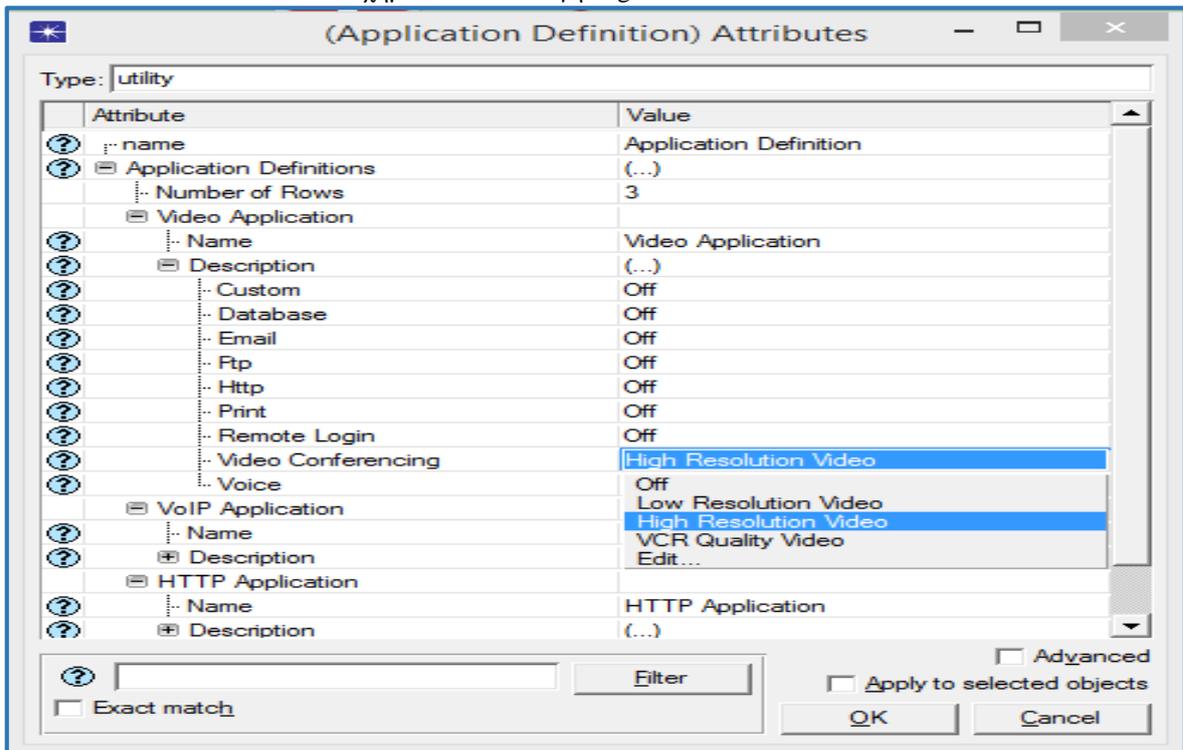


Στις παρακάτω εικόνες δείχνουμε πως θέλουμε να δημιουργήσουμε τηλεπικοινωνιακή κίνηση για κάποιους χρήστες και επιλέγουμε να προσφέρουμε υψηλής ποιότητας Video (High Resolution Video).

Σχήμα 3-16 : Παραμετροποίηση Video Application

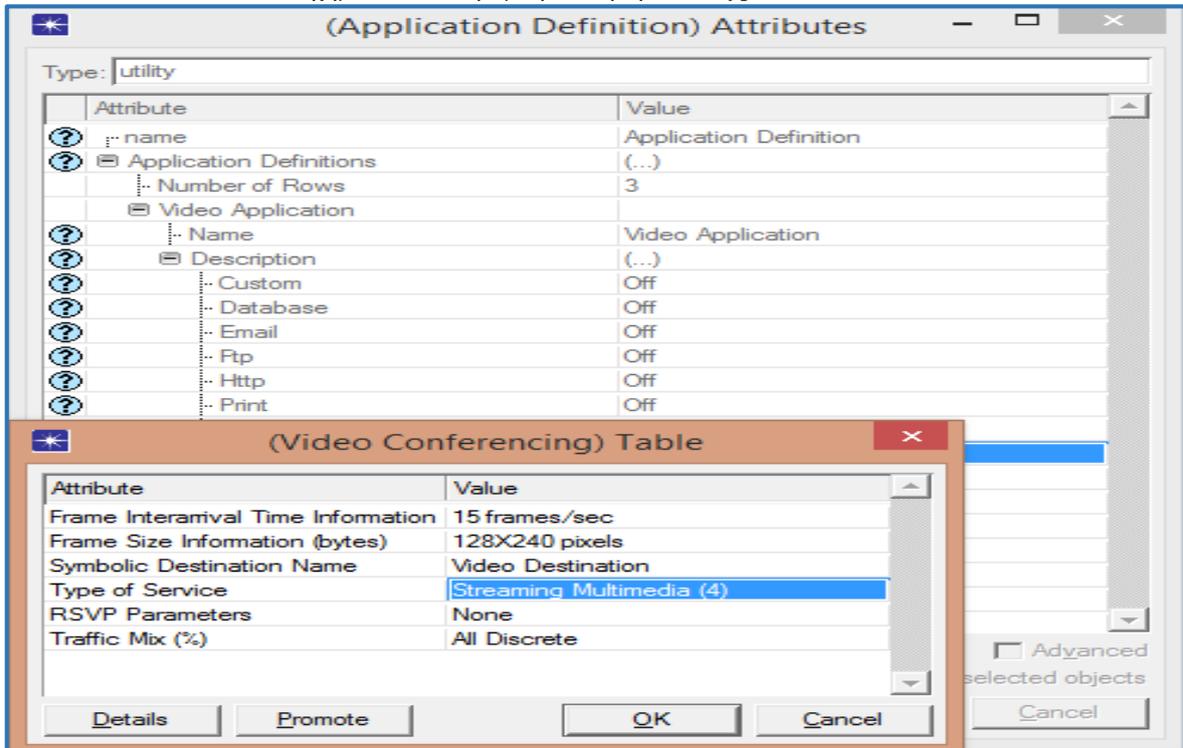


Σχήμα 3-17 : Επιλογή High Resolution Video



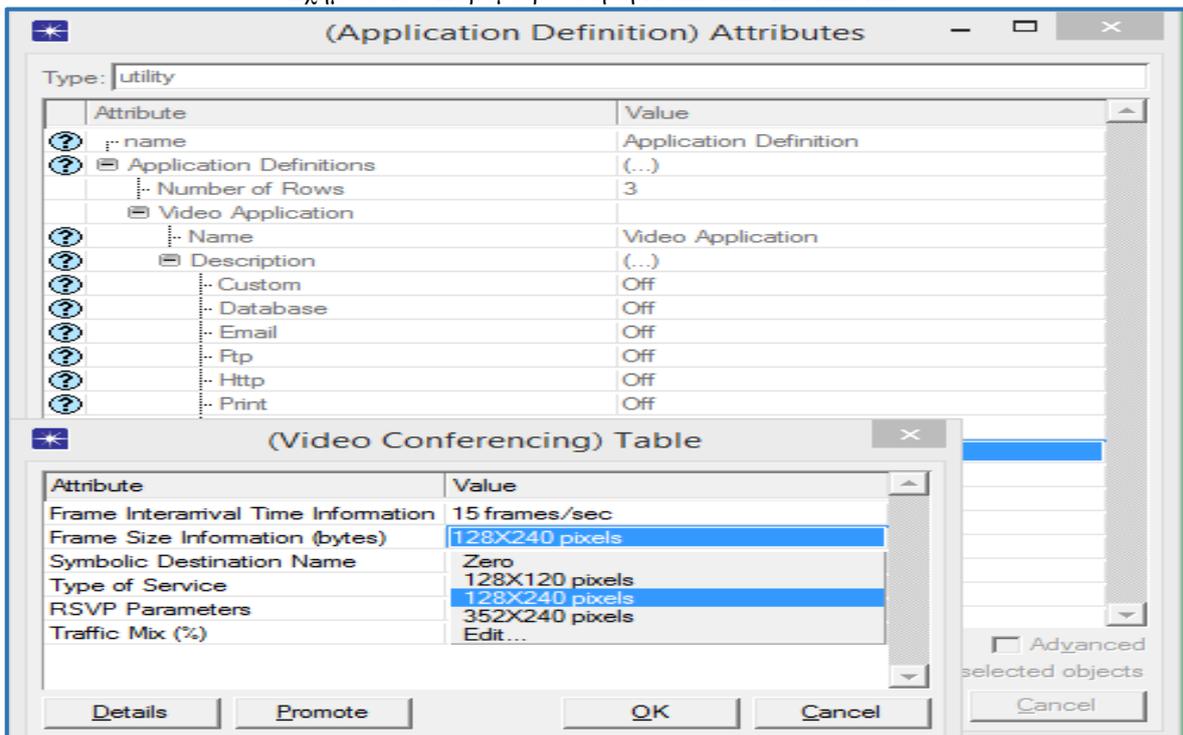
Σε αυτό το σημείο βλέπουμε ότι έχουμε την επιλογή να καθορίσουμε το Type of Service (ToS). Εμείς επιλέγουμε Interactive Multimedia.

Σχήμα 3-18 : Παραμετροποίηση ToS (Type of Service)

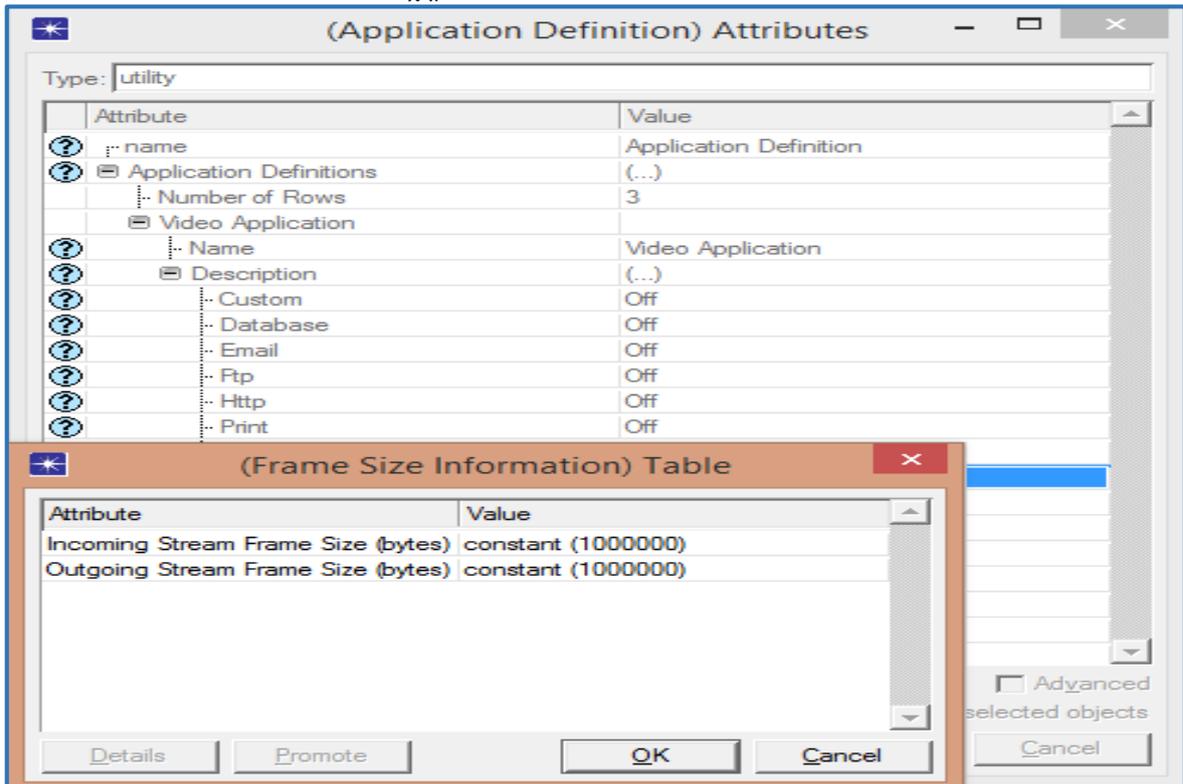


Στην συνέχεια παραμετροποιούμε το Frame size Information, το οποίο και καθορίζει σε μεγάλος βαθμό και την απόδοση του δικτύου σε throughput.

Σχήμα 3-19 : Παραμετροποίηση Frame Size Information

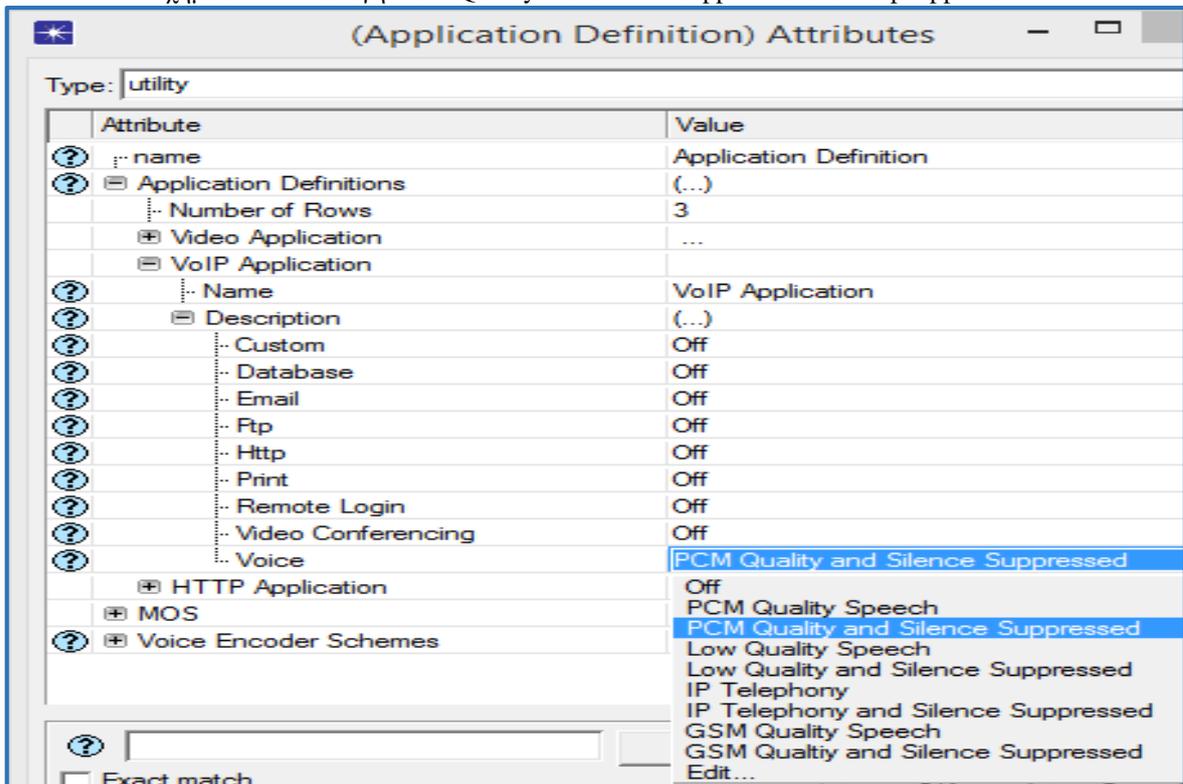


Σχήμα 3-20 : Frame Size Information



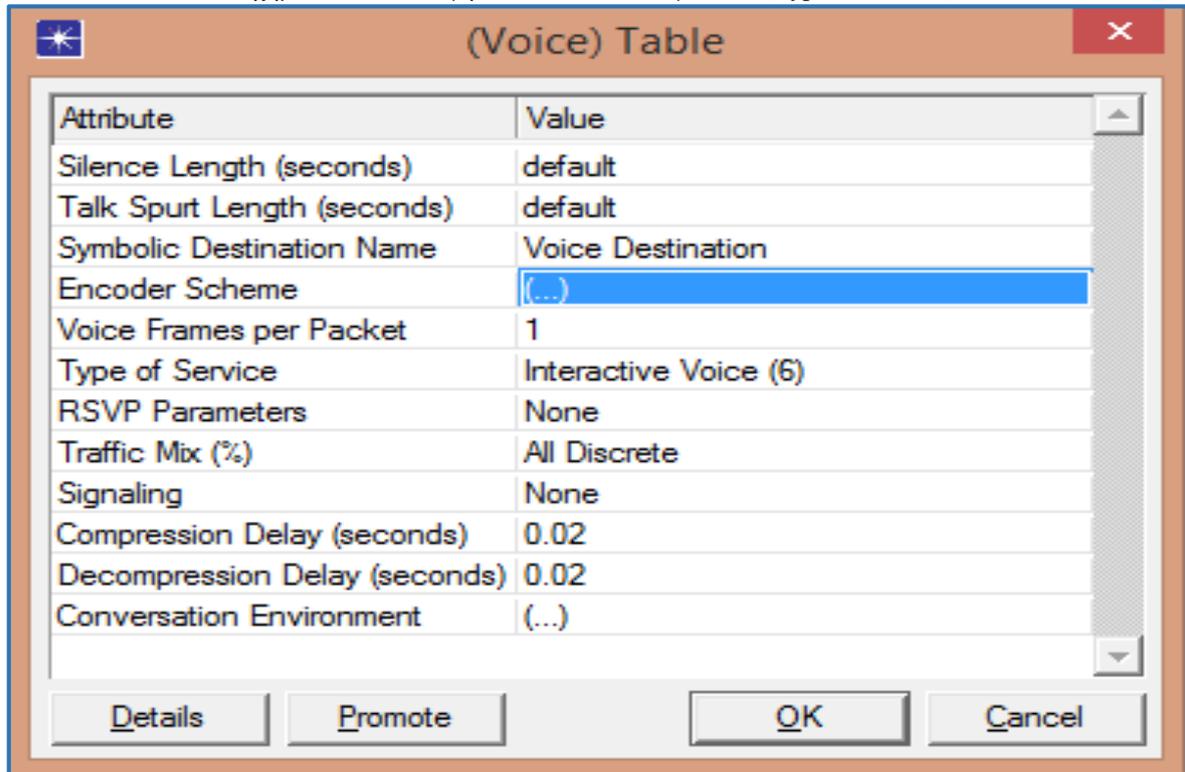
Παρακάτω συνεχίζουμε με την παραμετροποίηση του VoIP application. Επιλέγουμε να προσφέρουμε PCM Quality and Silence Suppressed.

Σχήμα 3-21 : Επιλογή PCM Quality and Silence Suppressed στο VoIP Application

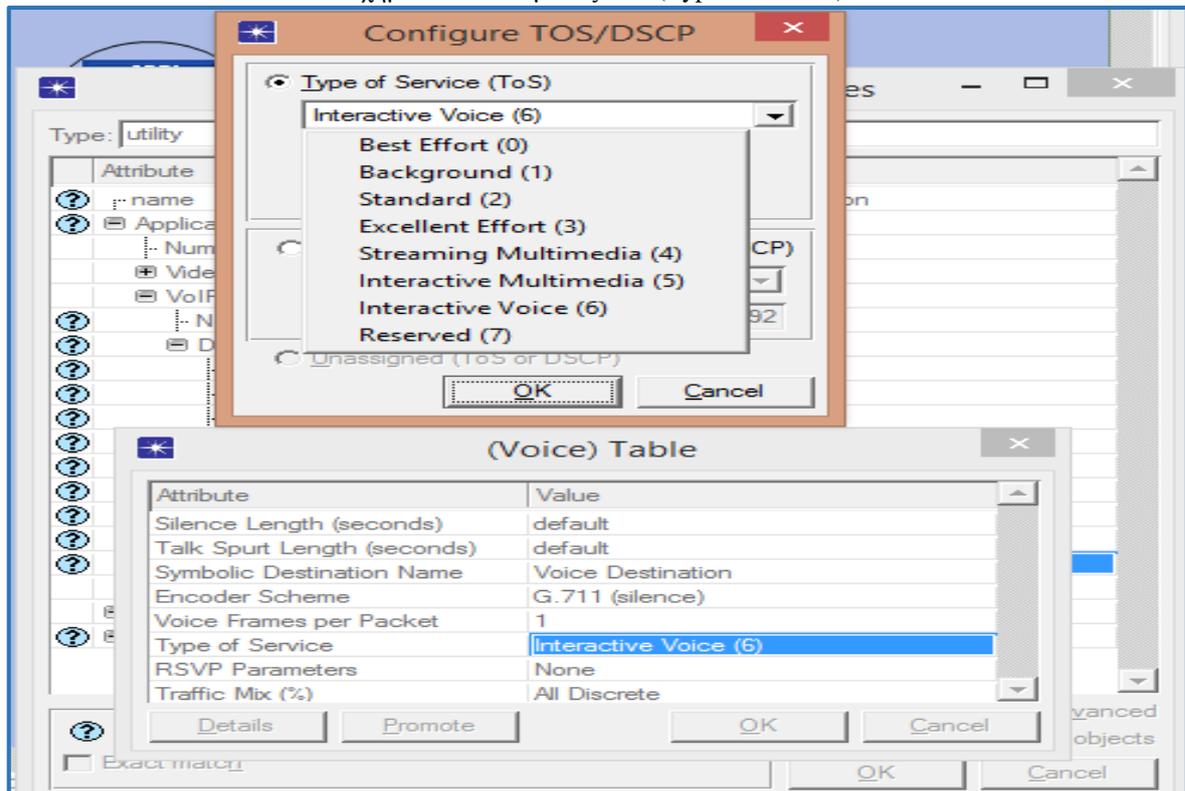


Στην μετάδοση φωνής το ToS (Type of Service) επιλέγουμε να είναι το Interactive Voice.

Σχήμα 3-22 : Επιλογή Interactive Voice για ToS (Type of Service)

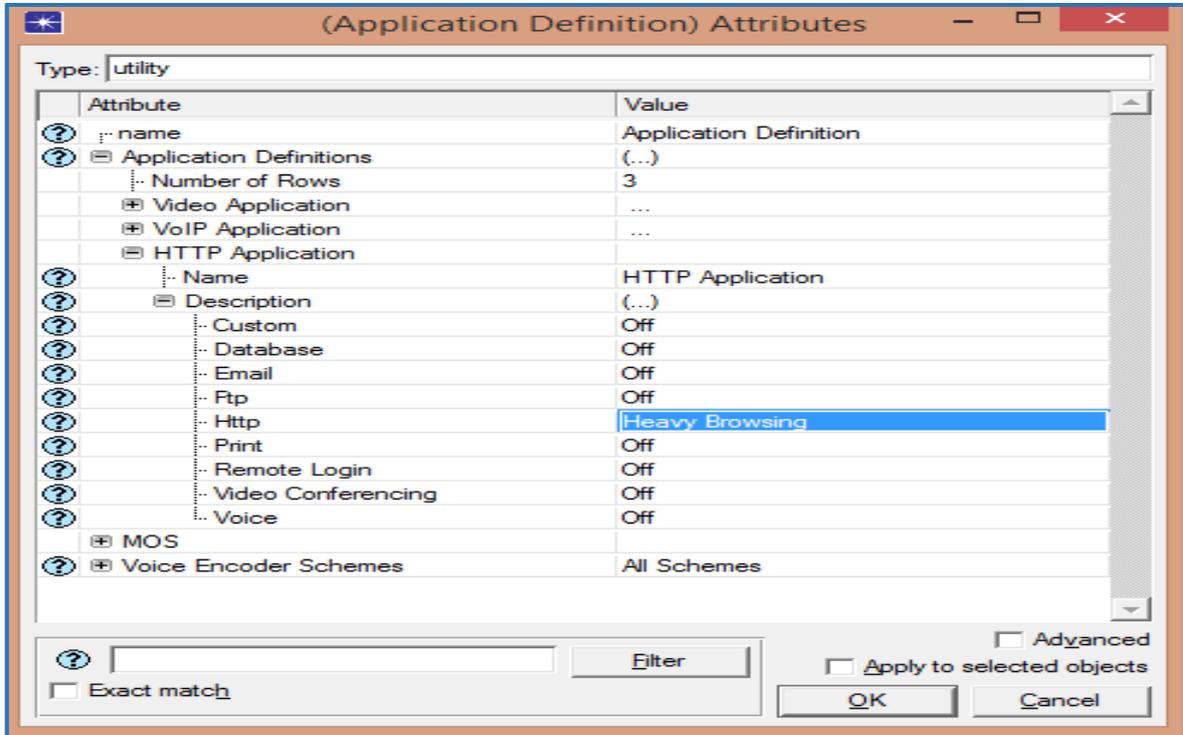


Σχήμα 3-23 : Ρυθμίσεις ToS (Type of Service)

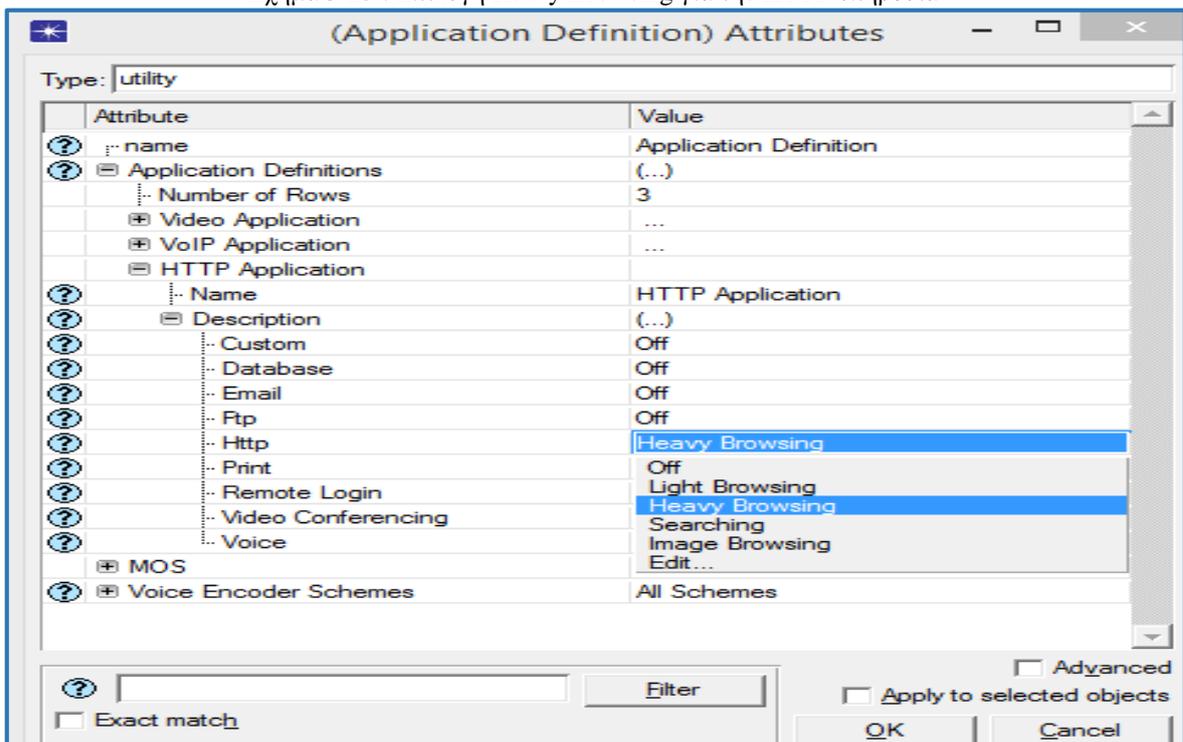


Και τέλος για την παροχή HTTP υπηρεσιών ρυθμίζουμε το HTTP σε Heavy Browsing για να τεστάρουμε την απόδοση του δικτύου σε μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Σχήμα 3-24 : Ρυθμίσεις για HTTP Application

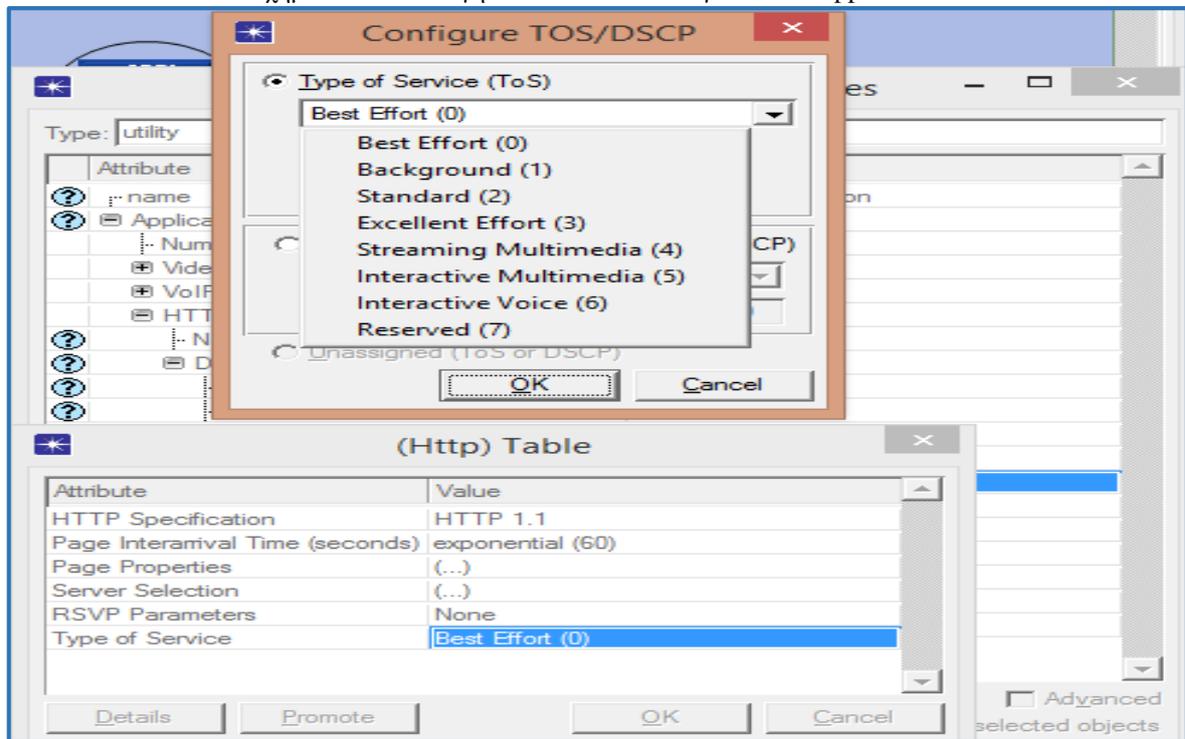


Σχήμα 3-25 : Επιλογή Heavy Browsing για την HTTP υπηρεσία



Τέλος το ToS (Type of Service) για την HTTP υπηρεσία το καθορίζουμε σε Best Effort.

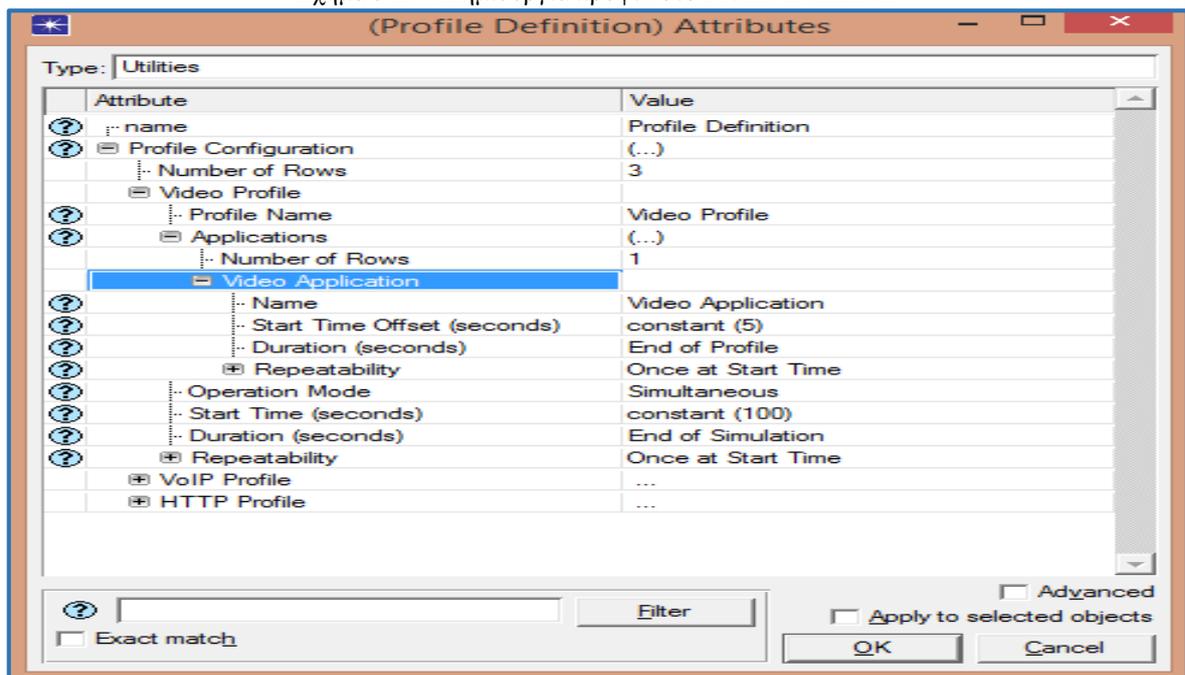
Σχήμα 3-26 : Επιλογή ToS σε Best Effort για HTTP Application



Συνεχίζοντας θα δούμε πως θα καθορίσουμε τις ρυθμίσεις για τον ορισμό προφίλ του φόρτου δικτύου (Profile Definition).

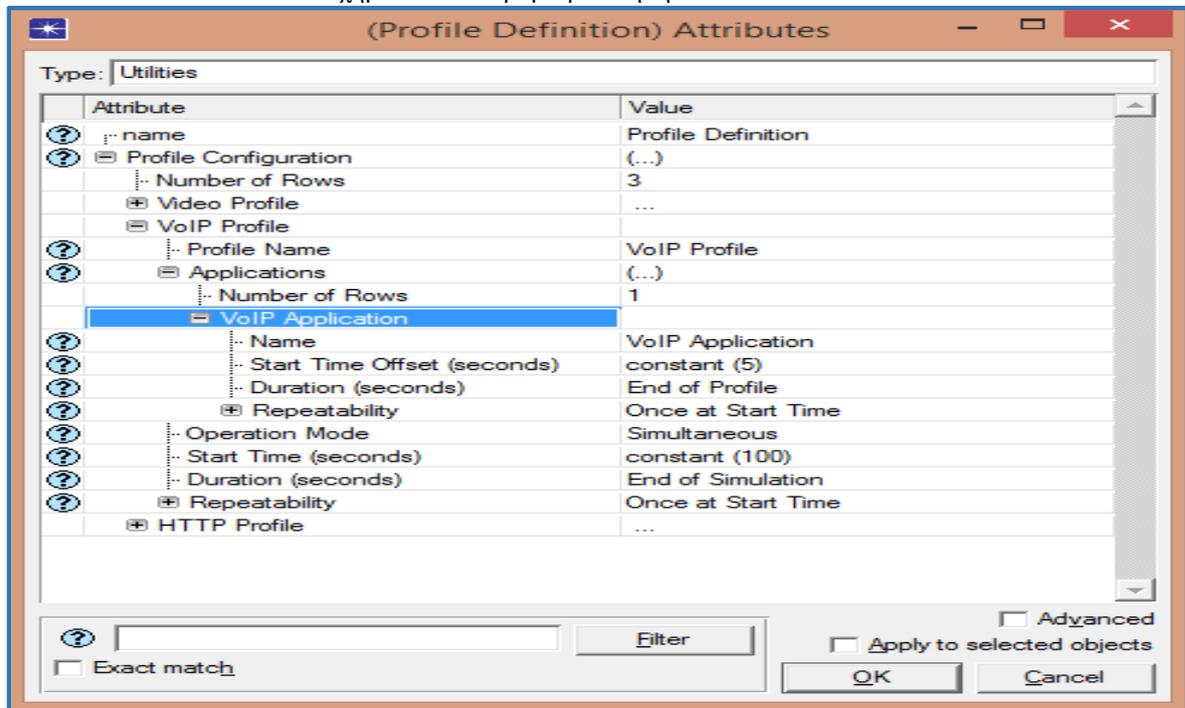
Βλέπουμε ότι δημιουργούμε και πάλι όπως και στο Application Definition 3 rows για να καθορίσουμε τις ρυθμίσεις των τριών προφίλ που έχουμε επιλέξει.

Σχήμα 3-27 : Δημιουργία προφίλ στο Profile Definition

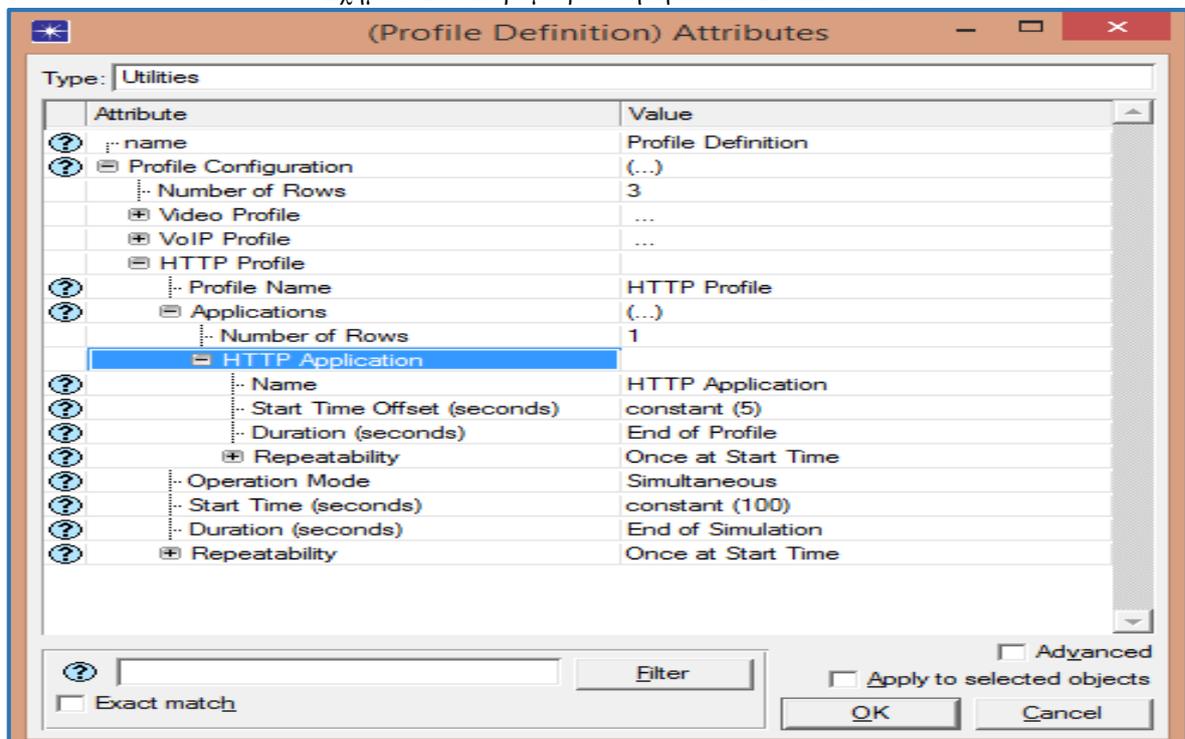


Δημιουργώντας τα προφίλ μας δίνετε η δυνατότητα να παραμετροποιήσουμε τις επιλογές που βλέπουμε στους πίνακες που παραθέτουμε.

Σχήμα 3-28 : Παραμετροποίηση Profile Definition

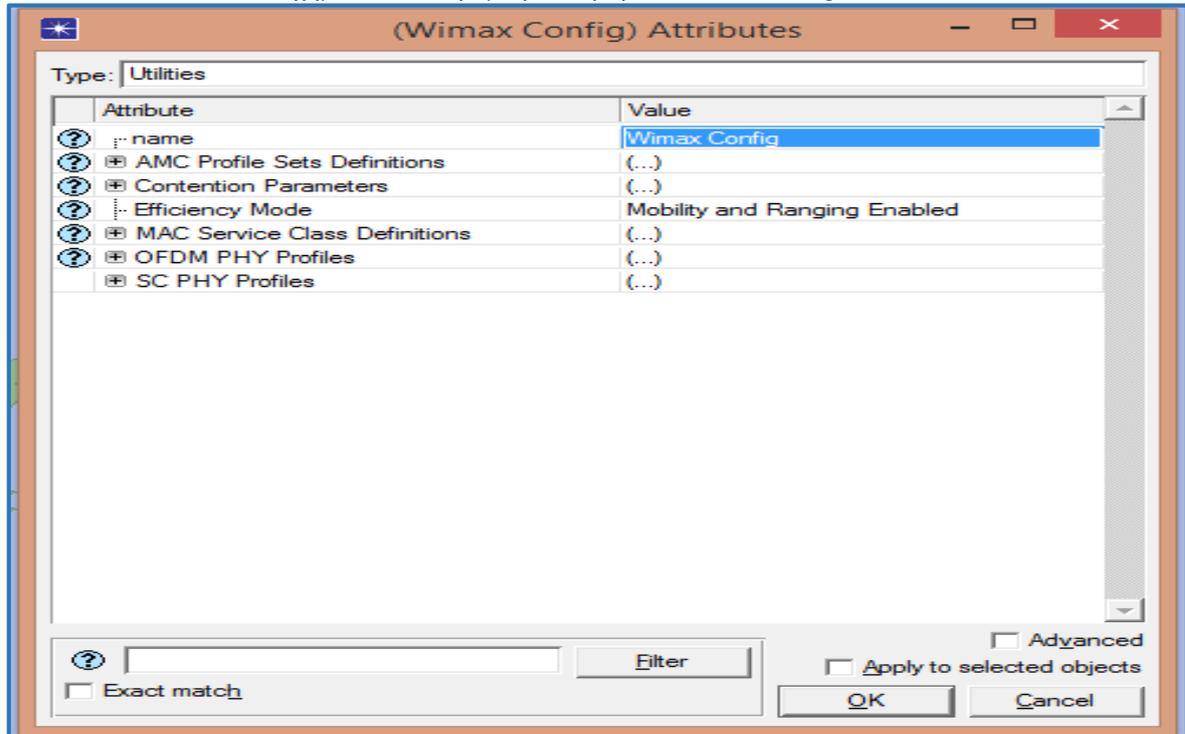


Σχήμα 3-29 : Παραμετροποίηση Profile Definition

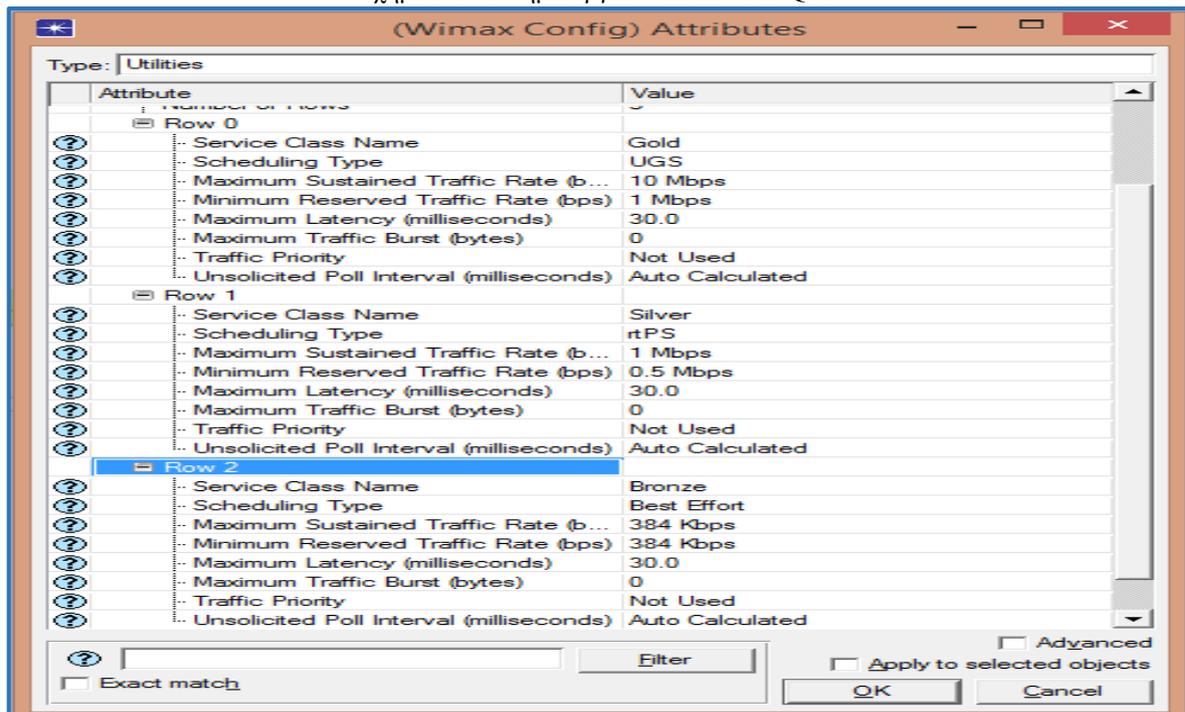


Όπως είδαμε και στην θεωρία, ένας βασικός δείκτης απόδοσης ενός δικτύου είναι το QoS (Quality of Service). Αυτό που θα δούμε στις παρακάτω εικόνες είναι τρεις τύποι ποιότητας υπηρεσίας οποίοι είναι μέρος του MAC layer τους οποίους δημιουργήσαμε και θα αντιστοιχήσουμε σε κάθε χρήστη ανάλογα με την υπηρεσία που θα του προσφέρουμε.

Σχήμα 3-30 : Παραμετροποίηση του Wimax Configuration



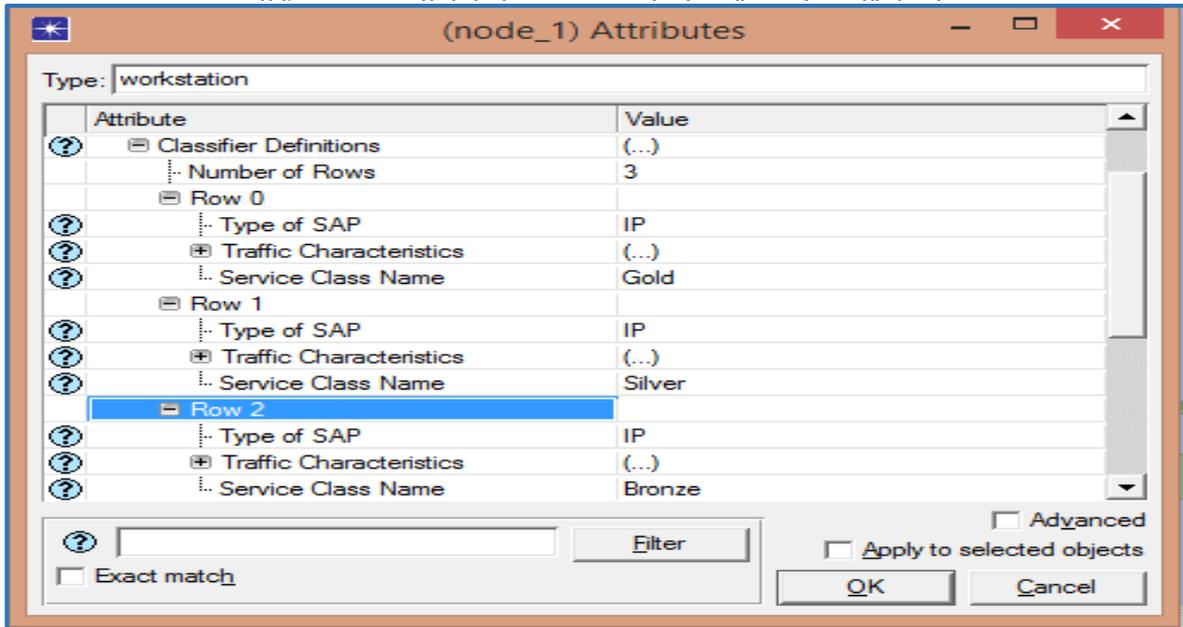
Σχήμα 3-31 : Δημιουργία κλάσεων στο QoS



Βλέπουμε τους τρεις τύπους ποιότητας υπηρεσίας που έχουμε δημιουργήσει. Ο πρώτος λέγεται UGS και αφορά υπηρεσίες παρακολούθησης Video on Demand. Ο δεύτερος ονομάζεται rtPS και είναι κατάλληλος για υπηρεσίες φωνής (VoIP). Και ο τρίτος είναι ο Best Effort ο οποίος είναι κατάλληλος για υπηρεσίες FTP και HTTP.

Στην παρακάτω εικόνα λοιπόν δείχνουμε την αντιστοίχιση της ποιότητας υπηρεσίας ανάλογα με την υπηρεσία που προσφέρουμε στο χρήστη.

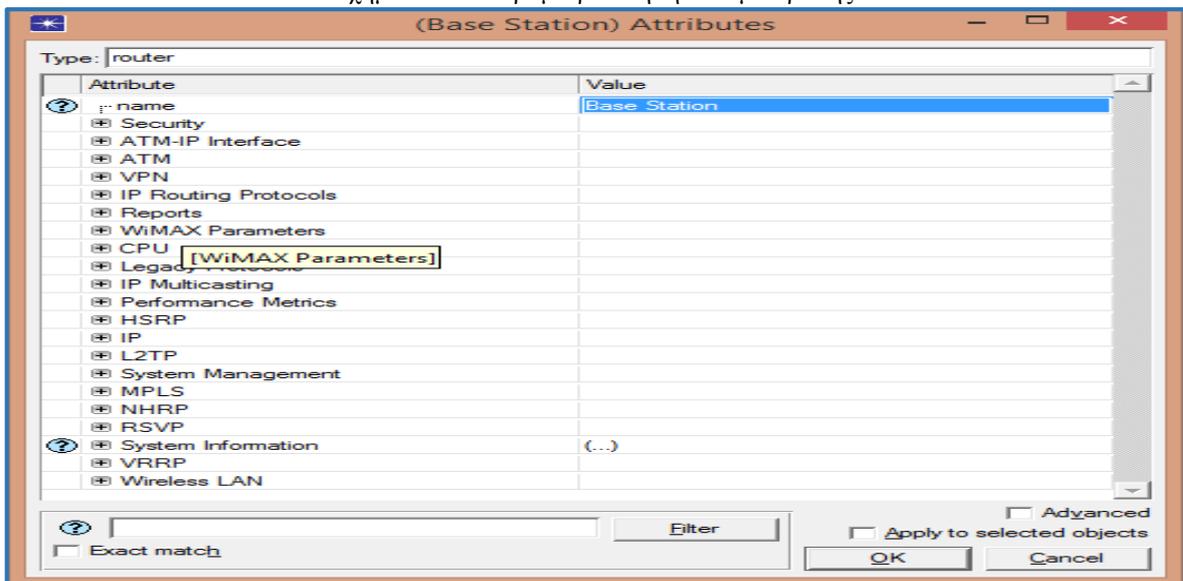
Σχήμα 3-32 : Εκχώρηση τύπου ποιότητας υπηρεσίας στο χρήστη



Το Gold αναφέρεται στον UGS τύπο ποιότητας υπηρεσίας, το silver στον rtPS και το bronze στον best effort.

Συνεχίζοντας θα δούμε την παραμετροποίηση των σταθμών βάσης, των server και των κόμβων έτσι ώστε να υποστηρίζεται ο φόρτος κίνησης τον οποίο έχουμε δημιουργήσει από την προσθήκη των application definition και profile definition.

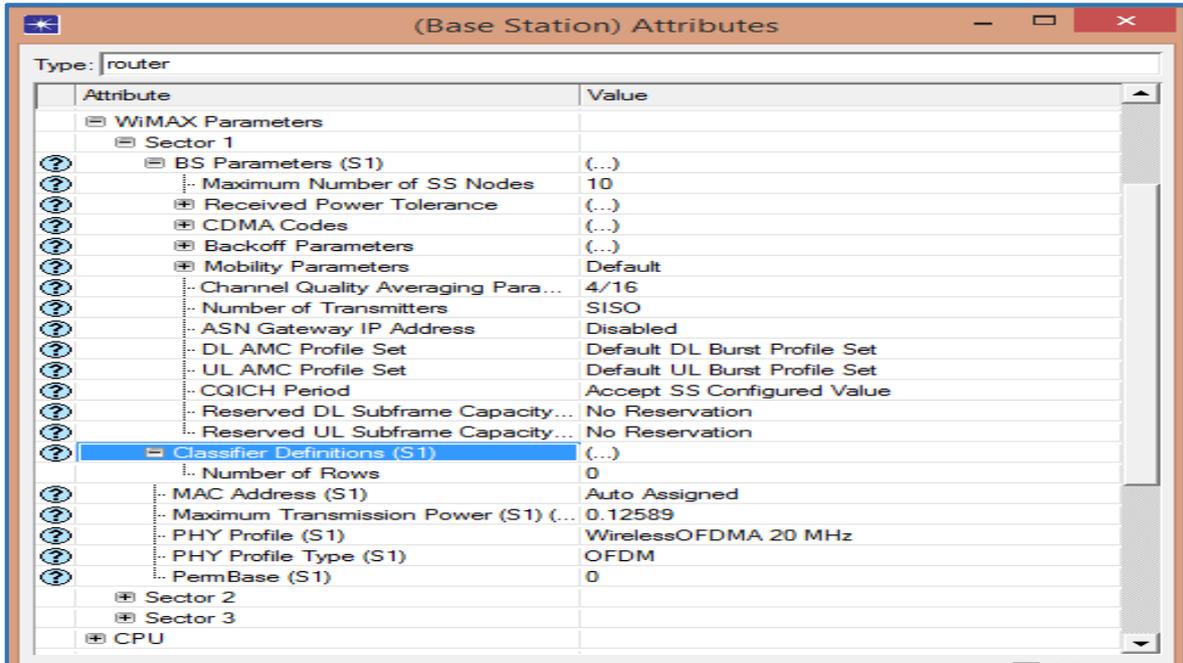
Σχήμα 3-33 : Παραμετροποίηση σταθμού βάσης



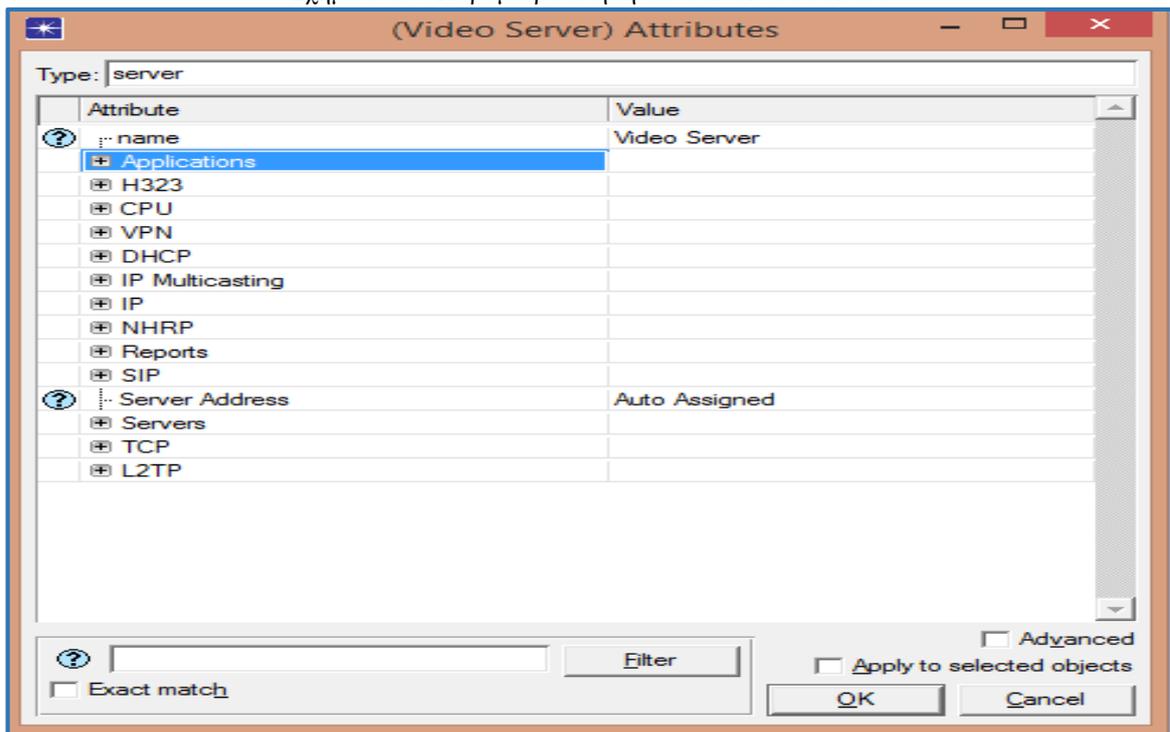
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε όλες τις λειτουργίες του σταθμού βάσης που μπορούμε να παραμετροποιήσουμε σχετικά με τις παραμέτρους του Wimax και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Επίσης μπορούμε να καθορίσουμε το ύψος της κεραίας, το κέρδος της κεραίας, την ισχύ της και το πόσους χρήστες μπορεί να υποστηρίξει ο κάθε σταθμός βάσης.

Επίσης μπορούμε να παραμετροποιήσουμε το προφίλ φυσικού μέσου (PHY layer) που θα χρησιμοποιήσουμε, καθώς επίσης και να ορίσουμε την MAC address του σταθμού βάσης.

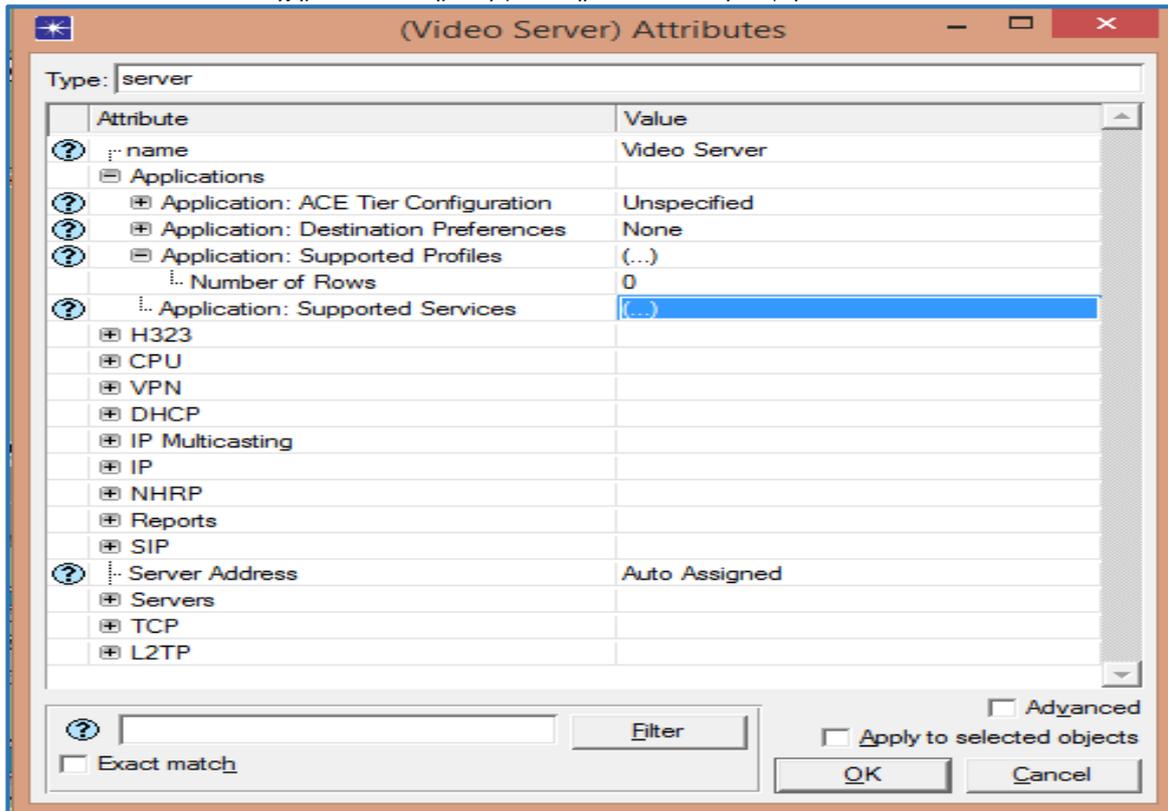
Σχήμα 3-34 : Λειτουργίες σταθμού βάσης



Σχήμα 3-35 : Παραμετροποίηση των server του δικτύου

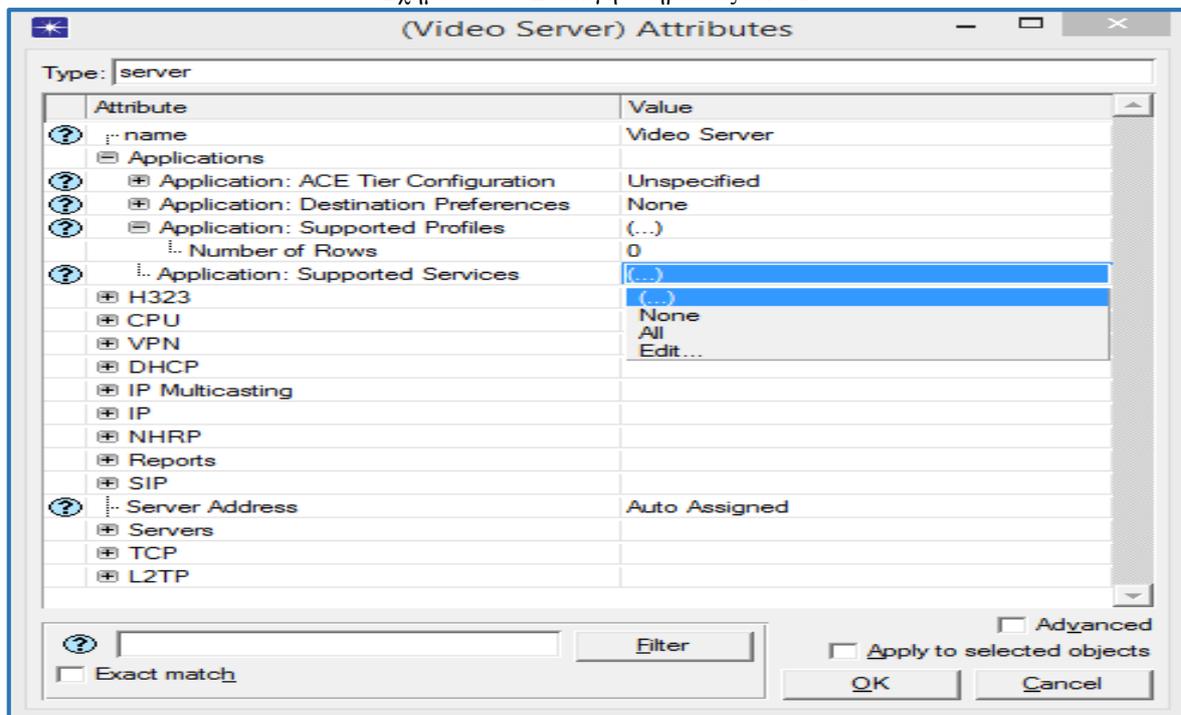


Σχήμα 3-36 : Δημιουργία υπηρεσιών που προσφέρει ο server

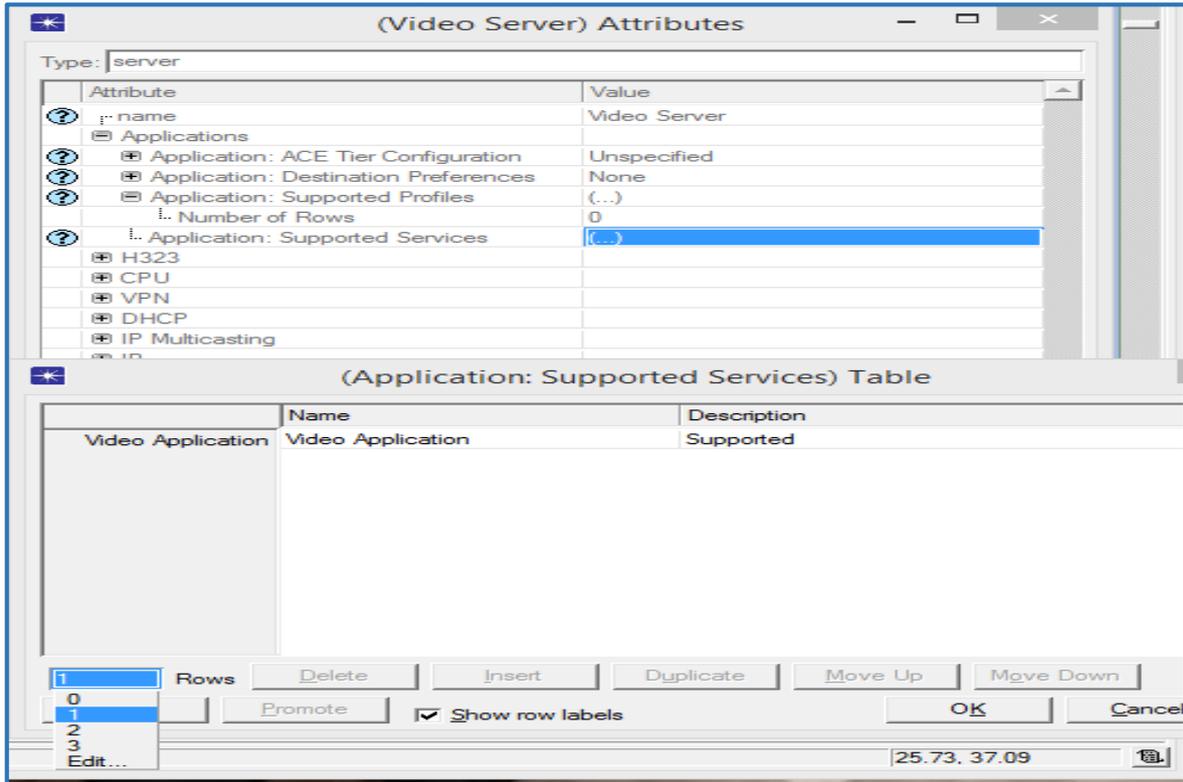


Στην επιλογή Supported Services θα κάνουμε προσθήκη μίας σειράς, η οποία και αφορά την εφαρμογή που θα προσφέρει ο συγκεκριμένος server στους χρήστες.

Σχήμα 3-37 : Επιλογή υπηρεσίας server

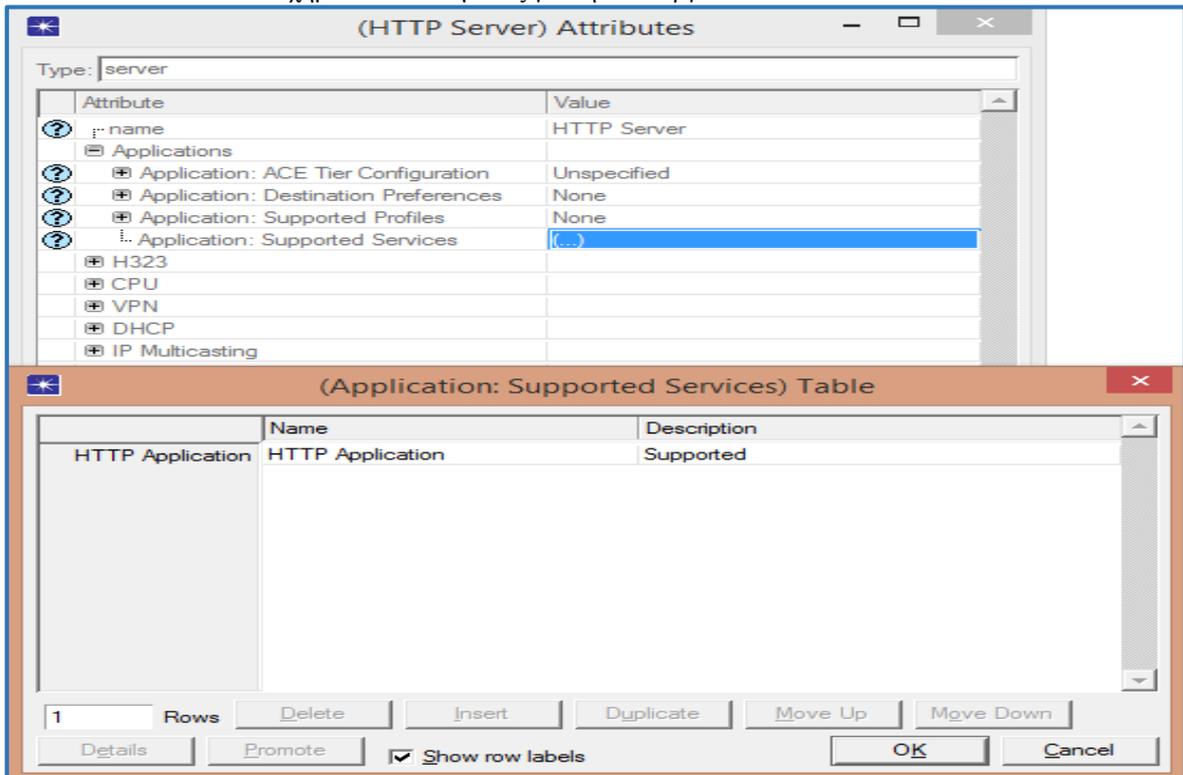


Σχήμα 3-38 : Δημιουργία Video Server



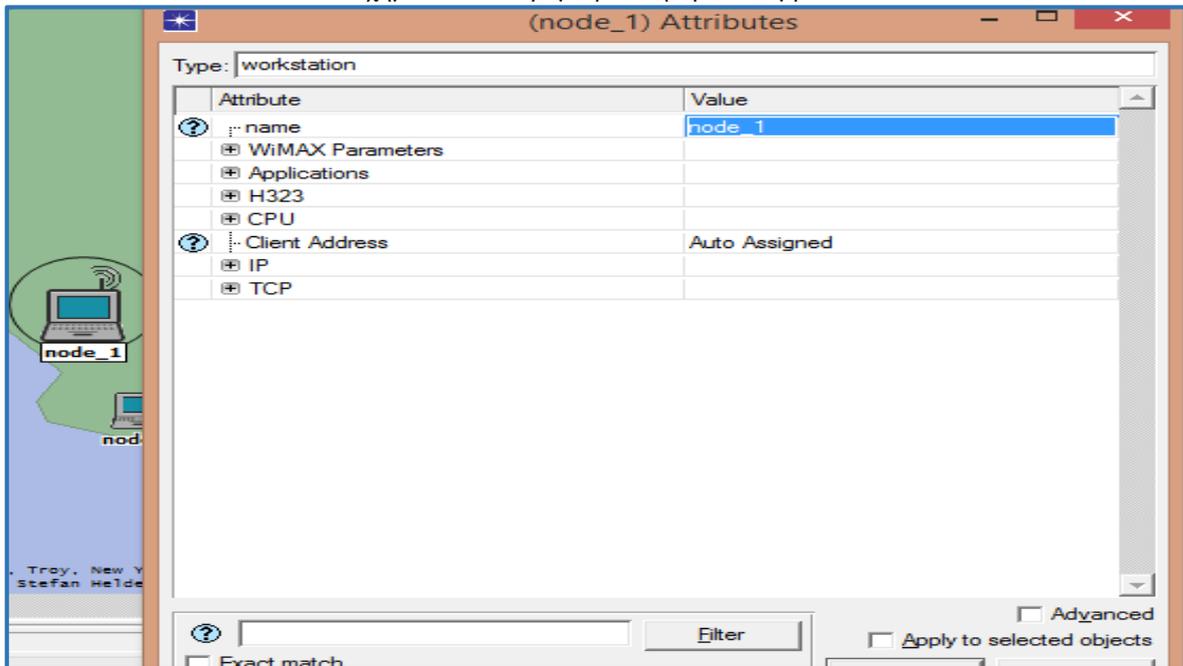
Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθείται για την παραμετροποίηση του HTTP Server.

Σχήμα 3-39 : Ρυθμίσεις για τη λειτουργία του HTTP Server

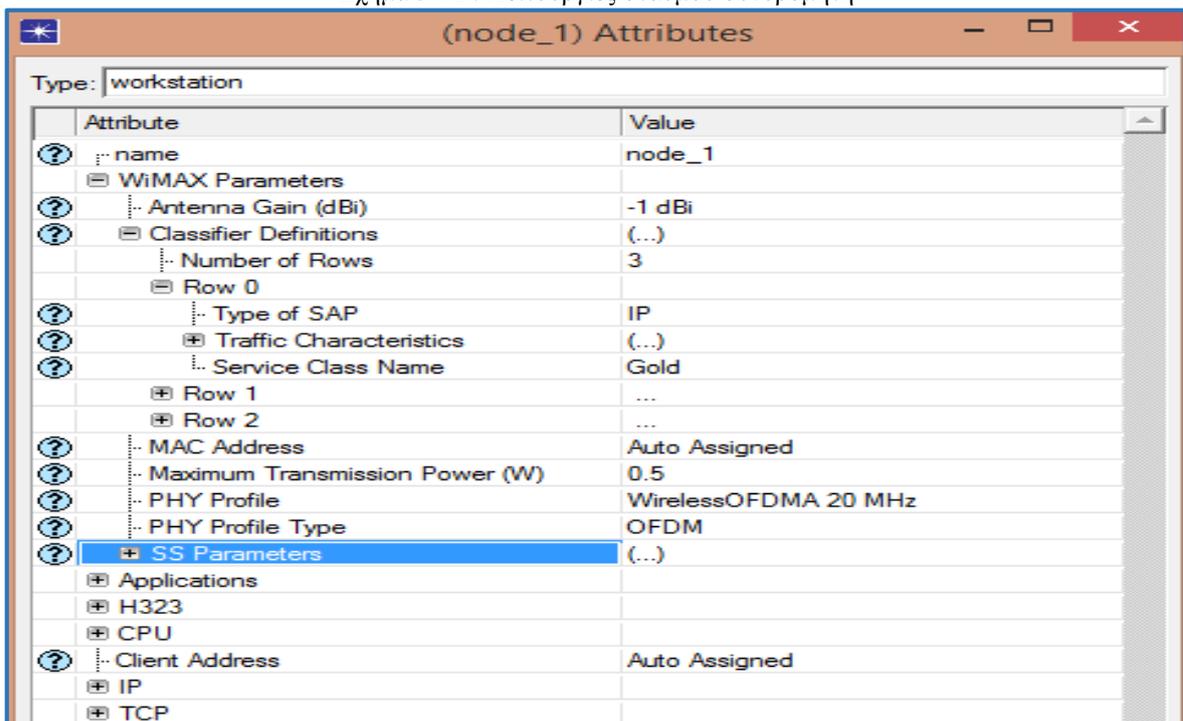


Σε αυτό το σημείο θα δούμε την διαδικασία παραμετροποίησης των κόμβων του δικτύου. Όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα χρήστη στον οποίο θα παρέχουμε και τις τρεις υπηρεσίες (VoD, VoIP, HTTP) θα ακολουθήσουμε την διαδικασία που βλέπουμε στις παρακάτω εικόνες.

Σχήμα 3-40 : Παραμετροποίηση των κόμβων



Σχήμα 3-41 : Λειτουργίες σταθμού συνδρομητή



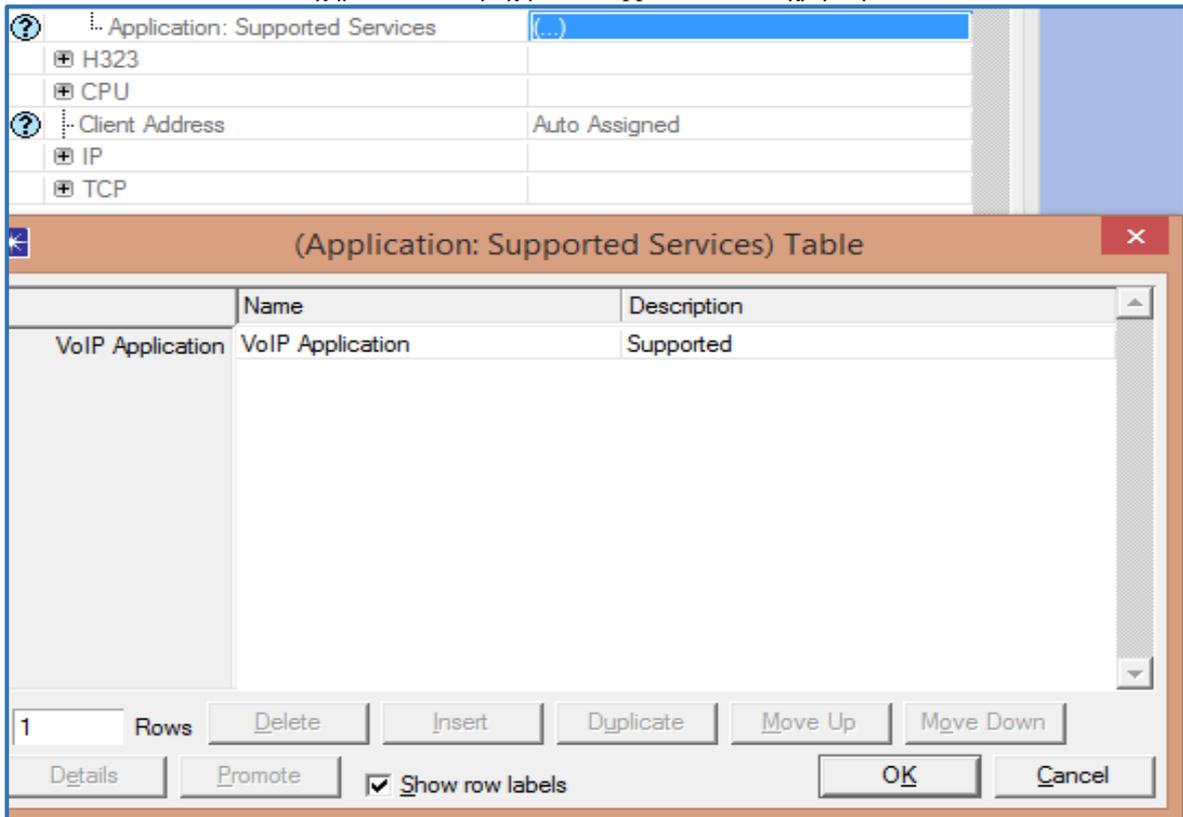
Σχήμα 3-42 : Ρυθμίσεις σταθμού συνδρομητή

?	[-] SS Parameters	(...)
?	... BS MAC Address	Distance Based
?	[+] Downlink Service Flows	(...)
?	[+] Uplink Service Flows	(...)
?	... Multipath Channel Model	ITU Pedestrian A
	[+] Pathloss Parameters	Free Space
?	... Ranging Power Step (mW)	0.25
?	[+] Timers	Default
?	... Contention Ranging Retries	16
?	[+] Mobility Parameters	Default
	[+] HARQ Parameters	(...)
?	... Piggyback BW Request	Enabled
?	... CQICH Period	3
?	... Contention-Based Reservation Tim...	16
?	... Request Retries	16

Σχήμα 3-43 : Υπηρεσίες τις οποίες θα παρέχονται στο χρήστη

Type: workstation		
Attribute	Value	
?	... name	node_1
	[+] WiMAX Parameters	
	[-] Applications	
?	[+] Application: ACE Tier Configuration	Unspecified
?	[+] Application: Destination Preferences	None
?	[-] Application: Supported Profiles	(...)
	... Number of Rows	3
	[+] VoIP Profile	...
	[+] Video Profile	...
	[+] HTTP Profile	...
?	... Application: Supported Services	(...)
	[+] H323	
	[+] CPU	
?	... Client Address	Auto Assigned
	[+] IP	
	[+] TCP	

Σχήμα 3-44 : Παροχή VoIP Application στο χρήστη 1



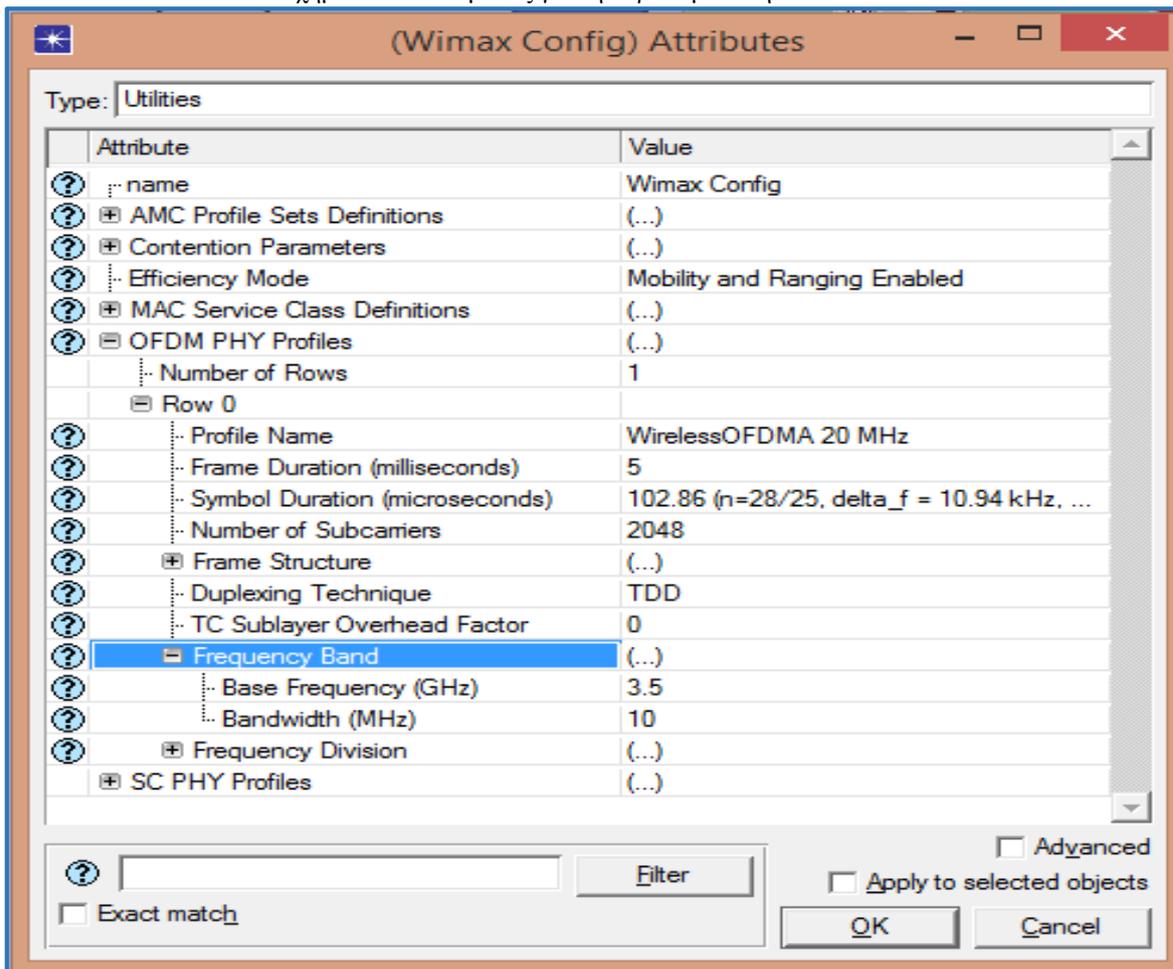
Βλέπουμε στα σχήματα 3-43 και 3-44 στο παράδειγμα του χρήστη 1 ότι στο Supported Profiles προσθέτουμε τρεις σειρές, μία για το κάθε προφίλ που έχουμε δημιουργήσει. Στο Supported Services δημιουργούμε μία σειρά, για την υπηρεσία VoIP.

Φυσικά επιλέγουμε σε ποιους χρήστες και ποιες υπηρεσίες έχει ανάγκη ο κάθε χρήστης και ρυθμίζουμε τις λειτουργίες του κάθε κόμβου ανάλογα έτσι ώστε να κάνουμε και τις απαραίτητες δοκιμές. Επίσης βλέπουμε ότι μπορούμε να καθορίσουμε διάφορες λειτουργίες ενός κόμβου ο οποίος είναι μέρος του δικτύου.

Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τις ρυθμίσεις που επιλέξαμε για να πραγματοποιήσουμε την προσομοίωση μας.

Για την προσομοίωση δικτύου μας επιλέγουμε κεντρική συχνότητα την 3.5 GHz η οποία είναι και η νόμιμη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Εύρος ζώνης συχνότητας επιλέγουμε κανάλι των 10 MHz για να έχουμε όσο δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση στο δίκτυο μας, καθώς είναι η ιδανική για την συχνότητα των 3.5 GHz.

Σχήμα 3-45 : Ρυθμίσεις για την προσομοίωση του δικτύου



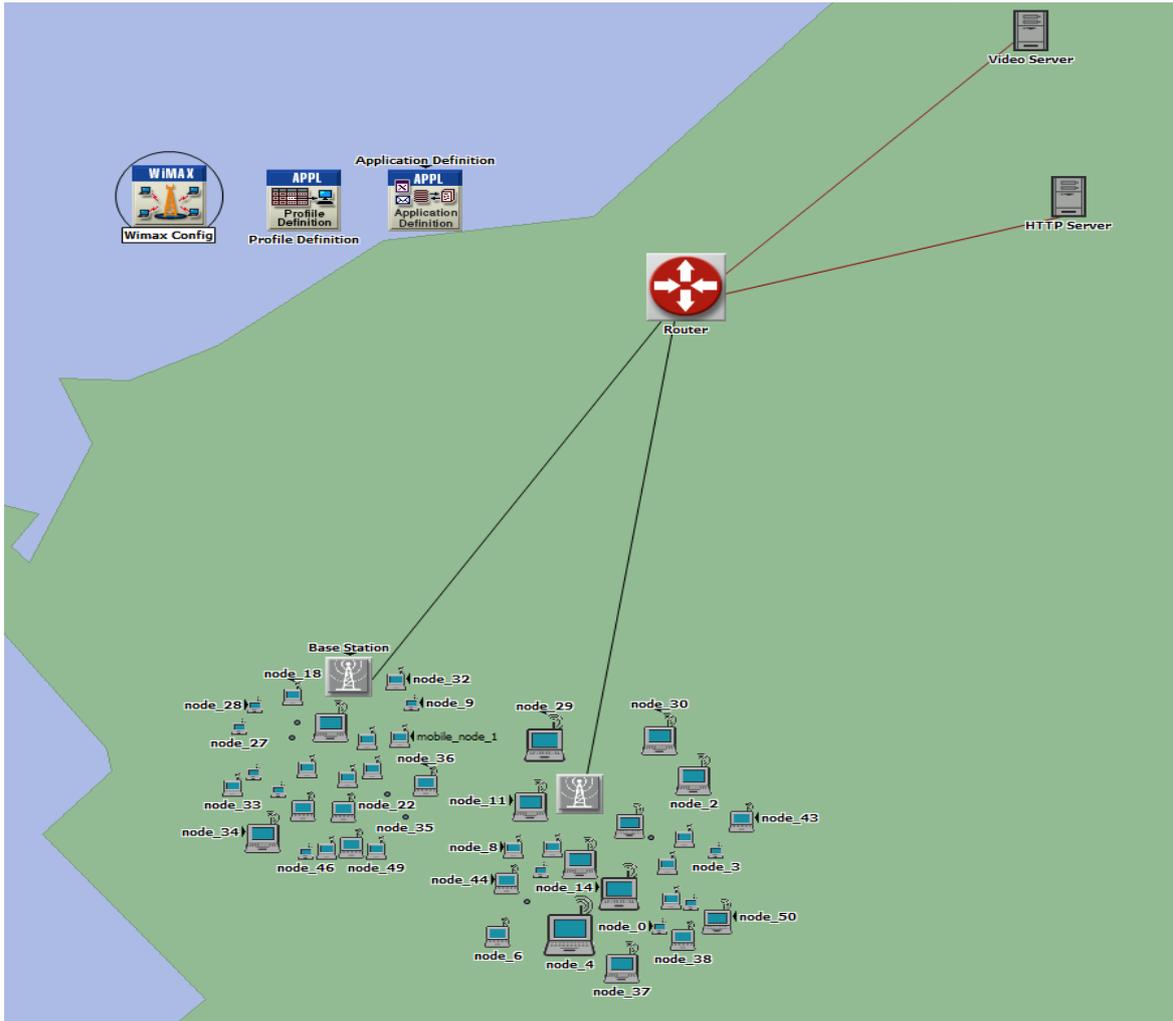
Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι ο η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιήσαμε είναι η OFDMA 2048 σημείων με εύρος καναλιού τα 10 MHz, καθώς το IEEE 802.16 πρότυπο υποστηρίζει πολλαπλές υλοποιήσεις φυσικού στρώματος του Wimax. Επιλέγουμε εύρος συχνοτήτων 10 MHz διότι βάσει της θεωρίας, για τις συχνότητες των 3.5 GHz είναι το ιδανικό εύρος συχνοτήτων για την καλύτερη απόδοση του δικτύου.

Όπως έχουμε αναφέρει και στη θεωρία το Wimax υποστηρίζει προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding - AMC) που επιτρέπει τη διαφοροποίηση των ρυθμών μετάδοσης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίαυλο και την απόσταση από το σταθμό βάσης.

Όσον αφορά την ισχύς των κεραιών σταθμού βάσης και σταθμού συνδρομητή ισχύει η απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών και ταχυδρομείων, η οποία αναφέρει ότι η ακτινοβολούμενη ισχύς μίας κεραίας η οποία εκπέμπει στην συχνότητα των 3.5 GHz δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 dBm (1W). Έτσι λοιπόν η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης θα είναι 21 dBm (125,89 mW – 0.12589 W) και το κέρδος της κεραίας θα είναι 9 dBi. Για το σταθμό συνδρομητή το κέρδος της κεραίας θα είναι 10 dBi και η ισχύς εκπομπής 20 dBm (100 mW – 0.1 W). Να τονίσουμε εδώ ότι το OPNET δεν μοντελοποιεί κάποια απώλεια της κεραίας εκπομπής.

Φτάνοντας σε αυτό το σημείο λοιπόν μπορούμε να δούμε και τον χάρτη του δικτύου μας.

Σχήμα 3-46 : Τελική μορφή του δικτύου μας στο χάρτη (50 Χρήστες)



3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ RADIO MOBILE

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα δούμε βήμα-βήμα την κατασκευή του ασύρματου δικτύου και την μελέτη με την βοήθεια του λογισμικού Radio Mobile.

Παρακάτω βλέπουμε την εκκίνηση δημιουργίας του δικτύου μας. Δημιουργούμε ένα δίκτυο με περισσότερες μονάδες και συνδέσεις από ότι απαιτεί η προσομοίωση μας.

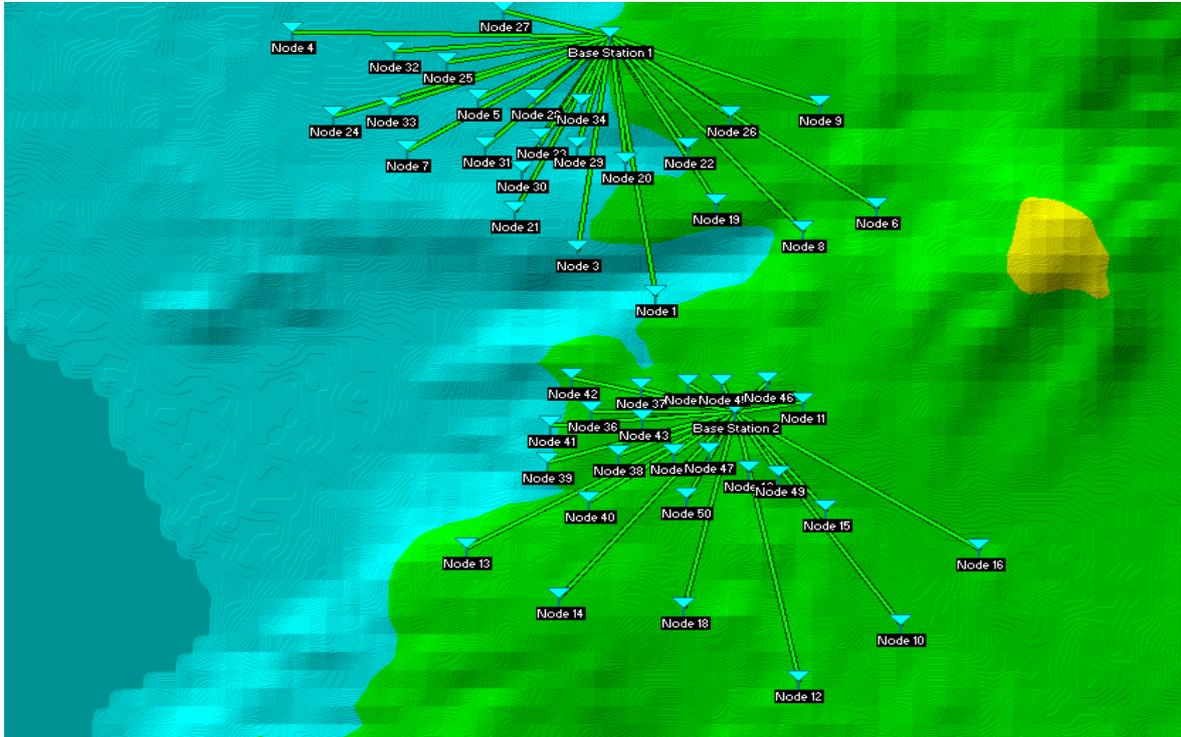
Σχήμα 3-47 : Δημιουργία Δικτύου σε Radio Mobile

Στην συνέχεια θα τοποθετήσουμε τους Base Stations και τους Subscriber Stations βάσει των συντεταγμένων τους.

Σχήμα 3-48 : Ρυθμίσεις Σταθμών βάσης και σταθμών συνδρομητών

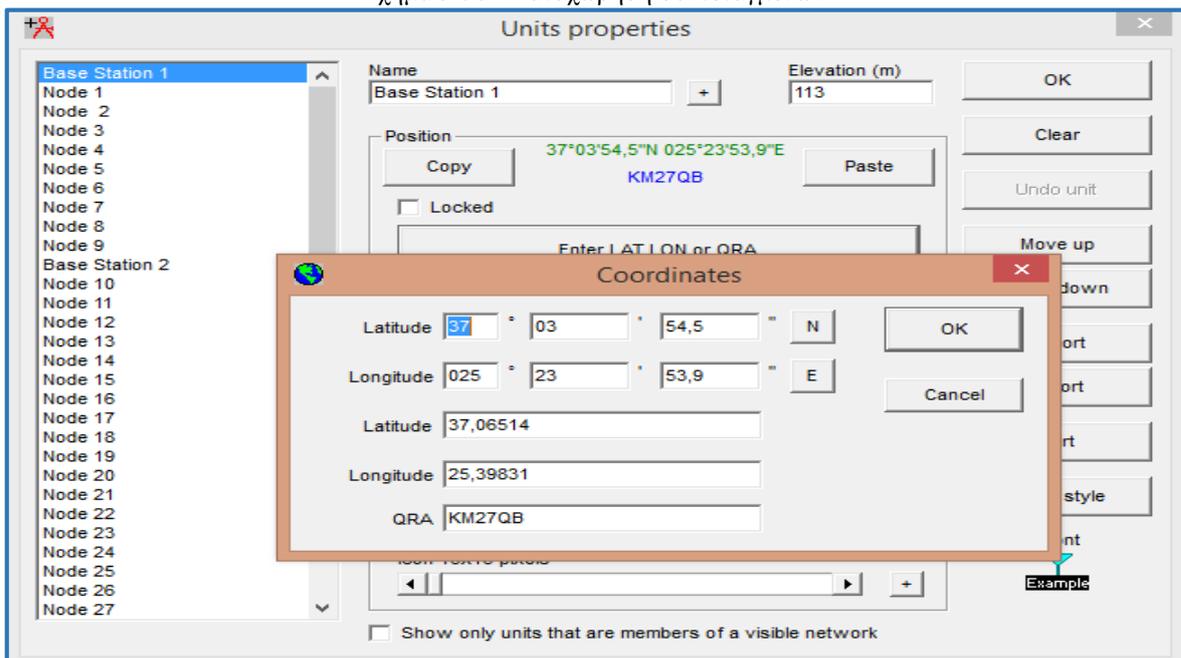
Η απεικόνιση των στοιχείων στο χάρτη θα είναι όπως την βλέπουμε παρακάτω. Το μέγεθος του χάρτη που χρησιμοποιούμε είναι 800x400 (Width x Height) και το ύψος από το οποίο βλέπουμε το χάρτη θα είναι 10 χλμ.

Σχήμα 3-49 : Απεικόνιση του δικτύου στο χάρτη



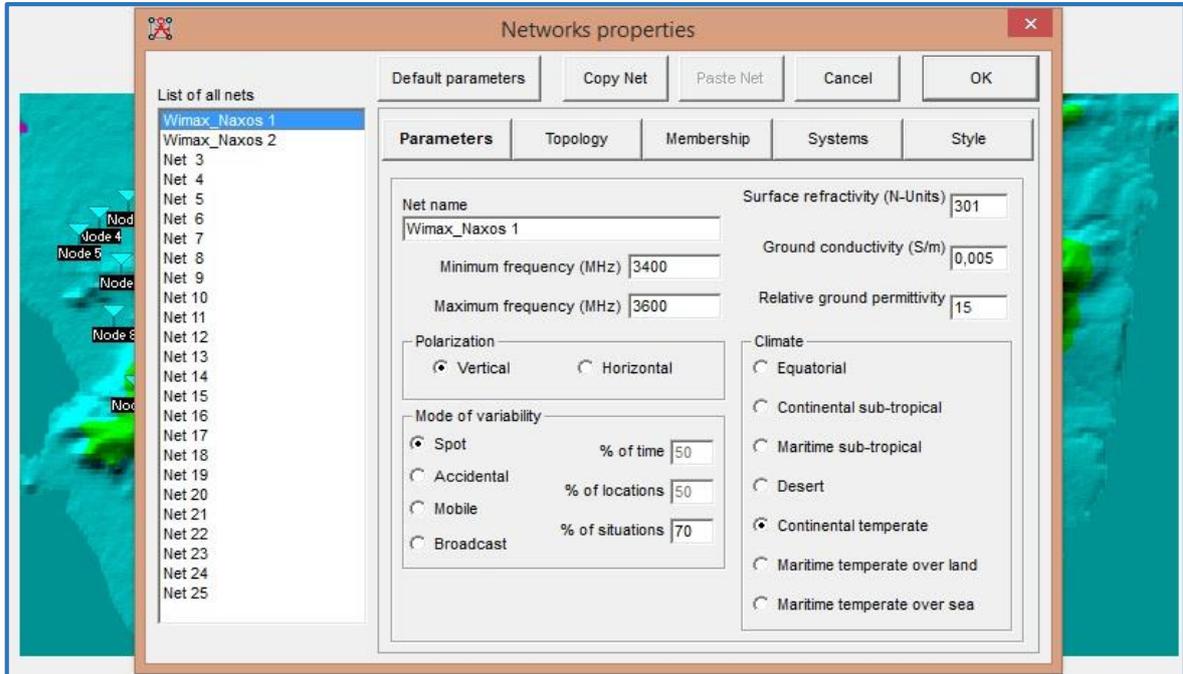
Με τον τρόπο που βλέπουμε παρακάτω μπορούμε να καθορίσουμε τις συντεταγμένες κάθε κόμβου.

Σχήμα 3-50 : Καταχώρηση συντεταγμένων



Στη συνέχεια παρουσιάζετε η ρύθμιση παραμέτρων του κάθε δικτύου. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται οι ζεύξεις οι οποίες παρουσιάζονται ανά ζεύγος κάθε ζεύξης.

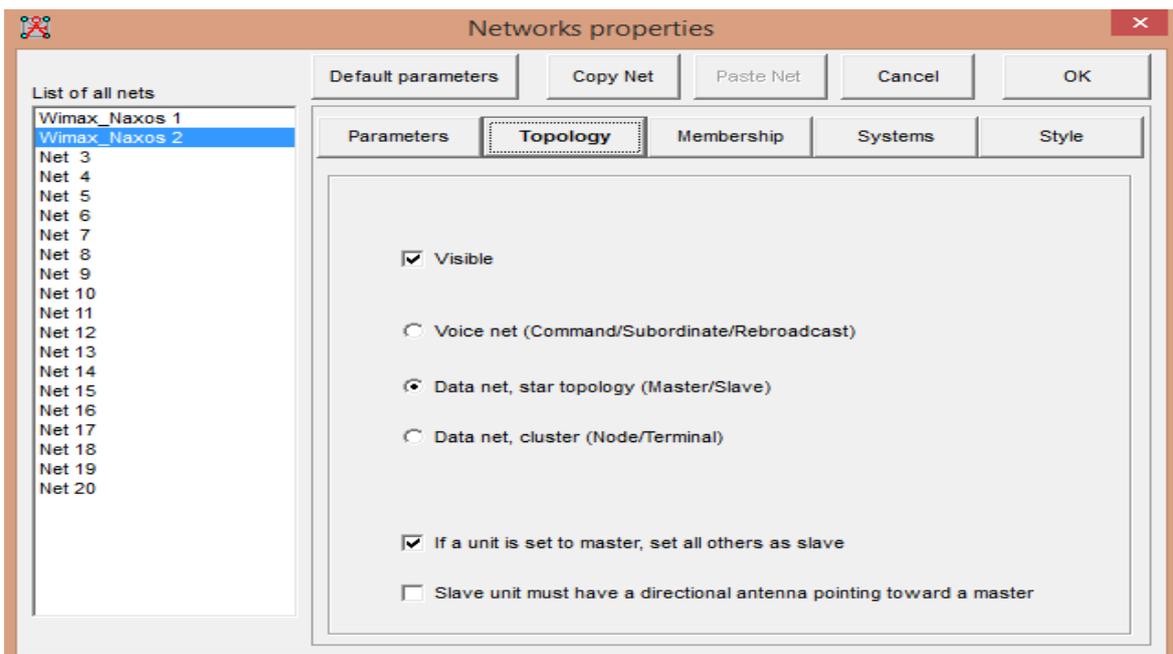
Σχήμα 3-51 : Παραμετροποίηση του δικτύου



Οι κύριοι παράμετροι που μπορούμε να καθορίσουμε από αυτή την επιλογή είναι φυσικά η συχνότητα ασύρματης ζεύξης, ο τρόπος ζεύξης (σταθερή ή κινητή), το κλίμα που επικρατεί, πως εκπέμπεται το σήμα (οριζόντια ή κάθετα), και οι πιθανές απώλειες λόγω της περιοχής (αν είναι σε πόλη ή αν είναι σε περιοχή με βουνά).

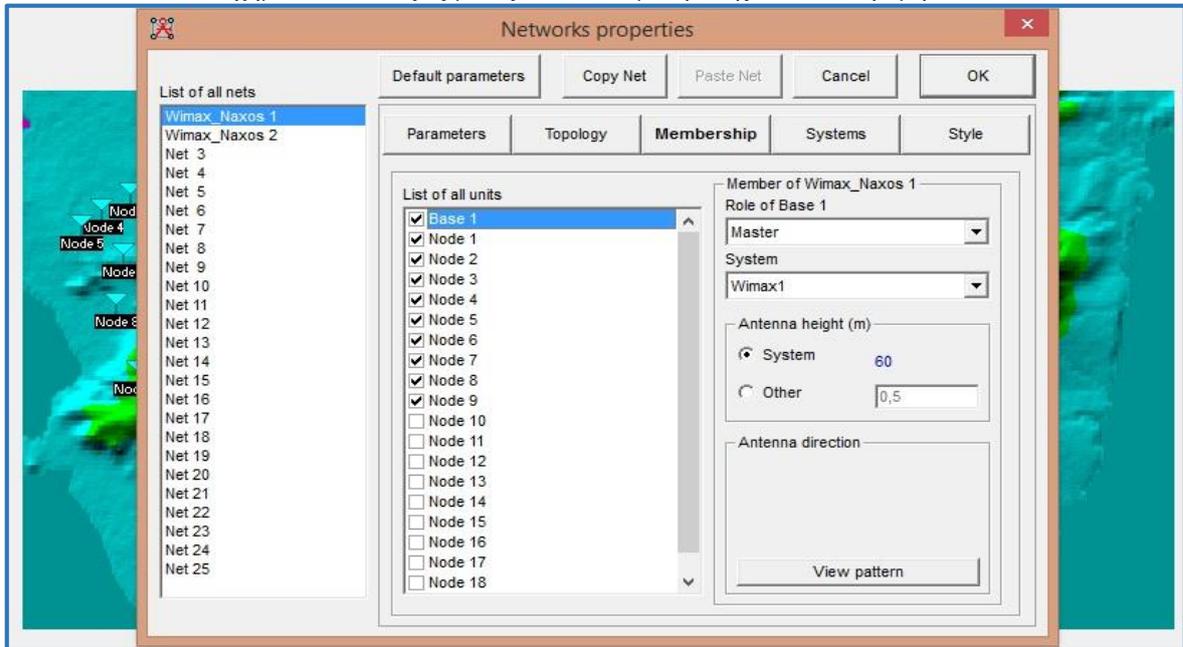
Στη συνέχεια επιλέγουμε την τοπολογία που θα έχει το δίκτυο μας.

Σχήμα 3-52 : Επιλογή τοπολογίας του δικτύου

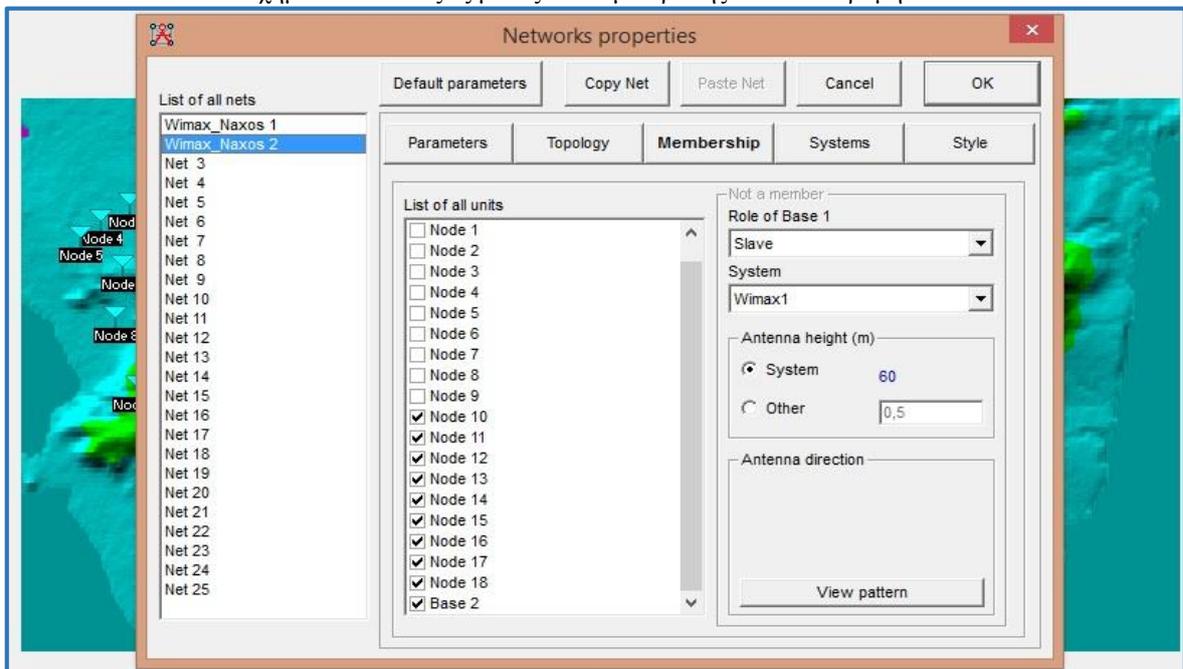


Η επόμενη επιλογή που πρέπει να κάνουμε αφορά τις συσχετίσεις μεταξύ των ζεύξεων που πρέπει να δημιουργήσουμε για το εκάστοτε δίκτυο.

Σχήμα 3-53 : Ζεύξεις μεταξύ των σταθμού βάσης 1 και συνδρομητών



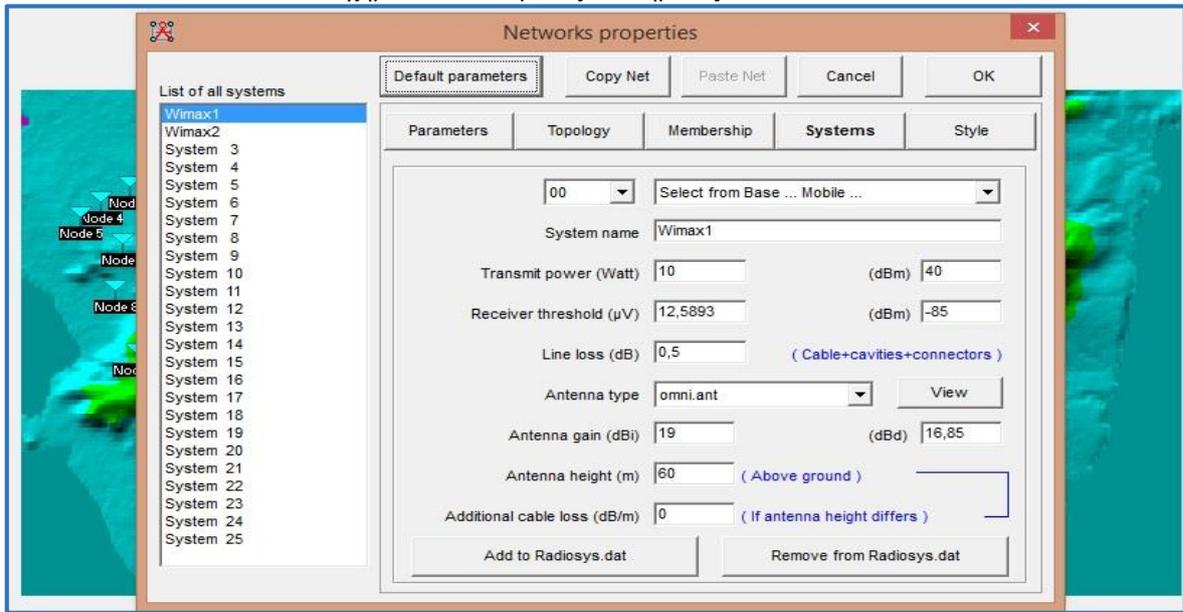
Σχήμα 3-54 : Ζεύξεις μεταξύ σταθμού βάσης 2 και συνδρομητών



Βλέπουμε ότι έχουμε δημιουργήσει δύο ξεχωριστά δίκτυα με όνομα Wimax_Naxos 1 και Wimax_Naxos 2. Σε κάθε δίκτυο ξεχωριστά παρουσιάζονται οι ζεύξεις μεταξύ του κάθε Σταθμού Βάσης και των Σταθμών Συνδρομητών.

Παρακάτω θα δούμε τις επιλογές του συστήματος για αποστολή – λήψη.

Σχήμα 3-55 : Ρυθμίσεις συστήματος του δικτύου



Εδώ μπορούμε να καθορίσουμε την ισχύ μετάδοσης, τις απώλειες μετάδοσης λόγω του τύπου της κεραίας, το κατώφλι λήψης, το κέρδος της κεραίας, καθώς και το ύψος της κεραίας. Επίσης τις πιθανές απώλειες λόγω υψομετρικής διαφοράς στο καλώδιο.

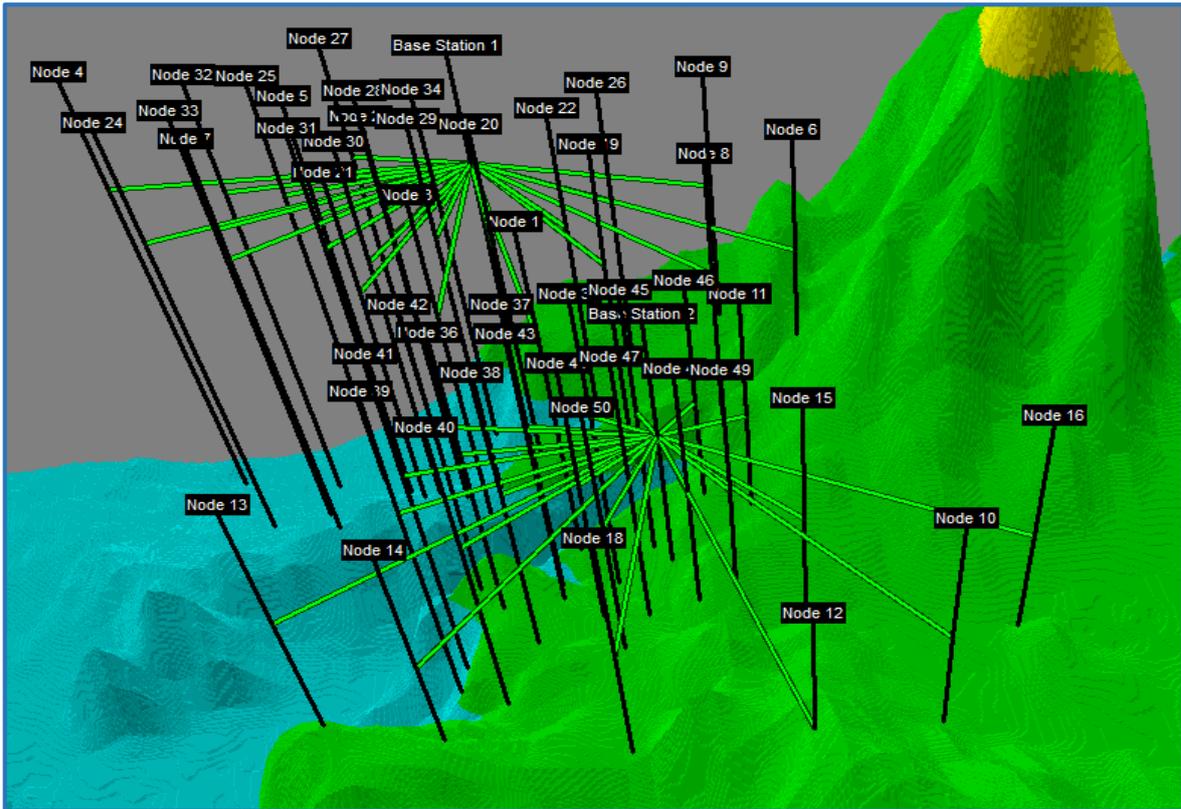
Τέλος καθορίζουμε με χρώμα την κάθε ζεύξη ανάλογα με την αποδοτικότητα της.

Με πράσινο χρώμα ορίζεται η καλή ζεύξη, με κίτρινο χρώμα ορίζεται μία μέτρια ζεύξη και με κόκκινη χρώμα ορίζεται μία κακή ζεύξη.

Εδώ βλέπουμε πως το βασικό κριτήριο για την ποιότητα του σήματος είναι το LOS (Line of Sight). Βέβαια υπάρχει και η πιθανότητα μία ζεύξη η οποία κρίνεται κακή από το Radio Mobile, στην πραγματικότητα να είναι πολύ καλή. Αυτό συμβαίνει διότι η τεχνολογία Wimax έχει την δυνατότητα και για NLOS (Non Line of Sight) επικοινωνία. Φυσικά σε αυτό, πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν τα φυσικά φαινόμενα, οι παρεμβολές που μπορεί να υπάρχουν σε μία περιοχή, τα κτίρια και ίσως βουνά που παρεμβάλλονται κλπ. Άρα στην πραγματικότητα δεν μπορούμε να μάθουμε το ακριβές αποτέλεσμα εκτός αν γίνουν πραγματικές δοκιμές στην περιοχή.

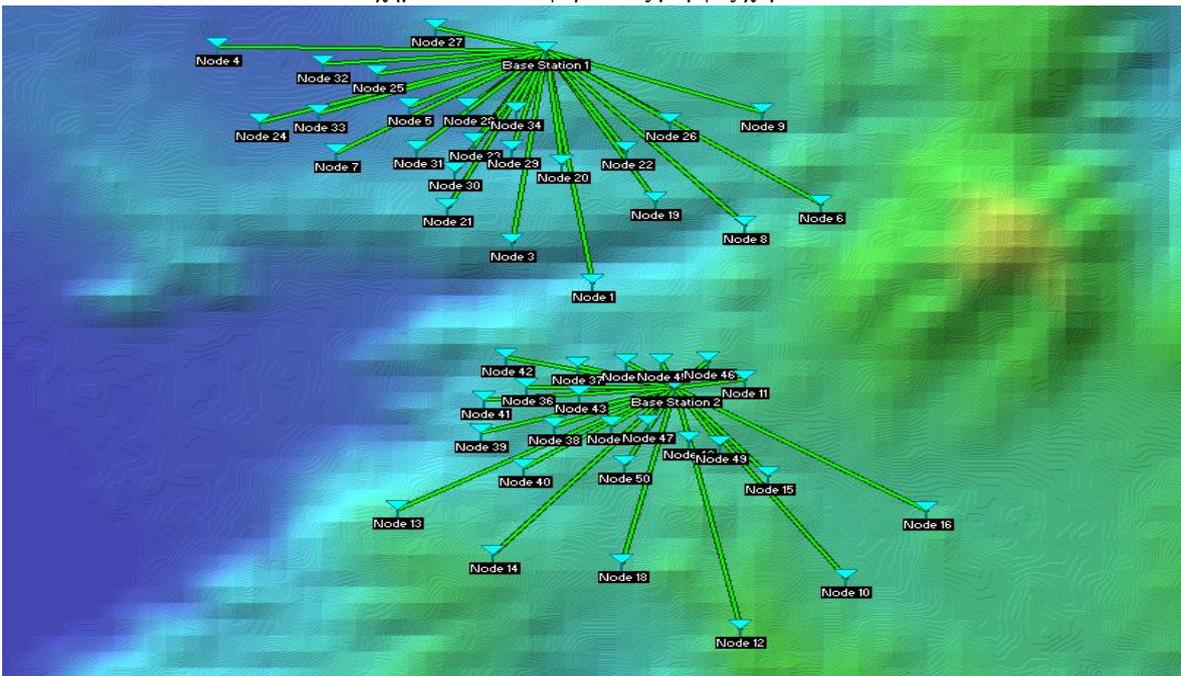
Παρακάτω βλέπουμε το δίκτυο που έχουμε κατασκευάσει και σε τρισδιάστατη μορφή.

Σχήμα 3-56 : Τρισδιάστατη μορφή του δικτύου μας



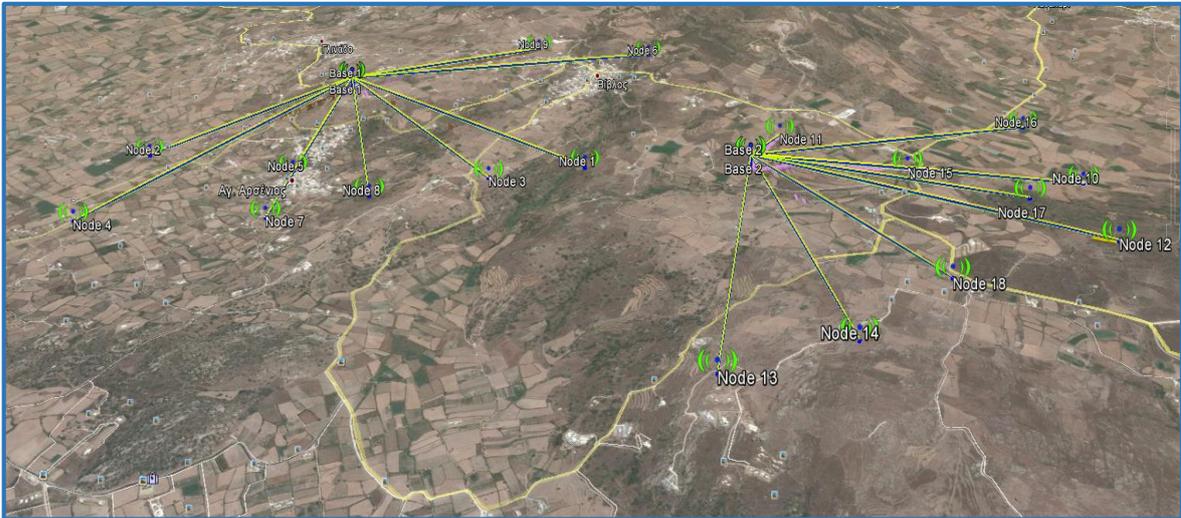
Παρακάτω βλέπουμε ακόμη μερικά παραδείγματα χαρτών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να προβάλουμε τα δίκτυα μας.

Σχήμα 3-57 : Διαφορετικές μορφές χαρτών

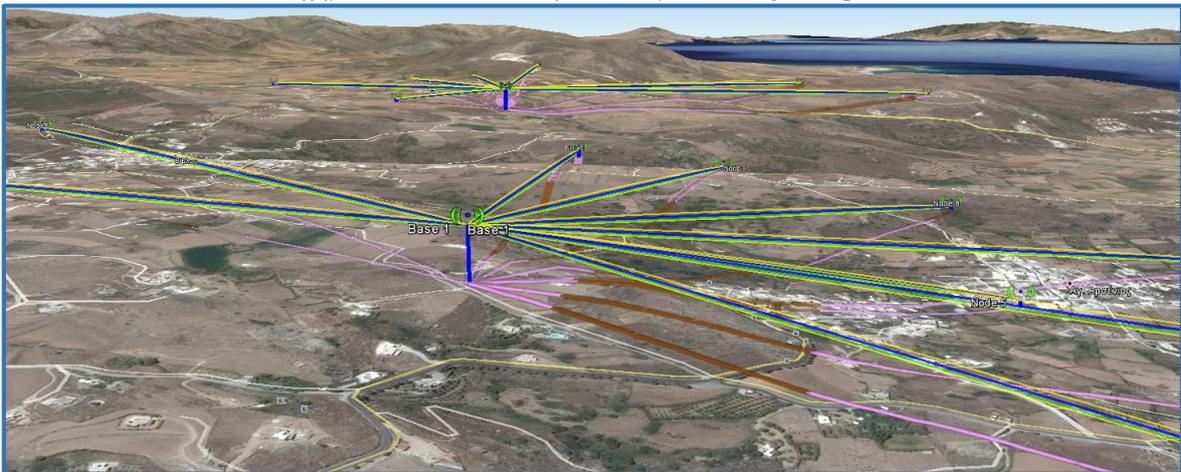


Το Radio Mobile είναι ένα λογισμικό το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να δούμε κάποιο δίκτυο το οποίο έχουμε δημιουργήσει μέσω του google earth. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το δίκτυο μας μέσα από ένα google map.

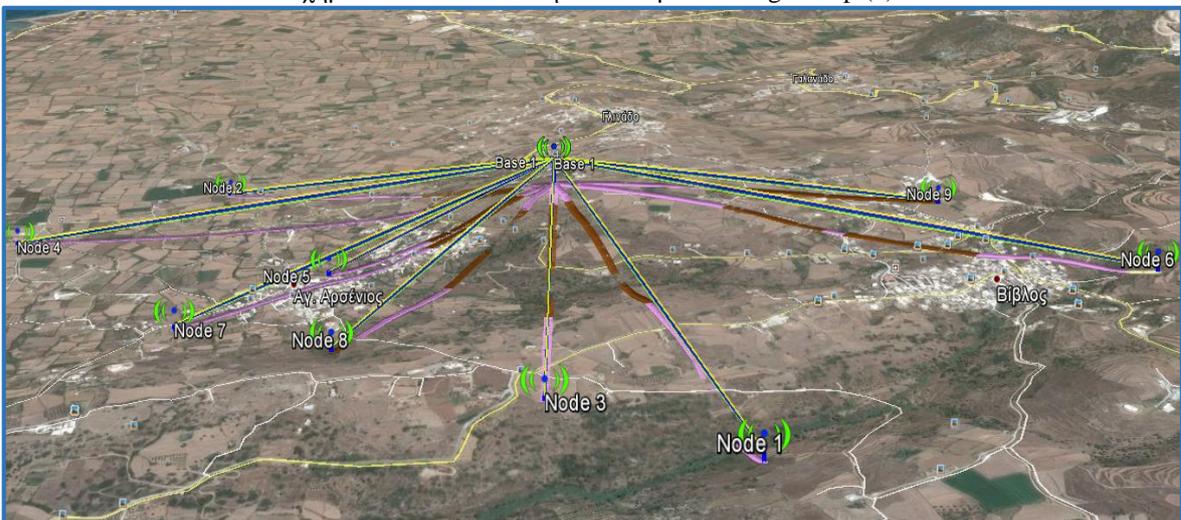
Σχήμα 3-58 : Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (1)



Σχήμα 3-59 : Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (2)

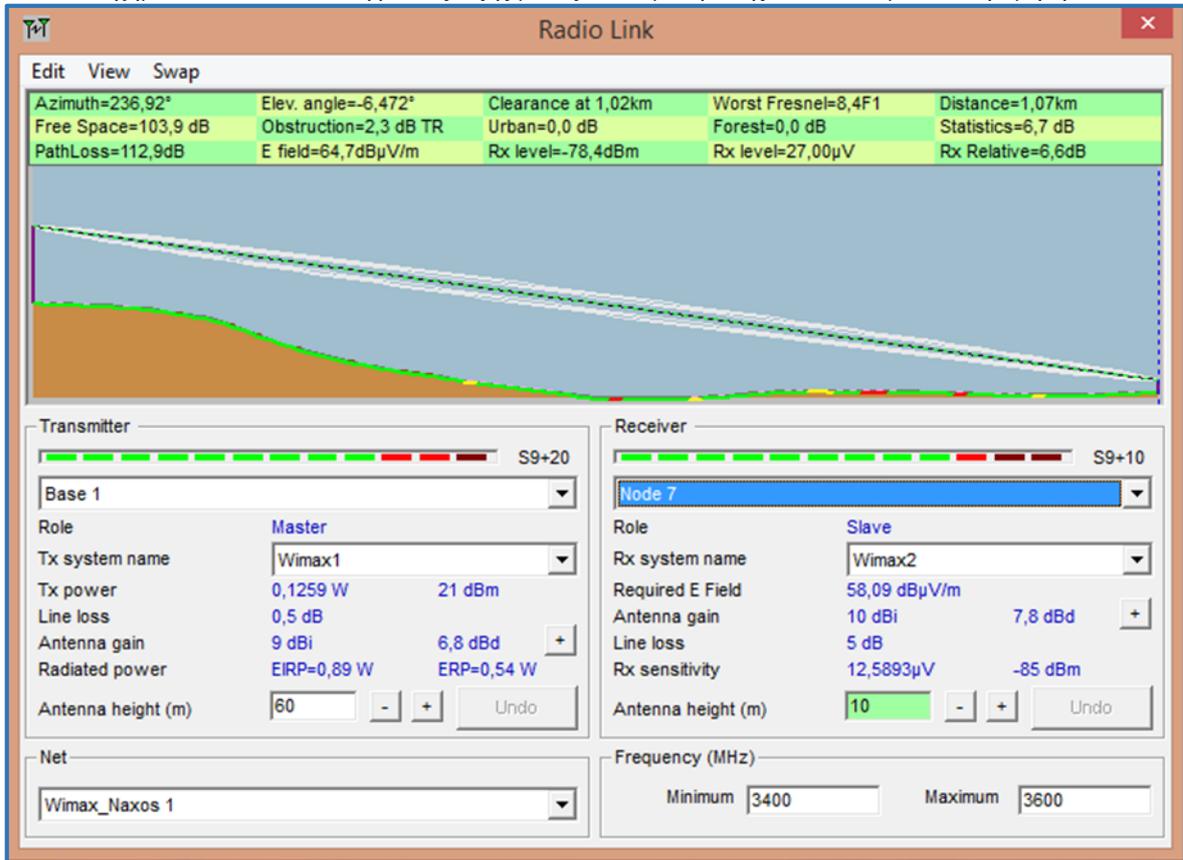


Σχήμα 3-60 : Απεικόνιση δικτύου μέσω Google Map (3)

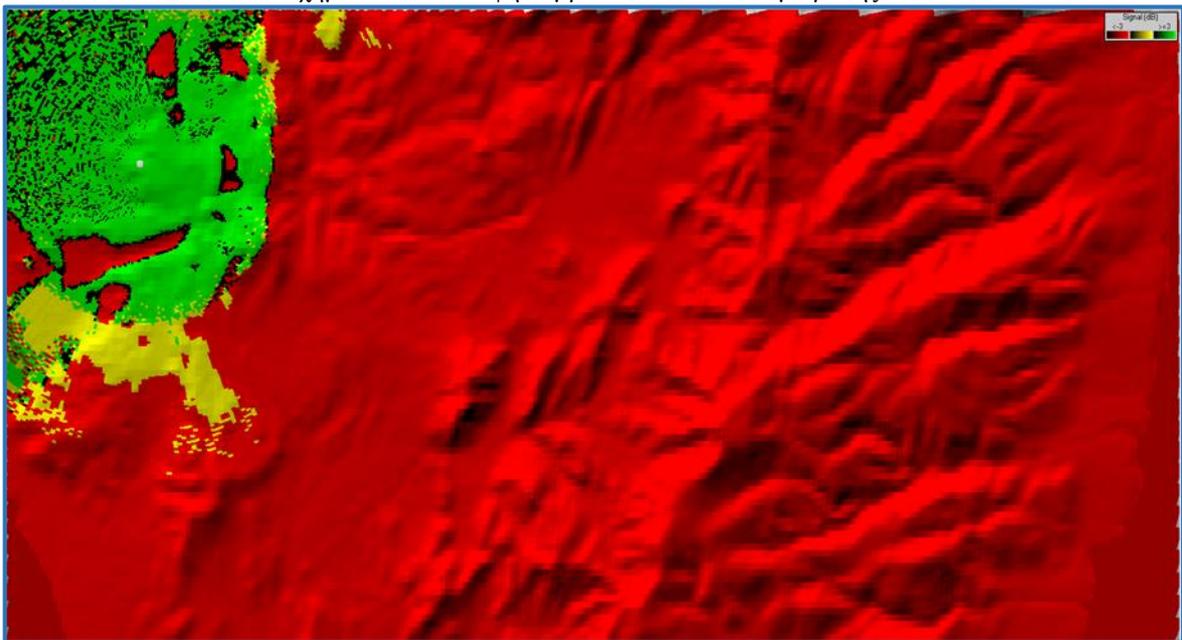


Στην συνέχεια θα δούμε μέσα από το Radio Mobile τις ζεύξεις μεταξύ των κόμβων, τη ζώνη Fresnel καθώς και την ισχύς του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την ζεύξη μεταξύ του Base Station 1 και του node 1.

Σχήμα 3-61 : Απεικόνιση ραδιοζεύξης μεταξύ σταθμού βάσης 1 και σταθμού συνδρομητή 7

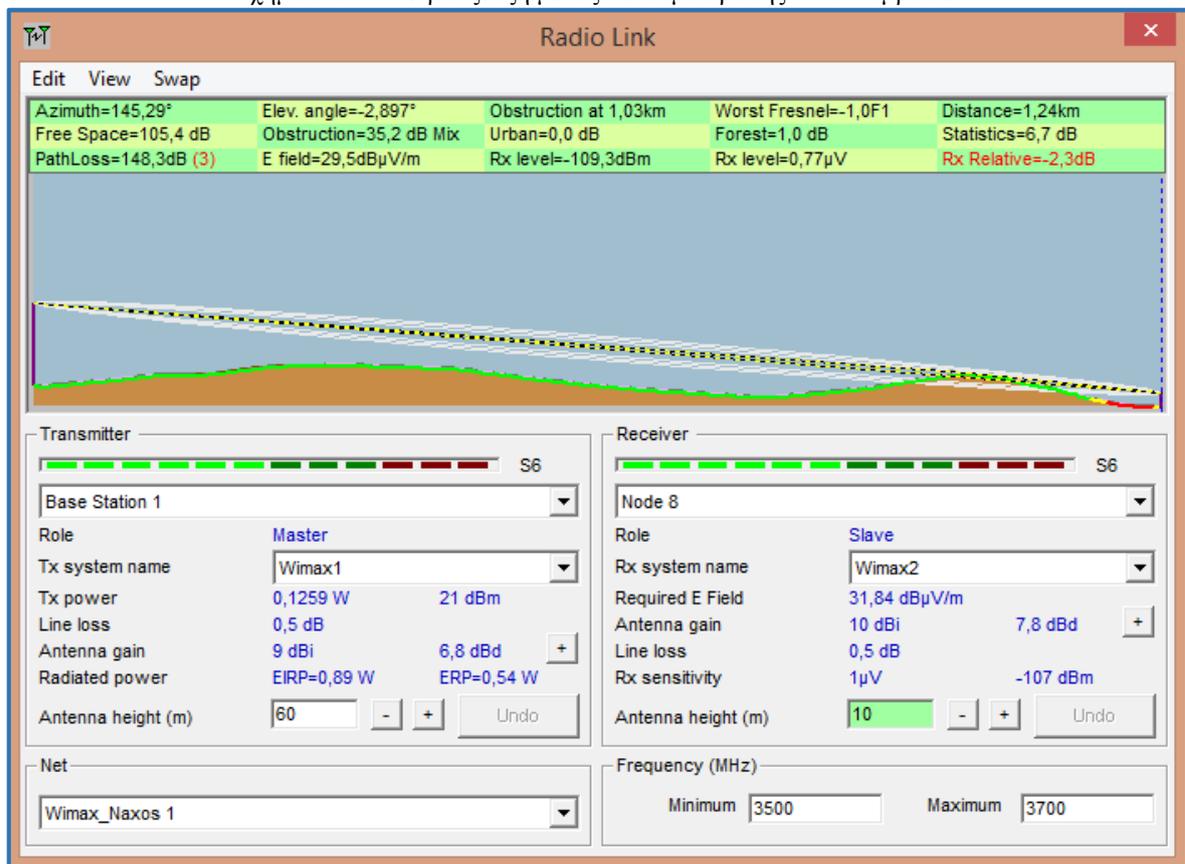


Σχήμα 3-62 : Κάλυψη κόμβου 7 από τον σταθμό βάσης 1

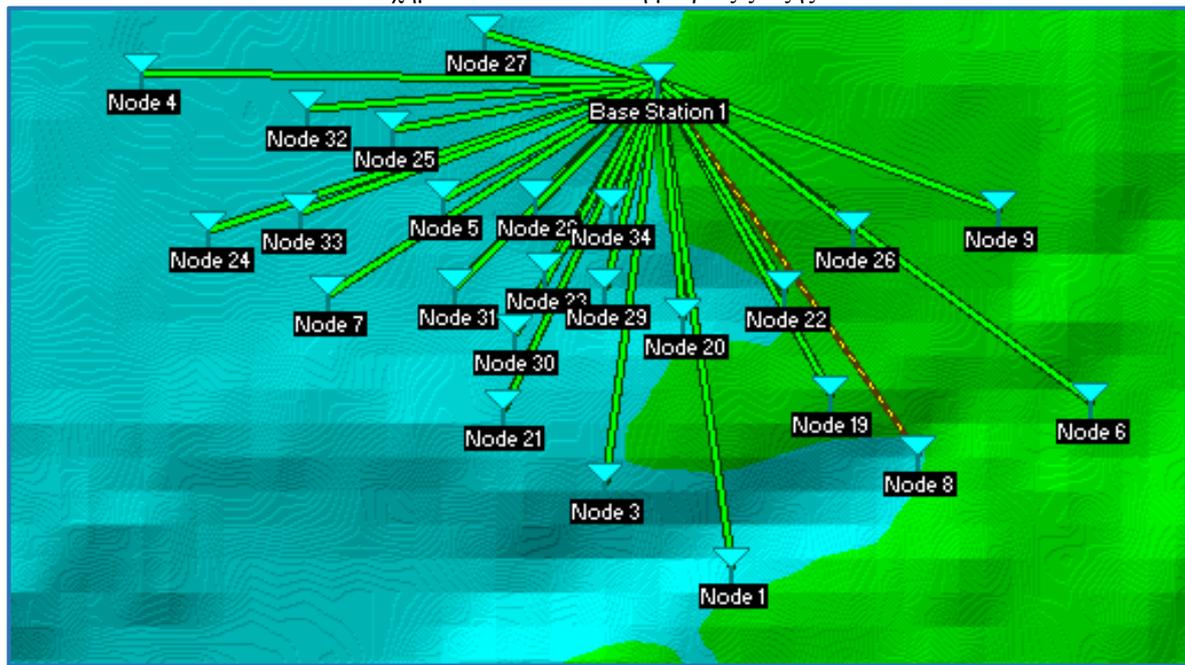


Σε αυτό το σημείο θα δούμε μία μέτρια ζεύξη μεταξύ του Base Station 1 και του node 8.

Σχήμα 3-63 : Μέτρια ζεύξη μεταξύ σταθμού βάσης 1 και κόμβου 8



Σχήμα 3-64 : Απεικόνιση μέτριας ζεύξης



Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα προσομοιώσεων και κόστος επιχειρηματικού σχεδίου

4.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Προσομοιώσεων

Τελειώνοντας λοιπόν με την διαδικασία κατασκευής βήμα – βήμα του δικτύου σε OPNET και Radio Mobile, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Για να είναι επιτυχημένη η παροχή των υπηρεσιών που έχουμε καθορίσει στα προηγούμενα κεφάλαια, θα πρέπει να επιτύχουμε και τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα.

Υπηρεσία	Throughput (Mbps)
VoD	4.448
VoIP	0.0896
HTTP	0.5

Πίνακας 4-1 : Απαιτήσεις Υπηρεσιών σε Throughput

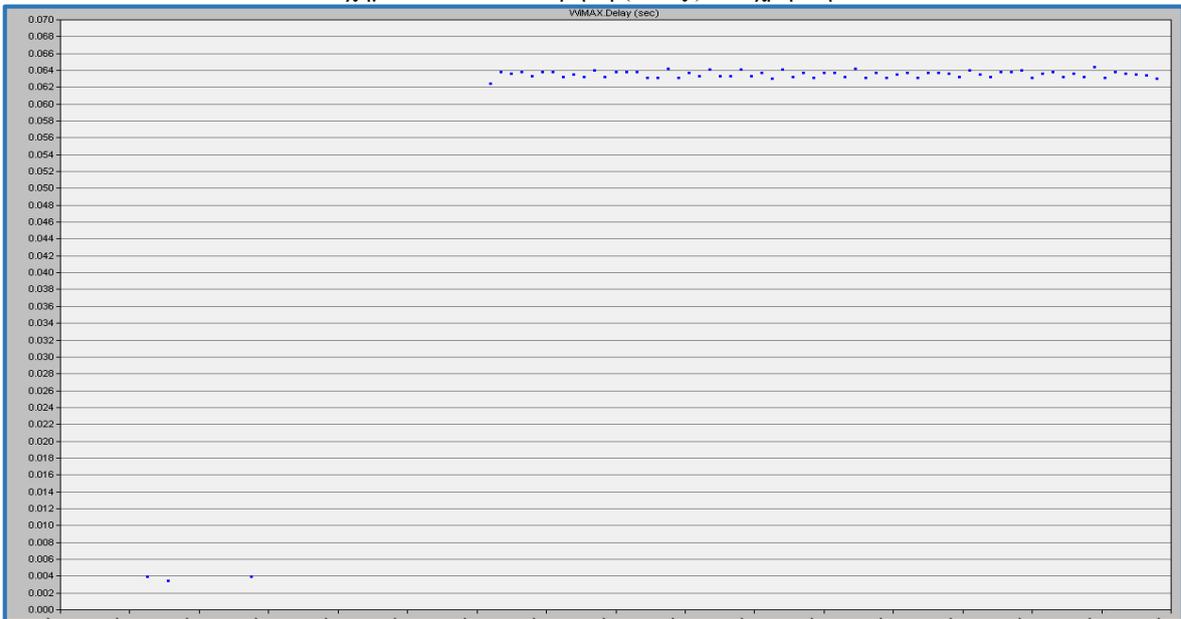
Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις θα δούμε το throughput που πετυχαίνει ο node 1 και η καθυστέρηση που υπάρχει στη ζεύξη ο οποίος έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει υπηρεσίες όπως VoD, VoIP, HTTP.

Σχήμα 4-1 : Throughput του χρήστη 1



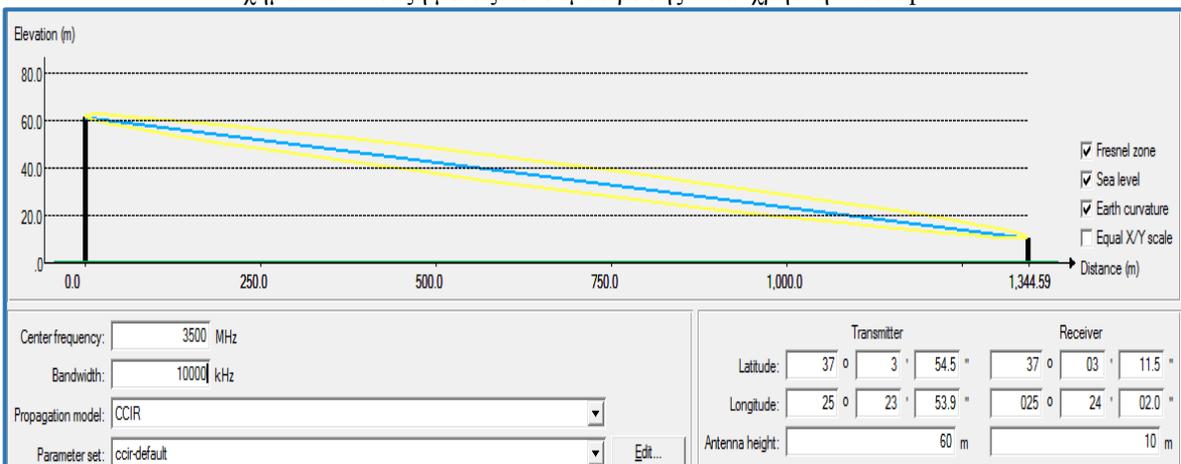
Από την γραφική παράσταση βλέπουμε ότι το throughput του χρήστη 1 φτάνει περίπου τα 8.5 Mbps, κάτι που μας δείχνει ότι καλύπτει απόλυτα τις απαιτήσεις για την παροχή των υπηρεσιών που θέλουμε να παρέχουμε στο χρήστη.

Σχήμα 4-2 : Καθυστέρηση (Delay) του χρήστη 1

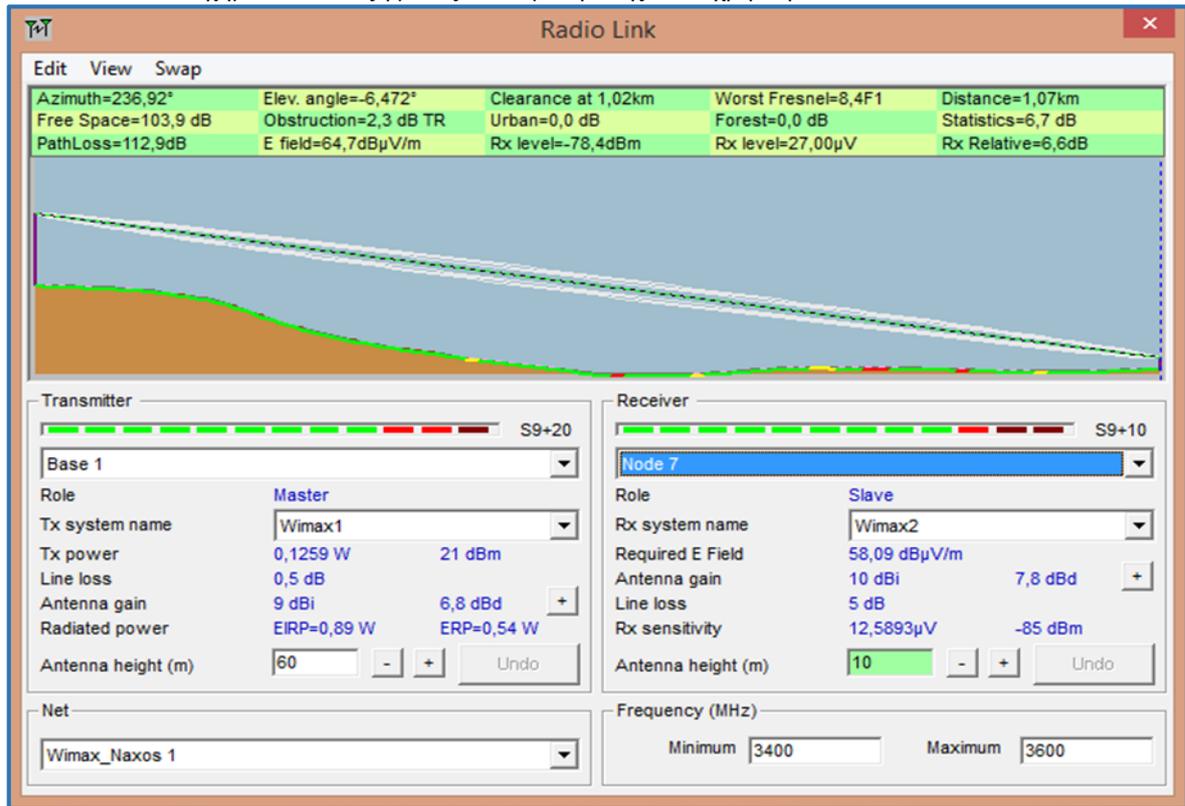


Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη ζεύξη μεταξύ του σταθμού βάσης 1 και του σταθμού συνδρομητή 1.

Σχήμα 4-3 : Ζεύξη μεταξύ σταθμού βάσης 1 και χρήστη 1 σε Ornet

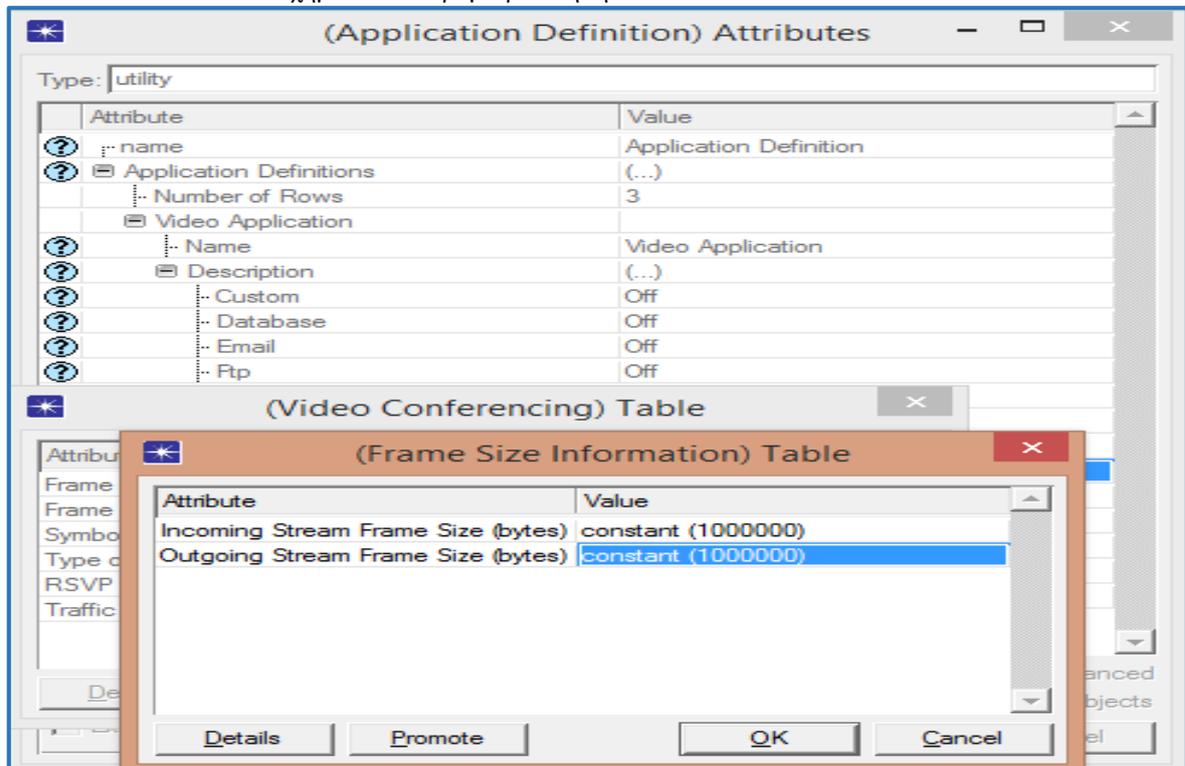


Σχήμα 4-4 : Ζεύξη μεταξύ σταθμού βάσης 1 και χρήστη 7 σε Radio Mobile

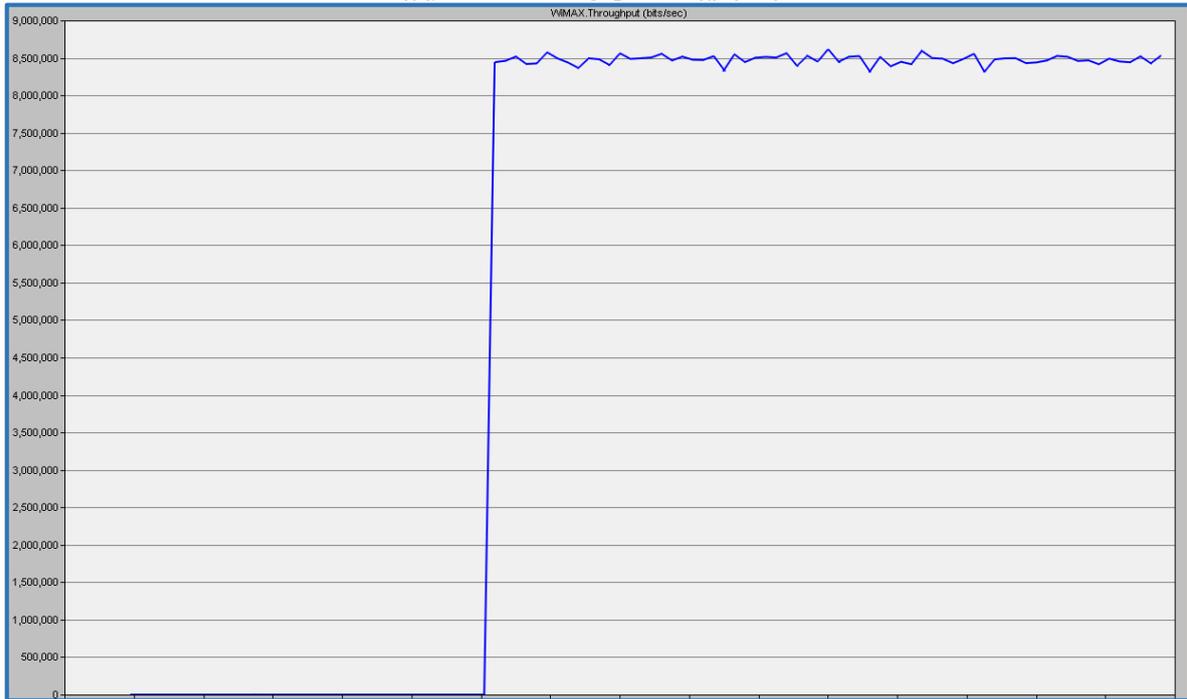


Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου σε σχέση με το VoD είναι το Frame Size Information, το οποίο όσο αυξάνουμε το μέγεθος του, αυξάνεται και το throughput του χρήστη.

Σχήμα 4-5 : Παραμετροποίηση του Frame Size Information

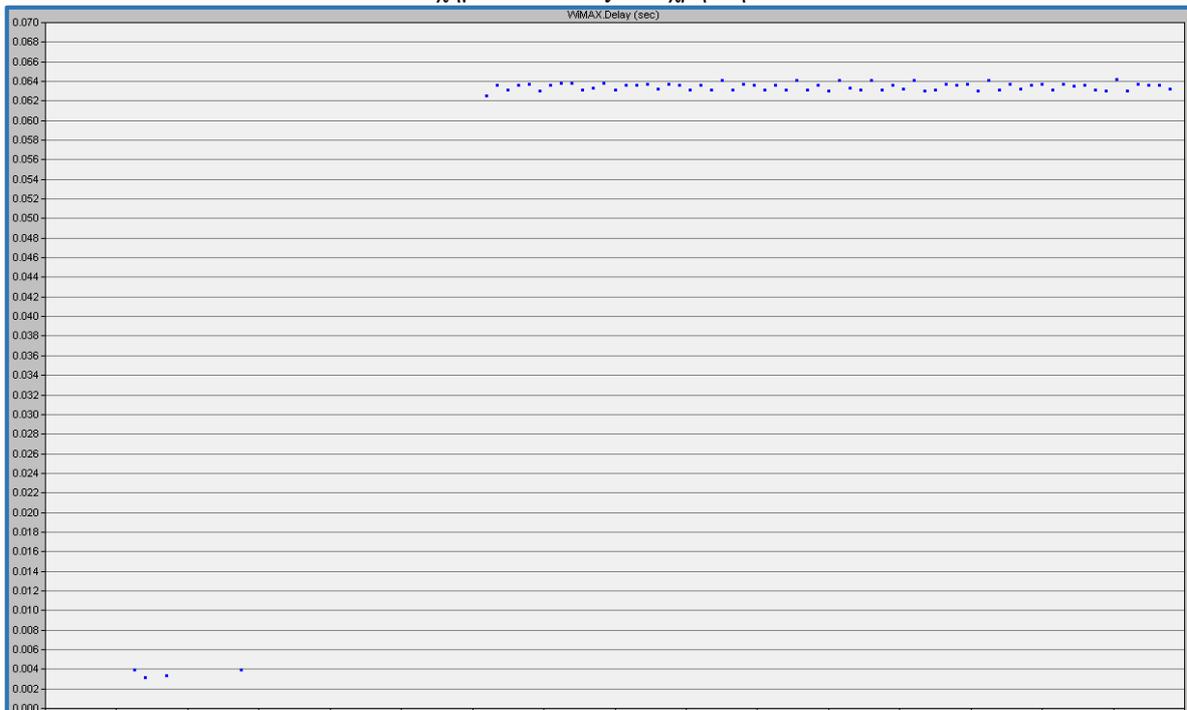


Σχήμα 4-6 : Throughput του χρήστη 7



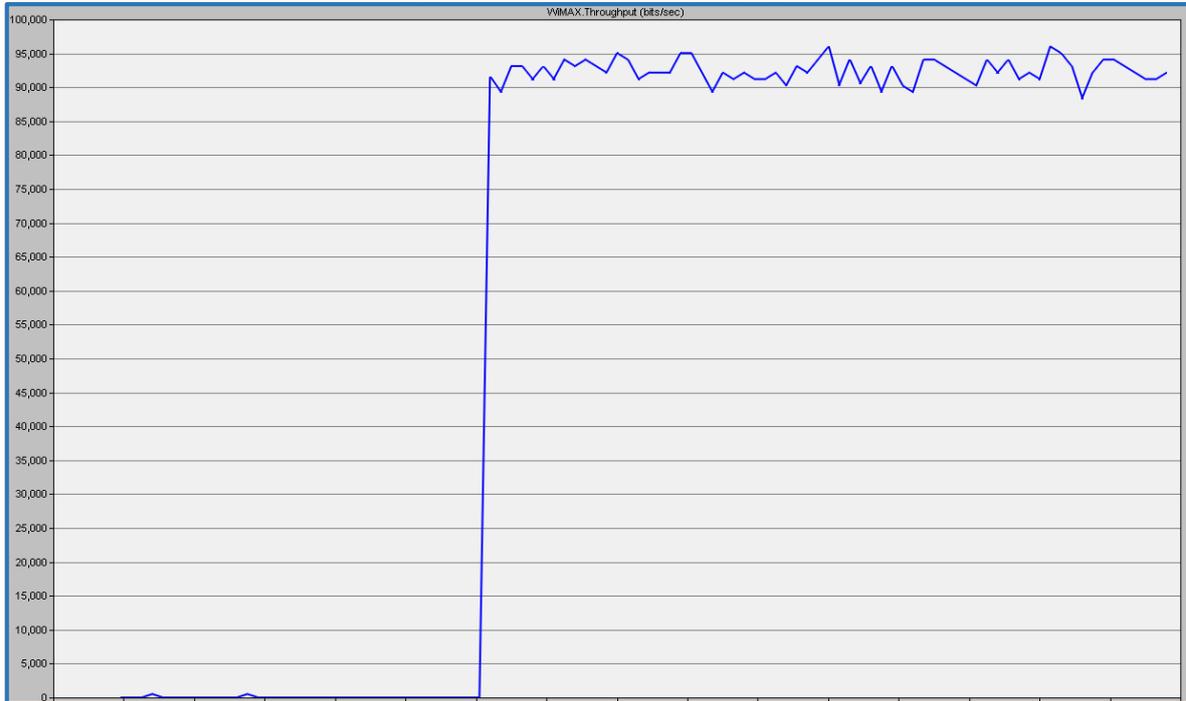
Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το Delay που έχει ο χρήστης 7, το οποίο είναι κοντά στα 6 msec. Για τις υπηρεσίες που προσφέρουμε στο συγκεκριμένο χρήστη και βάσει της θεωρίας είναι ένα πολύ καλό αποτέλεσμα για την απόδοση του δικτύου.

Σχήμα 4-7 : Delay του χρήστη 7



Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε το throughput του χρήστη 9, στον οποίο παρέχουμε μόνο VoIP στην προσπάθειά μας να δούμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

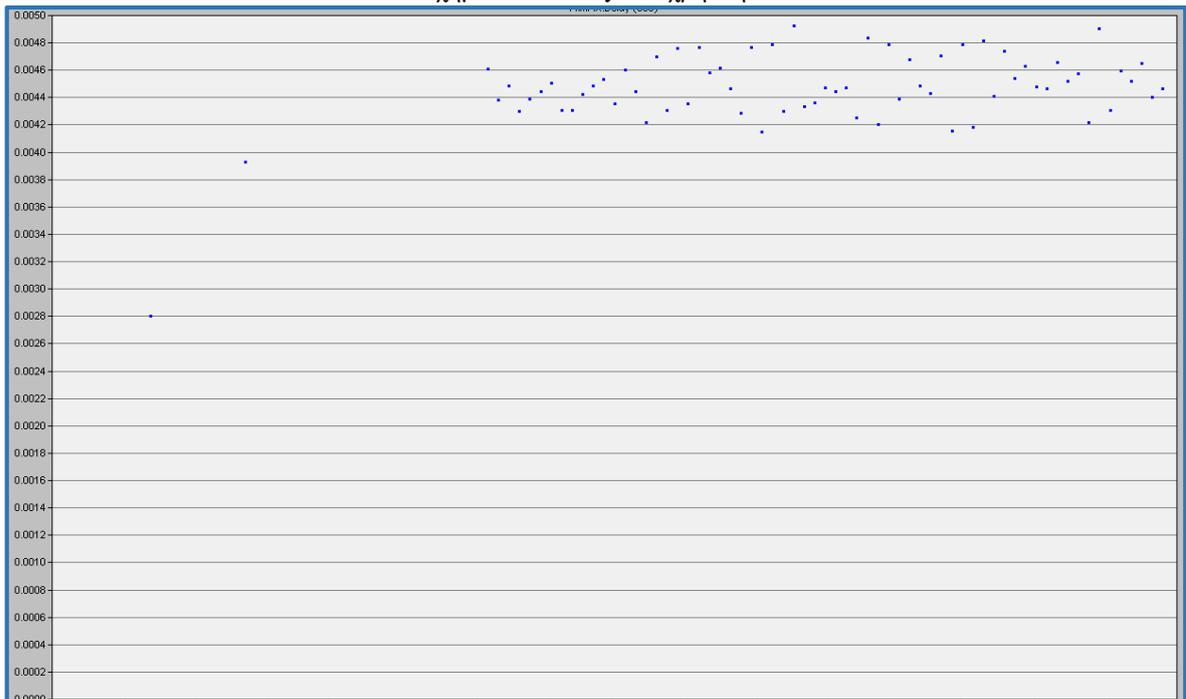
Σχήμα 4-8 : Throughput του χρήστη 9



Βλέπουμε ότι το throughput του χρήστη 9 φτάνει περίπου στα 90 Kbps, κάτι που σημαίνει ότι φτάνουμε στην επίτευξη του στόχου για παροχή υπηρεσίας VoIP, βάσει του πίνακα 4-1.

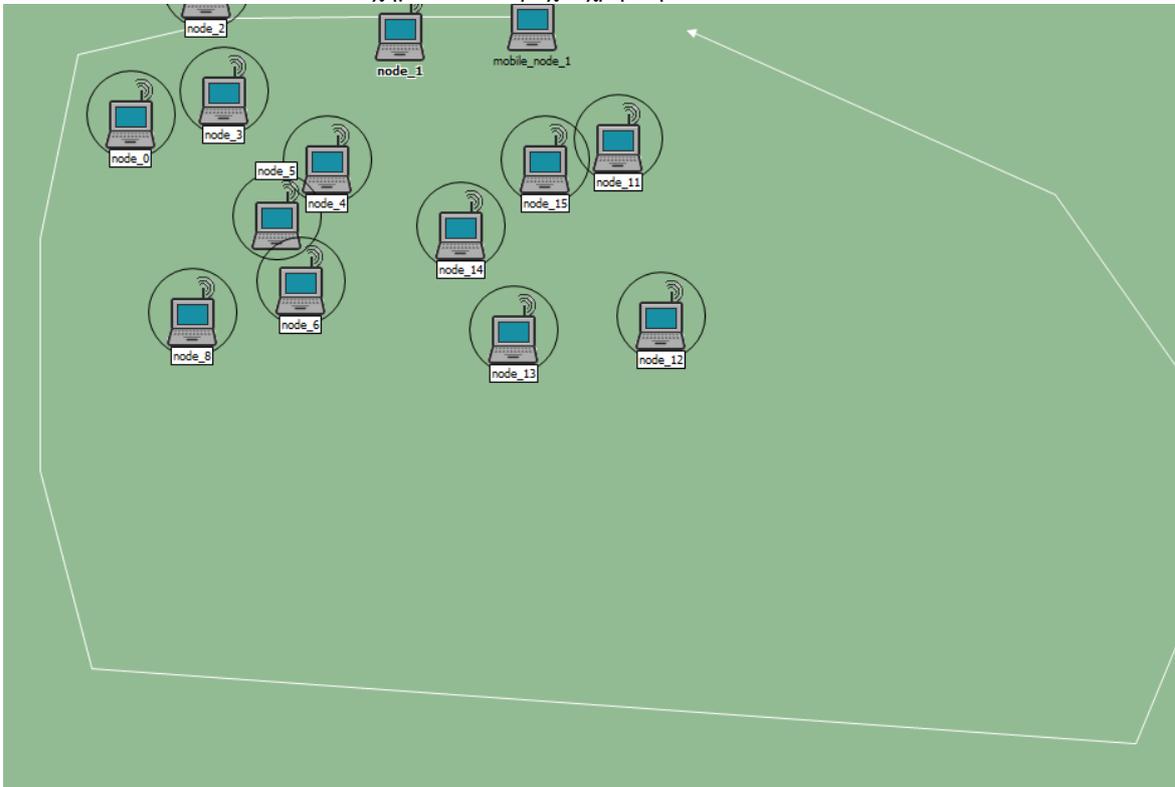
Βλέπουμε επίσης στην παρακάτω εικόνα, ότι η καθυστέρηση (Delay) κυμαίνεται από 4.2 μέχρι 4.8 msec., κάτι το οποίο μας δείχνει ότι η υπηρεσία που προσφέρουμε στο χρήστη είναι αποδοτική.

Σχήμα 4-9 : Delay του χρήστη 9



Αποτελεσματική ήταν η προσομοίωση και για τον χρήστη mobile node 1, στον οποίο προσφέρουμε υπηρεσίες VoIP και το throughput του είναι στα 48 kbps και η ταχύτητα του είναι 33m /sec. χρησιμοποιώντας την default τροχιά που χρησιμοποιεί το Orpnet Modeler.

Σχήμα 4-10 : Τροχιά χρήστη mobile node 1



Τα κυριότερα στοιχεία που κρατάμε από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε είναι ότι οι ασύρματες ζεύξεις ήταν όλες επιτυχημένες, καθώς επίσης και ότι η τεχνολογία Wimax μας δίνει την δυνατότητα να με ένα σταθμό βάσης να επιτύχουμε ασύρματες ζεύξεις σε πολλά σημεία.

Με την βοήθεια των έξυπνων κεραιών MIMO και με την μεγάλη αντοχή στις παρεμβολές βάσει των χαμηλών συχνοτήτων, το Wimax μπορεί όπως είδαμε να πετύχει πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και σε μεγάλες αποστάσεις.

4.2 Κόστος επιχειρηματικού σχεδίου

Αφού έχουμε δει και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τώρα θα δούμε και το κόστος του επιχειρηματικού σχεδίου.

Για να κριθεί από την αρχή ένα επιχειρηματικό μοντέλο επιτυχημένο

Για να φτάσει στο σημείο να υλοποιηθεί ένα δίκτυο σαν αυτό που δημιουργήσαμε, βασική παράμετρος είναι η πρόβλεψη κέρδους για τον επιχειρηματία, ο οποίος και θα κάνει αυτή την επιχειρηματική κίνηση.

Στο κόστος περιλαμβάνονται, οι τιμές αγοράς των σταθμών βάσης, οι γραμμές που θα μισθωθούν για την σύνδεση με τους server, τα τέλη εκχώρησης και χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων, ο εξοπλισμός του χρήστη και φυσικά το κόστος εγκατάστασης του δικτύου.

Για τις τιμές των γραμμών θα χρησιμοποιήσουμε τον τιμοκατάλογο του ΟΤΕ.

Παρακάτω υπολογίζουμε τα τέλη εκχώρησης και χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων, βασισμένοι στον κανονισμό καθορισμού των τελών χρήσης του φάσματος και των τελών εκχώρησης ραδιοσυχνοτήτων (ΕΕΤΤ).

Τα τέλη χρήσης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων για κάθε ραδιοδιάυλο που χρησιμοποιείται από κάθε Σταθμό Ραδιοεπικοινωνίας της Σταθερής Υπηρεσίας υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$TP = \Sigma 1 \times \Sigma 2 \times \Sigma 3 \times KPA$$

TP	Ετήσια τέλη χρήσης σε ΕΥΡΩ
KPA	Το βασικό τέλος χρήσης
Σ1	Συντελεστής Σπανιότητας (γεωγραφικής και φασματικής)
Σ2	Ο συντελεστής εύρους ραδιοδιαύλου εκπομπής του σταθμο
Σ3	Ο συντελεστής τεχνολογίας

Πίνακας 4-2 : Συντελεστές υπολογισμού ετήσιων τελών χρήσης

Το βασικό τέλος χρήσης KPA ισούται με 115 ΕΥΡΩ.

Ο συντελεστής Σ1 για την περιοχή της Νάξου είναι 2. (Κανονισμός Καθορισμού των τελών Χρήσης του Φάσματος και των Τελών εκχώρησης Ραδιοσυχνοτήτων, ΕΕΤΤ 2003)

Ο συντελεστής Σ2 βάσει του εύρους συχνοτήτων που χρησιμοποιήσαμε είναι 4.

Ο συντελεστής Σ3 είναι 1, αφού χρησιμοποιήσαμε ψηφιακή τεχνολογία.

Άρα:

$$TP = 2 \times 4 \times 1 \times 115 = 920 \text{ ΕΥΡΩ ετήσια τέλη}$$

Επίσης υπάρχει το τέλος εκχώρησης το οποίο είναι ίσο με 115 ΕΥΡΩ ανά σταθμό , το οποίο αναλογεί στο κόστος εξέτασης μελέτης της εκχώρησης.

Δαπάνες	Κόστος
Σταθμοί Βάσης 3.5 GHz	5800 x 2 = 11600 €
Κόστος εγκατάστασης Σταθμού Βάσης	800 x 2 = 1600 €
Εφάπαξ Τέλη ενεργοποίησης γραμμών (ΟΤΕ)	4 * 700 = 2800 €
Τέλος εκχώρησης ραδιοσυχνοτήτων	115 x 50 = 5750 €
Συνολικό Κόστος	21750

Πίνακας 4-3 : Δαπάνες υλοποίησης δικτύου

Πάγιες Δαπάνες	Κόστος
Συντήρηση	100 € / μήνα
Μίσθωση χώρων εγκατάστασης σταθμού βάσης	600 € / μήνα
Μίσθωση γραμμών	1200 € / μήνα
Τέλη χρήσης φάσματος ραδιοσυχνοτήτων	76,6 € μηνιαία / χρήστη
Φύλαξη Χώρου σταθμών βάσης	2800 € / μήνα
Συνολικό Κόστος	4776 € / μήνα

Πίνακας 4-4 : Πάγιες δαπάνες δικτύου

Αν λοιπόν διαιρέσουμε τα μηνιαία πάγια, αναλογεί σε κάθε χρήστη το ποσό των 95 € ανά μήνα.

Στη συνέχεια διαιρούμε και το κόστος της εγκατάστασης για 12 μήνες και το ποσό είναι $21750 / 12 = 1812$ €

Άρα μπορούμε να επιβαρύνουμε τον πελάτη κατά 36 € επιπλέον κάθε μήνα έτσι ώστε να κάνουμε απόσβεση της επιχειρηματικής κίνησης σε λιγότερο από 1 χρόνο. Το τελικό μηνιαίο πάγιο που αναλογεί να πληρώσει ο κάθε χρήστης είναι 130 € καθώς επίσης και τον εξοπλισμό του, κόστος το οποίο έχει να κάνει με την κεραία προτίμησης του πελάτη. Επιλέγουμε λοιπόν ένα μέσο εξοπλισμό τον οποίο κοστολογούμε στα 150 €.

Ο πάροχος για να κάνει γρηγορότερα απόσβεση του έργου και να αποκτήσει γρηγορότερα κέρδος πρέπει να επιδιώξει να αυξήσει τον αριθμό των πελατών του.

Δαπάνες συνδρομητή	Κόστος
Εξοπλισμός	150 €
Μηνιαία τέλη σύνδεσης	130 €

Πίνακας 4-5 : Δαπάνες συνδρομητή

Η κεραία που έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε είναι της σειράς BreezeMax, της εταιρίας Alvarion και πιο συγκεκριμένα είναι η Extreme 3600. Είναι μία κεραία εξωτερικού χώρου και είναι σχεδιασμένη για το πρότυπο 802.16. Κατασκευάστηκε για να λειτουργεί τόσο σε αστικό όσο και σε αγροτικό περιβάλλον και αποτελεί ιδανική λύση για τους παρόχους υπηρεσιών ασύρματων δικτύων. Επίσης παρέχει εξελιγμένες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης και υποστηρίζει επικοινωνία πολλαπλών καναλιών, αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα του δικτύου. Τέλος λειτουργεί πολύ αποτελεσματικά σε ζεύξεις μη οπτικής επαφής (NLOS) και σε περιβάλλοντα με μεγάλες παρεμβολές. (Διπλωματική εργασία, Ιωάννης Δ. Χαριτούδης, 2013, Διερεύνηση τεχνικών παραμέτρων για τη βέλτιστη διαχείριση πόρων και τη βέλτιστη ραδιοκάλυψη στα σύγχρονα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα)

Σχήμα 4-11 : Κεραία σταθμού βάσης



Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον εξοπλισμό που χρειάζεται ο συνδρομητής στο χώρο του.

Σχήμα 4-12 : Εξοπλισμός συνδρομητή



Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία είδαμε ότι το Wimax αποτελεί μία πολύ αξιόπιστη λύση, προσφέρει ποιοτικές υπηρεσίες (VoIP, VoD και μεταφορά δεδομένων) σε μεγάλες ταχύτητες και με μεγάλη πληθυσμιακή κάλυψη.

Μπορεί να λειτουργήσει είτε ως ανεξάρτητο δίκτυο εκμεταλλεόμενο τις ασυμβατότητες των άλλων τεχνολογιών είτε ως βελτίωση και επέκταση μίας υπάρχουσας δικτυακής δομής.

Η εξέλιξη με το πέρασμα των χρόνων μας δείχνει ότι το Wimax τείνει να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία. Μία τεχνολογία που επιτρέπει την κινητικότητα, δηλαδή επιτρέπει σε ένα κινητό σταθμό εργασίας να λειτουργεί ως κινητό τηλέφωνο και ραδιοφωνικός πομπός, για ευρεία κάλυψη και να εξασφαλίζει τηλεπικοινωνιακή κίνηση σε όλες τις γωνίες του πλανήτη.

Εμείς στην παρούσα πτυχιακή εργασία είδαμε βήμα – βήμα την διαδικασία κατασκευής ενός μικρού δικτύου Wimax, την παραμετροποίηση σταθμών βάσης, κόμβων συνδρομητών, των server, τις γραμμές που θα χρησιμοποιήσουμε και τα πρόσθετα στοιχεία που έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ώστε να δημιουργήσουμε τηλεπικοινωνιακή κίνηση στο δίκτυο μας. Έτσι φτάσαμε στις προσομοιώσεις και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα τους.

Τέλος παρουσιάσαμε και το κόστος μίας τέτοιας επιχειρηματικής κίνησης και το οποίο δεν είναι απαγορευτικό και ίσως με το πέρασμα των χρόνων η τεχνολογία αυτή να λύσει πολλά προβλήματα που έχουν να κάνουν με αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές.

Βιβλιογραφία

Αντωνίου Λεωνίδας, Πτυχιακή εργασία, Wimax, Τρίπολη-2014

Κουρούς Ιωάννης, Διπλωματική Εργασία, «Μελέτη τεχνολογίας και εφαρμογών WiMAX», Μάιος 2009

Μ.Ε Θεολόγου, "Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών", Εκδόσεις Τζιόλα

Στεφανής Νικόλαος, «Μελέτη ανάλυσης λειτουργίας πακέτου υπηρεσιών IP σε δίκτυο IEEE 802.16e, με έμφαση στην ποιότητα υπηρεσίας», Μάιος 2010

Στεφάνου Κωνσταντίνος, Διπλωματική Εργασία, «Σχεδίαση και προσομοίωση συστήματος WiMAX», Ιούλιος 2006

Τερζάκης Ιωάννης, Δημήτριος Τσαπάρας, Διπλωματική Εργασία, «Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου», Απρίλιος 2007

WiMAX Forum, “Deployment of Mobile WiMAX Networks by Operators with Existing 2G & 3G Networks”, 2008

<http://www.cisco.com>

<http://www.wimaxforum.org/>

<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/>

<http://www.howstaffworks.com>

<http://wimax360.com/forum/>

<http://www.otewholesale.gr>

<http://www.alvarion.com/products/product-portfolio/breezemax-extreme/breezemax-extreme-3600>

<http://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/>

