



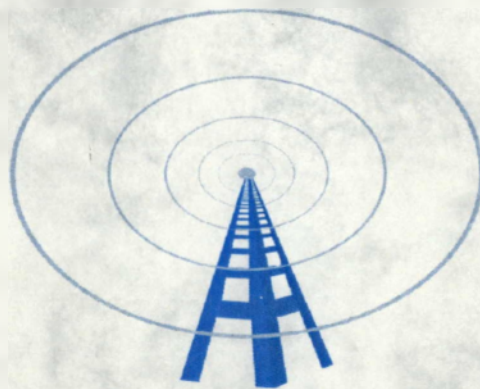
Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

« Βελτιστοποίηση απόδοσης ασύρματου δικτύου για κίνηση ποικίλων απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας με δυναμική παραμετροποίηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του. »

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΑΝΤΕΛΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

A.M. : 2005085

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΙΚΡΑΜΜΕΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΠΑΡΤΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2009



Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

**« Βελτιστοποίηση απόδοσης ασύρματου δικτύου για κίνηση ποικίλων απαιτήσεων
ποιότητας υπηρεσίας με δυναμική παραμετροποίηση των λειτουργικών
χαρακτηριστικών του. »**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΑΝΤΕΛΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

A.M. : 2005085

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΙΚΡΑΜΜΕΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΠΑΡΤΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2009

Copyright © Παντελίδη Παναγιώτα 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. 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 προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΑΤΕΙ Καλαμάτας – Παραρτήματος Σπάρτης.

Πρόλογος

Η πτυχιακή αυτή αποτέλεσε αφορμή για να ασχοληθώ με εξαιρετικά ενδιαφέροντα θέματα τα οποία περιστρέφονται γύρω από τους τομείς των ασύρματων δικτύων, της ποιότητας υπηρεσίας, την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο ασύρματο δίκτυο, όπως και τη δρομολόγηση.

Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής καταναλώθηκε αρκετός χρόνος αναζήτησης και υλοποίησης. Στην διαδρομή αυτή βρήκα πολύτιμο οδηγό τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Πικραμμένο, τον οποίο ευχαριστώ για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με κάτι ιδιαίτερος ενδιαφέρον καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Θεόδωρο Κρητικό για την πολύτιμη βοήθεια του και την άψογη συνεργασία που είχαμε όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της εργασίας και για τον απαραίτητο εξοπλισμό που με βοήθησε να χρησιμοποιήσω.

Η εργασία αυτή δεν θα είχε καταστεί έτοιμη αν δεν υπήρχε η ψυχολογική στήριξη και εμπύχωση κατά τη διάρκεια εκπόνησης και ολοκλήρωσης της. Για τον λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου και την αδερφή μου, αλλά και τους φίλους μου που ήταν στο πλευρό μου τόσο στις δυσκολίες, όσο και στις επιτυχίες.

Παντελίδη Παναγιώτα

Νοέμβριος 2009

If we knew what it was we were doing, it would not be called research, would it?
Albert Einstein (1879 - 1955)

Περίληψη

Σκοπός της αναχείρας πτυχιακής εργασίας είναι η επιτυχής λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου σε περιβαλλοντικές συνθήκες και με δυναμική παραμετροποίηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ποιότητα υπηρεσίας. Για την δημιουργία ενός τέτοιου δικτύου χρησιμοποιήσαμε το MikroTik RouterOS το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα τόσο να κάνουμε αλλαγές στα χαρακτηριστικά της ζεύξης μας, όσο και να παρακολουθούμε το πώς διαφοροποιείται η απόδοση του.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου μελετήθηκαν εφαρμογές και υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα και είναι απαραίτητη η σωστή διεκπεραίωση τους.

Είναι αναγκαίο να μελετηθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες μέσα στις οποίες λειτουργεί το δίκτυο μας, καθώς μπορούν να το επηρεάσουν σημαντικά τόσο στην ύπαρξη του, όσο και στην απόδοση του. Για μέγιστα αποτελέσματα του δικτύου έχουν δημιουργηθεί σενάρια που να συμπεριλαμβάνουν φαινόμενα ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, βλάστησης, υλικά οικοδόμησης και έχουν μελετηθεί πρότυπα σύμφωνα με τα οποία μπορεί να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια τα εκάστοτε αποτελέσματα, ώστε να βρεθούν και οι απαραίτητες λύσεις για να μην υπάρξουν απώλειες στο δίκτυο μας.

Τέλος, αναφέρθηκαν μεθοδολογίες διαχείρισης κινδύνου για την αποκατάσταση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας και επίσης παρουσιάστηκαν αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης.

Λέξεις Κλειδιά

Ασύρματη ζεύξη, QoS, MikroTik RouterOS, ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, βλάστηση, μοντέλο FITU-R, μοντέλο LITU-R, εμβέλεια κυψέλης, δρομολόγηση, αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης.

Abstract

The purpose of the present Thesis is the successful function of a wireless network under environmental conditions and under dynamic parameterization of its functional characteristics, so as to achieve successfully the maximum quality of the service. For the construction of such a network, we used the MikroTik RouterOS which helps us change the characteristics of our link and watch the differentiations of its performance.

For the achievement of that purpose, we studied applications and services which are used widely in a telecommunication system and their proper function is necessary.

It is also necessary to study the environmental conditions under which our network functions, as they are able to affect considerably both its existence and its performance. For maximum results of the network, there are created various scenarios that include phenomena of atmospheric precipitations, vegetation and construction materials; also, standards have been studied according which any kind of results can be calculated accurately, so as to find the appropriate solutions in order not to have failures in our network.

Finally, we are referred to methodologies of danger management concerning the restoration of the administered quality of service and we also present time-scheduling algorithms.

Key words

Wireless link, QoS, MikroTik RouterOS, atmospheric precipitation, vegetation, FITU-R model, LITU-R model, cell scope, routing, time-scheduling algorithms.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1. ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ.....	12
1.1. Χαρακτηριστικά ασύρματης ζεύξης	12
1.2. Πρότυπο 802.11.....	14
1.2.1. Διαστρωμάτωση.....	14
1.3. Quality of Service (QoS).....	17
1.3.1. Χαρακτηριστικά QoS.....	18
1.3.1.1. Υστέρηση(Latency).....	19
1.3.1.2. Διακύμανση καθυστέρησης(Jitter).....	20
1.3.2. Γενικό σχήμα μιας αρχιτεκτονικής QoS.....	21
1.3.2.1. Μηχανισμοί επιπέδου ελέγχου.....	22
1.3.2.2. Μηχανισμοί επιπέδου δεδομένων.....	23
1.3.2.3. Μηχανισμοί επιπέδου διαχείρισης.....	24
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.....	26
2.1. MikroTik RouterOS.....	26
2.2. Χαρακτηριστικά RouterOS.....	26
3. Χαρακτηριστικά εφαρμογών και υπηρεσιών.....	29
3.1. Μεταγωγή πακέτων.....	29
3.1.1. Αυτοδύναμα πακέτα.....	32
3.2. Σηματοδοσία.....	32
3.3. Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείου (File Transfer Protocol – FTP).....	33
3.4. Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερ-κειμένου (Hypertext Transfer Protocol – HTTP)....	35
3.5. Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail).....	36
3.6. Φωνή πάνω από IP (Voice over IP – VOIP).....	36
4. Αποτίμηση επίδρασης μεταβολής περιβαλλοντικών συνθηκών στην παροχή υπηρεσιών μέσω της ασύρματης ζεύξης.....	39
4.1. Απόσβεση λόγω βροχής.....	40
4.2. Διαλείψεις που οφείλονται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση.....	44
4.3. Εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικών αερίων.....	46
4.4. Σύννεφα και ομίχλη.....	48
4.5. Τροποσφαιρική διασπορά.....	50
4.6. Υλικά οικοδόμησης.....	51
4.7. Απόσβεση λόγω βλάστησης.....	55
4.7.1. Δυναμική επίδραση της βλάστησης.....	57
4.7.2. Φαινόμενα επιλεκτικών διαλείψεων λόγω βλάστησης.....	58
4.7.3. Μοντέλο διάδοσης μέσα από βλάστηση.....	60
4.7.3.1. Πρότυπο στοιχείο επίγειας αντανάκλασης.....	61
4.7.3.2. Πρότυπο στοιχείο διάθλασης.....	62

A. Σύγκριση πρόβλεψης ITU-R Rec. 526 με μετρήσεις για περίθλαση στο άνω άκρο.....	63
B. Σύγκριση πρόβλεψης ITU-R Rec. 526 με μετρήσεις για περίθλαση στο πλευρικό άκρο.....	66
4.7.3.3 H μηχανή RET.....	69
4.7.3.4 Συνδυασμός προτύπων.....	70
Γ. Δυναμικά κανάλια.....	72
Δ. Χαρακτηριστικά καναλιού ευρείας ζώνης.....	77
4.8. Θεωρητική ανάπτυξη προτύπων.....	77
4.9. Επιλογή προτύπου.....	84
A. Υπολογισμός διάρκειας ζωής και απόδοσης μπαταριών.....	87
B. Σχεδίαση κυψέλης.....	90
4.10. Δρομολόγηση.....	95
4.10.1. Εκτατά δένδρα.....	95
A. Αλγόριθμος KRUSKAL.....	95
B. Αλγόριθμος PRIM.....	96
4.10.2. Δένδρα μικρότερης διαδρομής	97
Γ. Αλγόριθμος DIJKSTRA.....	97
Δ. Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα.....	98
5. Μεθοδολογίες διαχείρισης κινδύνου και αποκατάστασης παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών.....	100
5.1. Τρόπος λειτουργίας του QoS.....	100
5.1.1 IntServ.....	100
5.1.2 DiffServ.....	102
5.2. Σύγκριση IntServ – DiffServ / Συνδυασμός τους.....	106
5.3. Χρονοδρομολόγηση.....	108
5.4. FIFO (First In First Out).....	111
5.5. WFQ – Weighted Fair Queueing.....	112
5.6. Priority Queueing.....	114
5.7. SCFQ – Self-Clocked Fair Queueing.....	115
5.8. GPS – Generalized Processor Sharing.....	116
5.9. WRR – Weighted Round – Robin.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	119
Πίνακας Ακρωνύμων.....	124
Βιβλιογραφία.....	126

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα εξετασθεί η απόδοση ασύρματου δικτύου, με βάση διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, με τη χρήση του Mikrotik RouterOS που περιγράφεται και αναλύοντας διαφορετικά σενάρια για να καλύψουμε ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων. Επίσης, θα ασχοληθούμε με την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο σύστημα μας και θα προσπαθήσουμε να βρούμε αποδοτικές λύσεις, ώστε να έχουμε τη βέλτιστη παροχή υπηρεσίας. Αρχικά γίνεται θεωρητική ανάλυση όλων των παραμέτρων που σχετίζονται με το θέμα και στη συνέχεια παρουσιάζονται πειραματικές μετρήσεις κ αποτελέσματα. Αναλυτικότερα:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύουμε το βασικό στοιχείο ενός ασύρματου δικτύου, την ασύρματη ζεύξη, όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά της και από τι μπορεί να επηρεάζεται. Επίσης, ορίζουμε τι είναι η ποιότητα υπηρεσίας, τα χαρακτηριστικά της καθώς παρουσιάζετε και το γενικό σχήμα μιας δομής QoS.

Στο δεύτερο κεφάλαιο κάνουμε την λειτουργική περιγραφή του Mikrotik RouterOS που θα χρησιμοποιήσουμε για την παρακολούθηση του δικτύου και αναλύουμε παραμέτρους τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για τις μετρήσεις και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφουμε τις περιπτώσεις με τις οποίες θα ασχοληθούμε για να επιτευχθεί ο στόχος της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών και των υπηρεσιών σε σχέση με τη μεταγωγή πακέτων, τη σηματοδότηση και περιπτώσεις κατά τις οποίες γίνεται ανταλλαγή πληροφορίας μέσα από το σύστημά μας και χρησιμοποιούμε ευρέως στην καθημερινότητα μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αποτίμηση της επίδρασης της μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών στην παροχή υπηρεσιών μέσω της ασύρματης ζεύξης, τόσο γενικά, όσο και ειδικά για κάθε περίπτωση ξεχωριστά παρουσιάζοντας και γραφήματα για κάθε περίπτωση. Γίνονται μελέτες χρησιμοποιώντας κάποια πειραματικά πρότυπα

λαμβάνοντας περιπτώσεις βέλτιστου και χειρότερου σεναρίου για την απόδοση του δικτύου μας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες μεθοδολογίες για τη διαχείριση του κινδύνου και την αποκατάσταση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών, όπως η διαθεσιμότητα και η χρονοδρομολόγηση, ενώ παρουσιάζονται και διάφοροι αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης.

1. ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ

Η ανάπτυξη και η χρήση του διαδικτύου, όπως επίσης και των εταιρικών δικτύων, είναι πλέον πολύ γνωστά και συνεχώς αναπτυσσόμενα και στην Ελλάδα. Η αναζήτηση για όλο και ταχύτερους τρόπους μετάδοσης δεδομένων, σύνδεσης στο διαδίκτυο ή και διασύνδεσης με άλλους απομακρυσμένους χρήστες οδήγησε και στην δημιουργία του ασύρματου δικτύου. Η δυνατότητα των χρηστών που χρησιμοποιούν το ασύρματο δίκτυο να μπορούν να μετακινούνται και να είναι συνεχώς σε επαφή με άλλους ή και με δεδομένα που μπορεί να αλλάζουν συνεχώς είναι ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων. Επίσης, η έλλειψη καλωδίωσης σε σημεία που δεν ήταν εύκολο να περάσουν γραμμές καλωδίων ή και σε παλαιότερα κτίρια που είτε έχουν χαθεί τα ηλεκτρολογικά σχέδια τους, είτε δεν είναι δυνατόν να περάσει γραμμή για ενσύρματη δικτύωση έκαναν τις ασύρματες ζεύξεις αναγκαίες. Οι ασύρματες μεταδόσεις που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή στην ασύρματη κινητή και σταθερή τηλεφωνία, στη ραδιοεπικοινωνία και τη ραδιοφωνία, όπως επίσης και στις τηλεοπτικές μεταδόσεις. Γενικά, ασύρματη ζεύξη ονομάζουμε οποιαδήποτε σύνδεση κόμβων με κάποιο σταθμό βάσης ή και μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά των ασυρμάτων ζεύξεων είναι η Πολλαπλή Πρόσβαση (Multiple Access) στο μέσο καθώς και η σύνδεση με συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης (data rate) σε συγκεκριμένη απόσταση. Τυπικά, μια ασύρματη ζεύξη συνδέει ασύρματους κόμβους σε base stations, ενώ επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα κορμού. (διασύνδεση base stations.) Στις ασύρματες ζεύξεις, η πρόσβαση στο ασύρματο κανάλι συντονίζεται από ένα πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (MAC protocol) και μπορούν να έχουν διάφορους ρυθμούς μετάδοσης, όπως και αποστάσεις μετάδοσης.

1.1 Χαρακτηριστικά ασύρματης ζεύξης

Στα πλεονεκτήματα της ασύρματης ζεύξης περιλαμβάνεται η ανεξαρτησία της από υλικά μέσα διάδοσης, πράγμα που σημαίνει ότι είναι δυνατή η ζεύξη δύο σημείων χωρίς

την ανάγκη ένωσης αυτών των δύο σημείων με κάποιο καλώδιο. Υπάρχουν μάλιστα χαρακτηριστικές περιπτώσεις ζεύξεων που η επικοινωνία θα ήταν αδύνατη χωρίς τη χρήση ασυρμάτων μεθόδων. Ένα επιπλέον πλεονέκτημά τους είναι ότι διανύουν αρκετά μεγάλες αποστάσεις χωρίς να χρειάζεται κάποιος αναμεταδότης και ότι είναι ικανά να διαπερνούν ημιδιαφανή ή και αδιαφανή αντικείμενα. Ωστόσο, στα μειονεκτήματα των ασυρμάτων ζεύξεων περιλαμβάνονται η μεγάλη ισχύς που απαιτείται, προκειμένου τα σήματα να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Η απαίτηση αυτή οφείλεται στη μεγάλη εξασθένηση που παρουσιάζουν τα σήματα κατά τη διάδοσή τους στην ατμόσφαιρα. Ένα άλλο μειονέκτημα των ασυρμάτων ζεύξεων είναι η μεγάλη ευαισθησία τους σε παρεμβολές, φυσικές (θόρυβος), τεχνητές ή ακόμα και σε καιρικά φαινόμενα, ενώ χρειάζονται και ειδικές άδειες για συχνότητες που θα χρησιμοποιηθούν για εκπομπή και λήψη. Κατά συνέπεια η ασφάλεια των μεταδιδόμενων πληροφοριών είναι χαμηλή, μιας και είναι σχετικά εύκολη υπόθεση είτε η παρεμβολή τους, είτε η υποκλοπή τους. Ο θόρυβος σε μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη είναι όλα τα σήματα, φυσικά ή τεχνικά, που λαμβάνονται, μαζί με το χρήσιμο σήμα, από την κεραία του δέκτη. Όταν αυτός ο θόρυβος φτάσει να γίνει τόσο μεγάλος όσο το σήμα, τότε είναι αδύνατο για το δέκτη να αναγνωρίσει τη χρήσιμη πληροφορία που μεταφέρει το σήμα. Επιπλέον προβλήματα δημιουργεί η ύπαρξη πολλών παραληπτών και αποστολέων.

Η ποιότητα των ψηφιακών ζεύξεων αξιολογείται από τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία που επιτυγχάνεται. Η διαθεσιμότητα μιας ζεύξης εκφράζεται από το ποσοστό στη διάρκεια ενός έτους κατά το οποίο ο δέκτης διατηρεί το συγχρονισμό του. Έτσι, για να διατηρείται ο συγχρονισμός, ο ρυθμός λανθασμένων ψηφίων (BER) δεν πρέπει να υπερβαίνει μια στάθμη κατωφλίου BER_{th} , η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με 10^{-3} , 10^{-7} ανάλογα με την εφαρμογή. Η πιθανότητα διακοπής ενός συστήματος, P_{out} , ή ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του, T_{out} , εκφράζουν τη διαθεσιμότητά του μέσω των σχέσεων:

$$P_{out} = P(BER > BER_{th}) \quad (1.1)$$

$$T_{out} = 52600 * P_{out} \text{ (min/year)} \quad (1.2)$$

Ο ρυθμός λανθασμένων ψηφίων είναι φθίνουσα συνάρτηση της παραμέτρου (E_b/n_0) , όπου E_b η ενέργεια ενός ψηφίου και n_0 η πυκνότητα θορύβου στην είσοδο του αποκωδικοποιητή του δέκτη.

Η αξιοπιστία της ζεύξης σχετίζεται με το ποσοστό λανθασμένων ψηφίων στην έξοδο του δέκτη. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το μέγεθος αυτό εμφανίζει τυχαίες διακυμάνσεις λόγω της μεταβλητής απόσβεσης που εισάγεται εξαιτίας βροχοπτώσεων. Ποσοτικά, η αξιοπιστία μιας ζεύξης μπορεί να περιγραφεί ως το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο επιτυγχάνεται ποσοστό λαθών μεγαλύτερο μιας δεδομένης στάθμης. Αντίστοιχα, η αξιοπιστία περιγράφεται από την πιθανότητα υπέρβασης μιας στάθμης ρυθμού λαθών M , δηλαδή την πιθανότητα:

$$P_M = P(\text{BER} > M) \quad (1.3)$$

Με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού και πάντα σύμφωνα με τις εκάστοτε συνθήκες, δημιουργούμε ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο ή και περισσότερων απομακρυσμένων σημείων. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση των ασύρματων ζεύξεων είναι Point-to-Point (PTP-σημείου προς σημείο) και Point-to-Multipoint (PMP-σημείου προς πολλά σημεία). Η λειτουργία τους κυμαίνεται στο φάσμα των συχνοτήτων από 2.4GHz-2.483GHz και ακολουθεί τα ελληνικά και ευρωπαϊκά όρια στην ισχύ των εκπεμπόμενων σημάτων, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η υγεία των πολιτών.

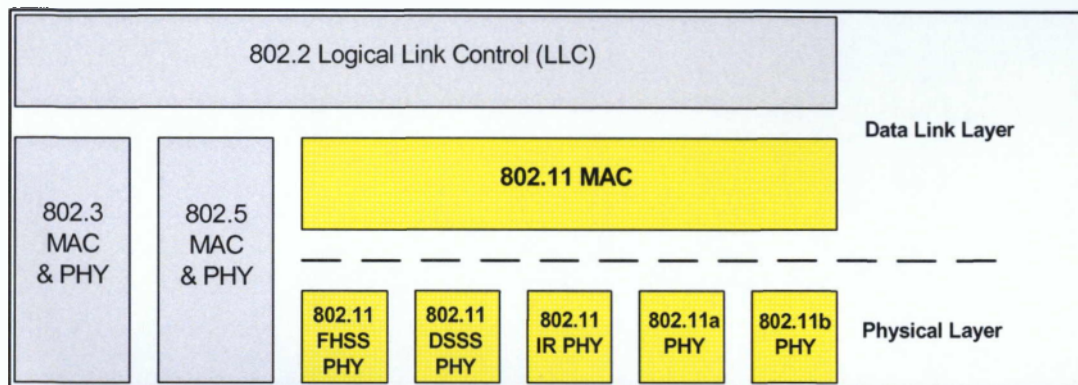
1.2 Πρότυπο 802.11

Το πρότυπο 802.11 ανακοινώθηκε από την IEEE επίσημα το 1997. Στη συνέχεια ανακοινώθηκαν συμπληρωματικά πρότυπα, όπως τα 802.11a και 802.11b το 1999. Μετά το 1997, η δημιουργία ανάπτυξης ασύρματων δικτύων έγινε πολύ πιο εύκολη, εφόσον πλέον χρησιμοποιούνταν ασύρματες διεπαφές και κεραιές, με τις ταχύτητες σύνδεσης να αυξάνονται συνεχώς, από τα 2 Mbps στα 11 Mbps και μετά στα 54 Mbps.

1.2.1 Διαστρωμάτωση

Το 802.11 αναφέρεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI (Open System Interconnection), δηλαδή στο φυσικό στρώμα (Physical Layer – PHY) και στο υπόστρωμα MAC (Medium Access Control) του στρώματος

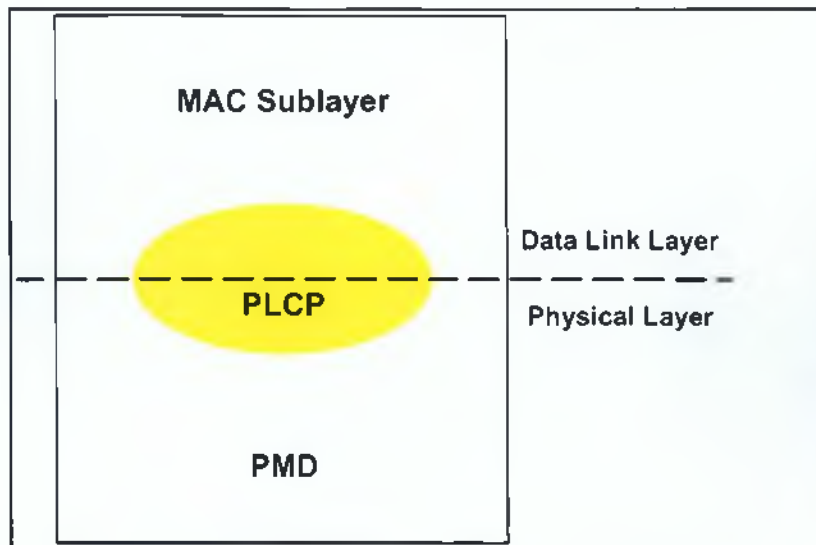
ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer). Το άλλο υπόστρωμα του στρώματος ζεύξης δεδομένων, υπόστρωμα ελέγχου λογικής ζεύξης (Logical Link Control – LLC), είναι αυτό που έχει τυποποιηθεί ως IEEE 802.2 και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με όλα τα διαφορετικά MAC της σειράς IEEE 802, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.1**.



Σχήμα 1.1: Διαστρωμάτωση του προτύπου 802.11

Η φιλοσοφία που ακολουθεί το πρότυπο 802.11 είναι η ύπαρξη ενός μόνο MAC που όμως υποστηρίζει περισσότερα του ενός φυσικά στρώματα. Κάθε φυσικό στρώμα χωρίζεται σε δύο υποστρώματα, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.2**.

Το υπόστρωμα PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) χρησιμεύει στην προσαρμογή των διαφόρων φυσικών στρωμάτων στο κοινό MAC. Το υπόστρωμα PMD (Physical Medium Dependent) περιέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη μετάδοση της πληροφορίας από το εκάστοτε φυσικό στρώμα.



Σχήμα 1.2: Φυσικό στρώμα του προτύπου 802.11

Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 αποτελούνται από τέσσερις βασικές μονάδες. Αυτές είναι:

- Σημείο πρόσβασης (Access Point – AP): Το AP είναι η μονάδα που παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών. Επιτελεί και πολλές άλλες λειτουργίες στο ασύρματο δίκτυο που θα αναφερθούν στη συνέχεια.
- Σύστημα διανομής (Distribution System): Το σύστημα διανομής ενώνει τα διάφορα AP του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια. Το 802.11 δεν προσδιορίζει τον τρόπο που θα γίνεται αυτό.
- Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium): Έχουν οριστεί διάφορα φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση των πλαισίων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου.

- Σταθμοί (Stations): Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου συνήθως είναι φορητές συσκευές (για παράδειγμα laptops), χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.

Συνδυάζοντας τη σύνδεση που προσφέρει το 802.11 με έναν δορυφόρο για uplink μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση στο Ίντερνετ, ακόμα και αν κινούμαστε αρκετά γρήγορα. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται πιο πολύ στις ασύρματες ζεύξεις είναι το IEEE 802.11b, το οποίο λειτουργεί στην ISM ζώνη των 2.4GHz με τεχνολογία DSSS και ρυθμό μετάδοσης μέχρι 11Mbps. Το 802.11a λειτουργεί στα 5GHz, για το οποίο όμως δεν έχει ξεκαθαριστεί το νομικό πλαίσιο λειτουργίας και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιείται. Το 802.11g που υπόσχεται μεγαλύτερους ρυθμούς από το b στην ζώνη των 2.4GHz δεν χρησιμοποιείται σε εξωτερικό χώρο διότι ρυπαίνει υπερβολικά το ραδιοφάσμα. Το 802.11b πρότυπο υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμό 1,2, 5,5, 11 Mbps. Ο ρυθμός αυτός αναφέρεται στο ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας στο φυσικό μέσο. Ο ρυθμός μετάδοσης όμως για το χρήστη, δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρονται τα δεδομένα του είναι αρκετά μικρότερος. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Το πρωτόκολλο επιβάλλει για κάθε πακέτο που στέλνεται να γίνεται επιβεβαίωση της σωστής λήψης του.
- Γίνεται ενθυλάκωση των πακέτων πληροφορίας σε πλαίσια τα οποία περιέχουν απαραίτητη πληροφορία για να λειτουργήσει σωστά η ασύρματη μετάδοση.
- Οι κεφαλές των πλαισίων μεταδίδονται με μικρότερο ρυθμό, 1Mbps, προκειμένου να γίνουν αντιληπτά τα πλαίσια από όλους τους σταθμούς. Τυπικός μέγιστος ρυθμός για ένα 802.11b σύστημα που δουλεύει σωστά είναι 3500-5000Kbps.

1.3 Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS), ή αλλιώς Ποιότητα Υπηρεσίας, αναφέρεται στην ικανότητα του δικτύου να προσφέρει καλύτερη υπηρεσία σε επιλεγμένο σημείο κυκλοφορίας μέσα στο δίκτυο, παρά την όποια τεχνολογία χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένου των Frame Relay, Asynchronous Transfer Mode (ATM), Ethernet, 802.11 για δίκτυα, SONET και δίκτυα

δρομολογημένα με IP, σύμφωνα με τα οποία μπορεί να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε ή και όλες αυτές τις ελλοχεύουσες τεχνολογίες. Μία αρχική ερμηνεία για το QoS μπορούμε να δούμε στη σύσταση E.800 της ITU – T : «Το συνολικό αποτέλεσμα της απόδοσης μιας υπηρεσίας, που καθορίζει το βαθμό ικανοποίησης του χρήστη της». Ο πρωταρχικός στόχος του QoS είναι να παρασχεθεί προτεραιότητα, συμπεριλαμβανομένου του δεσμευμένου εύρους ζώνης, ελέγχοντας την υστέρηση (latency) και τη διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και των βελτιωμένων χαρακτηριστικών απώλειας. Επίσης, σημαντικό είναι να υπάρχει βεβαιότητα ότι δίνοντας προτεραιότητα σε μια ροή ή περισσότερες, δεν θα προκαλέσει την αποτυχία κάποιων άλλων. Το QoS είναι απαραίτητο μόνο σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων, αφού σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος ο τύπος και τα χαρακτηριστικά κάθε σύνδεσης γίνονται αντικείμενο διαπραγμάτευσης κατά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης και παραμένουν σταθερά μέχρι τον τερματισμό της.

Οι απαιτήσεις για το QoS εξαρτώνται στην υπηρεσία που σκοπεύουν να εξυπηρετήσουν. Συνήθως, το QoS ορίζεται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Εύρος ζώνης/ ρυθμός δεδομένων/ χωρητικότητα
- Καθυστέρηση διάδοσης
- Διακύμανση καθυστέρησης
- Bit error
- Απώλεια πακέτων

1.3.1 Χαρακτηριστικά QoS

Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά λογισμικά για τη μελέτη και την παρακολούθηση του QoS. Το λογισμικό για QoS επιτρέπει στα σύνθετα δίκτυα να ελέγχει και να προβλέπει ποικιλία υπηρεσιών για δικτυωμένες εφαρμογές και τύπους κυκλοφορίας. Σχεδόν οποιοδήποτε δίκτυο μπορεί να εκμεταλλευτεί το QoS για τη βέλτιστη αποδοτικότητα του, είτε είναι ένα μικρό εταιρικό δίκτυο, είτε Πάροχος Υπηρεσίας Ίντερνετ, είτε ένα δίκτυο επιχειρήσεων. Τα λογισμικά για QoS παρέχουν τα εξής οφέλη:

- Έλεγχο των πόρων: έχεις τον έλεγχο των πόρων σύμφωνα με το ποιοι πόροι χρησιμοποιούνται. (εύρος ζώνης, εξοπλισμός, εγκαταστάσεις εκτεταμένων περιοχών, κ.ά.). Για παράδειγμα, μπορείς να περιορίσεις το καταναλισκόμενο εύρος ζώνης σε μια backbone σύνδεση μέσω FTP ή να δώσεις προτεραιότητα στη πρόσβαση μιας σημαντικής βάσης δεδομένων.
- Αποδοτικότερη χρήση των πόρων του δικτύου: χρησιμοποιώντας το εργαλείο ανάλυσης διαχείρισης και λογιστικής, θα γνωρίζεις για ποιο λόγο χρησιμοποιείται το δίκτυο σου και πως εφαρμόζεις τη σημαντικότερη κυκλοφορία στην επιχείρησή σου.
- Προσαρμοσμένες υπηρεσίες: Ο έλεγχος και η διαφάνεια που παρέχονται από το QoS επιτρέπουν στους Πάροχους Υπηρεσίας Ίντερνετ να προσφέρουν προσεκτικά προσαρμοσμένους βαθμούς διαφοροποίησης υπηρεσιών στους πελάτες τους.

Το QoS σου επιτρέπει να διαχειρίζεσαι καλύτερα ένα δίκτυο και πιο συγκεκριμένα, συγκεκριμένες ροές μέσα σε ένα δίκτυο. Όταν χρησιμοποιείς εργαλεία διαχείρισης συμφόρησης, προσπαθείς να αυξήσεις την προτεραιότητα σε μια ροή, θέτοντας σε αναμονή και διατηρώντας τη σειρά αναμονής με διαφορετικούς τρόπους. Το εργαλείο διαχείρισης ουράς, το οποίο χρησιμοποιείται για την αποφυγή συμφόρησης, αυξάνει την προτεραιότητα ρίχνοντας τις ροές χαμηλότερης προτεραιότητας, πριν από τις ροές αυξημένης προτεραιότητας. Με την επίβλεψη και διαμόρφωση παρέχεται προτεραιότητα σε μια ροή, περιορίζοντας την απόδοση άλλων ροών. Τα εργαλεία που δείχνουν την απόδοση των συνδέσεων περιορίζουν τις μεγάλες ροές, δείχνοντας προτίμηση στις μικρές.

1.3.1.1 Υστέρηση (latency)

Τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται σε κάθε δίκτυο έχουν κάποια χωρητικότητα. Όταν γίνεται αποστολή κάποιου πακέτου παίζει ρόλο η χωρητικότητα του κυκλώματος που θα ακολουθήσει, καθώς και το μέγεθος του πακέτου για το αν θα υπάρξει κάποια καθυστέρηση στα κυκλώματα του δικτύου. Όταν στο δίκτυο δεν αποστέλλονται πολλά πακέτα, δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μεγαλύτερη από την διακινούμενη κυκλοφορία, τότε η καθυστέρηση είναι μικρή. Όταν, όμως, αποστέλλονται πολλά πακέτα,

δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μικρότερη από τα δεδομένα που πρέπει να περάσουν, τότε τα δεδομένα πρέπει να περιμένουν στην ουρά (ή ουρές) και έχουμε καθυστέρηση. Η καθυστέρηση μετριέται σε ms. Συνήθως, σε επίπεδο τοπικού δικτύου, ή κατευθείαν στον πάροχο, ο χρόνος είναι κάτω από 50 ms. Ουσιαστικά, η καθυστέρηση αυτή δημιουργείται από την ταχύτητα μετάδοσης, το μέγεθος του πακέτου και την ταχύτητα του εξοπλισμού στην διαμεταγωγή (switches / routers κλπ). Όταν αρχίσουμε να έχουμε καθυστέρηση, τότε ο χρόνος γίνεται 100, 200, 500 ms και μπορεί να φτάσει και ακόμη μεγαλύτερους χρόνους. Όταν συμβαίνει αυτό αρκετές εφαρμογές (ειδικά αυτές που είναι Playback, δηλαδή παίζουν ήχο ή βίντεο για παράδειγμα) έχουν σοβαρό πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει γιατί η εφαρμογή πρέπει να λειτουργεί σε ίδιους ρυθμούς με αυτούς του αποστολέα. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανισθεί είναι το **timeout**. Εάν κάποια εφαρμογή περιμένει απάντηση και έχει προκαθορισμένο τον μέγιστο χρόνο που μπορεί να περιμένει και υπερβεί αυτό το χρόνο, τότε η εφαρμογή νομίζει ότι έχει χάσει την σύνδεση με το δίκτυο (δεν υπάρχει δίκτυο), αυτό είναι το timeout. Τα συστήματα διαμεταγωγής (routers, switches, κλπ.) που μεταφέρουν τα πακέτα δεδομένων στο Ίντερνετ, τοποθετούν τα πακέτα αυτά σε ουρές πριν τα στείλουν. Αυτό είναι απαραίτητο για να αντιμετωπίσουν τη συμφόρηση (congestion). Παράδειγμα, όταν σε έναν router φτάνουν πακέτα με μεγαλύτερο ρυθμό από αυτόν που μπορεί να τα αποστείλει, έχει δύο επιλογές: 1. Να διαγράψει τα πακέτα και να χαθεί η πληροφορία, 2. Να προσπαθήσει να τα κρατήσει στην ουρά περιμένοντας λίγο και να τα στείλει όταν μπορέσει. Οι ουρές αυτές που σχηματίζονται είναι που προκαλούν υστέρηση (latency).

1.3.1.2 Διακύμανση καθυστέρησης (jitter)

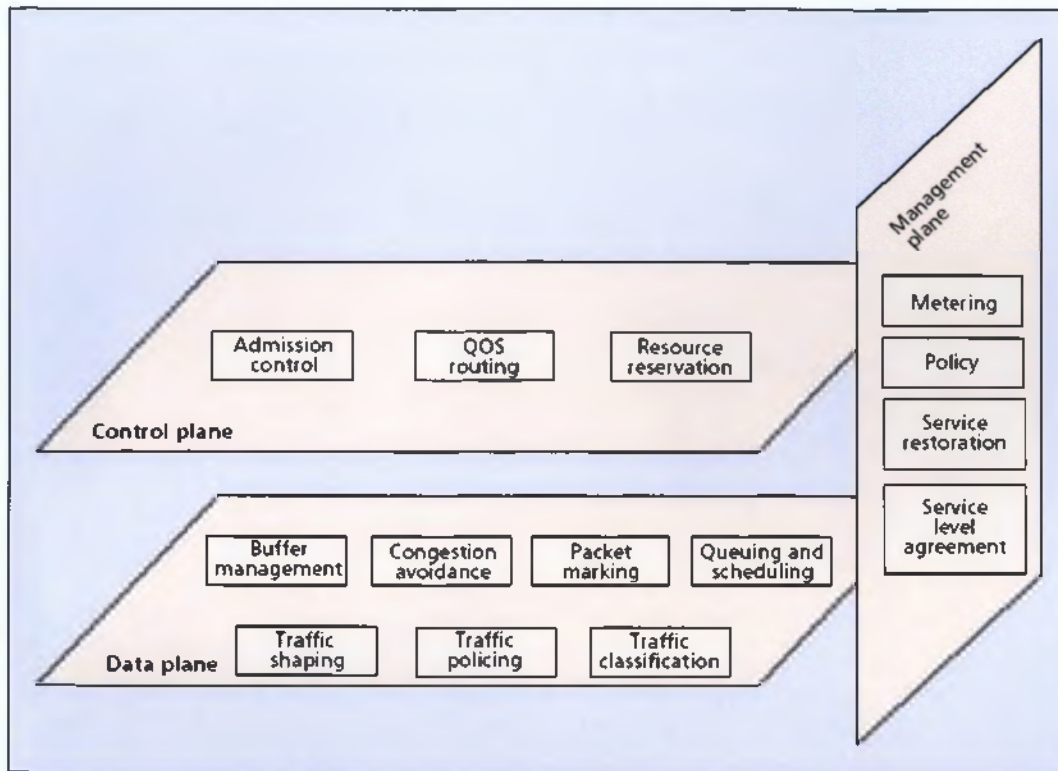
Το jitter είναι η διακύμανση της καθυστέρησης. Όταν έχουμε σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στα πακέτα (latency) πολλές εφαρμογές μπορούν να το λάβουν αυτό υπόψη τους και να προσαρμοστούν ανάλογα. Όταν, όμως, το latency διαφέρει και αλλάζει συνεχώς, τότε το πρόβλημα γίνεται πολύπλοκο και δεν μπορεί η εφαρμογή να ανταποκριθεί. Για παράδειγμα, ας πάρουμε μια εφαρμογή που εάν δεν πάρει απάντηση μέσα σε X χρόνο, όπου $X = \text{μέσος χρόνος απάντησης} \times 4$ (για ασφάλεια), με μέσο χρόνο καθυστέρησης 100 ms και ξαφνικά η καθυστέρηση γίνεται 500 ms. Η εφαρμογή δεν

γνωρίζει ότι απλά η καθυστέρηση μεγάλωσε πολύ απότομα (ίσως και για πολύ λίγο) και θεωρεί ότι δεν έχει δίκτυο (timeout). Είναι φανερό πως όταν έχουμε το φαινόμενο jitter έχουμε ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα από όταν έχουμε μόνο latency. Το jitter παρουσιάζεται όταν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων. Δηλαδή, γεμίζει η γραμμή και αυξάνεται η καθυστέρηση, ενώ μετά από λίγο αδειάζει.

1.3.2 Γενικό σχήμα μιας αρχιτεκτονικής QoS

Μία αρχιτεκτονική που προσφέρει ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να χωριστεί σε τρία λογικά επίπεδα (planes), καθένα από τα οποία αναλύεται σε επιμέρους δομικά στοιχεία (building blocks). Κάθε δομικό στοιχείο μπορεί να αναφέρεται σε έναν και μόνο κόμβο (π.χ. η διαχείριση των ενταμιευτών) ή σε ένα τμήμα του δικτύου (π.χ. η QoS δρομολόγηση)[27]. Τα τρία επίπεδα είναι τα εξής :

- Επίπεδο ελέγχου (Control plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που σχετίζονται με τη διαδρομή που ακολουθεί η κίνηση δεδομένων. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν την αποδοχή κλήσεων, την QoS δρομολόγηση και την εξασφάλιση πόρων
- Επίπεδο δεδομένων (Data plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που σχετίζονται απευθείας με τα δεδομένα των χρηστών (π.χ. διαχείριση ουρών, έλεγχος συμφόρησης, μορφοποίηση κίνησης κ.ά.).
- Επίπεδο διαχείρισης (Management plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία, την επόπτευση και τη διαχείριση των δεδομένων των χρηστών.



Σχήμα 1.3 : Τα τρία λογικά επίπεδα μίας QoS αρχιτεκτονικής και τα επιμέρους δομικά στοιχεία τους[23]

1.3.2.1 Μηχανισμοί επιπέδου ελέγχου

Έλεγχος πρόσβασης (Admission control) : Ελέγχει τον τρόπο που γίνεται η κίνηση στο δίκτυο, έτσι ώστε να η κίνηση που εισάγεται πιο μετά να μην δημιουργεί υπερφόρτωση του δικτύου ή να υποβαθμίζει την ποιότητα υπηρεσίας για την ήδη υπάρχουσα κίνηση. Επιπλέον, ελέγχει αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι ώστε να μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις υπηρεσίας της κίνησης που πρόκειται να εισαχθεί. Ο έλεγχος πρόσβασης γίνεται με δύο τεχνικές: τη βασισμένη σε παραμέτρους (parameter-based) και τη βασισμένη σε μετρήσεις (measurement-based). Στην τεχνική που είναι βασισμένη σε παραμέτρους λαμβάνονται υπόψη τα χειρότερα όρια για ένα σύνολο παραμέτρων (ποσοστό απωλειών, καθυστέρηση, τρέμουλο), οπότε έχουμε τη «hard» QoS παροχή, η οποία είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Αντιθέτως, στην τεχνική που είναι βασισμένη σε μετρήσεις η απόφαση για το αν θα γίνει εισαγωγή νέας κίνησης γίνεται

βάσει μετρήσεων της ήδη υπάρχουσας. Έτσι έχουμε «soft» QoS, αλλά έχουμε και υψηλότερη χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.

QoS δρομολόγηση (QoS routing): Κάνει την επιλογή ενός μονοπατιού το οποίο είναι ικανό να εξυπηρετήσει τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας μίας ροής. Συνηθίζεται αυτό το μονοπάτι να μην είναι και το συντομότερο. Στην ουσία, επειδή οι υπολογισμοί για την εύρεση του μονοπατιού γίνονται αρκετά πολύπλοκοι, λαμβάνεται υπόψη μόνο μία QoS παράμετρος (χωρητικότητα ή καθυστέρηση) ή ο συνδυασμός δύο παραμέτρων.

Δέσμευση πόρων (Resource reservation) : Ο μηχανισμός αυτός παραγκωνίζει πόρους του δικτύου για την παροχή της επιθυμητής απόδοσης. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RSVP για τη δέσμευση των πόρων, ωστόσο, κανένα πρωτόκολλο δε θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα.

1.3.2.2 Μηχανισμοί επιπέδου δεδομένων

Διαχείριση ουρών(ή ενταμιευτών) (Buffer management) : Έχει να κάνει με τα πακέτα που είναι σε αναμονή για μετάδοση και αποφασίζει αν θα αποθηκευτούν ή θα απορριφθούν. Στοχεύει στο να διατηρούνται οι ουρές όσο γίνεται σε σταθερό μήκος και χωρίς να έχουμε χαμηλή χρησιμοποίηση των συνδέσεων. Πιο βασικές προσεγγίσεις είναι η Tail-Drop και ο αλγόριθμος RED.

Αποφυγή συμφόρησης (Congestion avoidance) : Έχει να κάνει με μηχανισμούς που διατηρούν το φορτίο του δικτύου χαμηλότερο από τη μέγιστη χωρητικότητα του, ώστε να επιτυγχάνεται αποδεκτή απόδοση. Το πιο γνωστό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό είναι το TCP, πρωτόκολλο στρώματος μεταφοράς, ενώ για αποφυγή υπερβολικής καθυστέρησης λόγω αναμεταδόσεων έχει προταθεί το ECN (Explicit Congestion Notification).

Μαρκάρισμα πακέτων (Packet marking) : Δίνει τη δυνατότητα να μπορούν να μαρκάρονται τα πακέτα ανάλογα με το επίπεδο υπηρεσίας που θα λάβουν. Είθισται αυτό να γίνεται σε ακραίους κόμβους του δικτύου. Αν το μαρκάρισμα γίνεται από το χρήστη, θα πρέπει να ελέγχεται στον δρομολογητή με τον οποίο ο χρήστης συνδέεται. Είναι πιθανό η

μη σύμφωνη κίνηση να μαρκάρεται με κατάλληλες τιμές, ώστε σε περίπτωση συμφόρησης να απορρίπτεται πρώτη.

Χρονοδρομολόγηση (Queueing and scheduling): Ο μηχανισμός αυτός έχει να κάνει με την επιλογή των πακέτων προς μετάδοση.

Ταξινόμηση κίνησης (Traffic classification) : Μπορεί να γίνεται σε επίπεδο ροών ή πακέτων και συνήθως στα άκρα του δικτύου. Γενικά, λαμβάνονται υπόψη πολλά πεδία του πακέτου. Ανάλογα με την ομάδα στην οποία ανήκει το πακέτο, οδηγείται στο κατάλληλο στοιχείο ρύθμισης για περαιτέρω επεξεργασία.

Μορφοποίηση κίνησης (Traffic shaping) : Διατηρεί ελεγχόμενα το ρυθμό και τη μορφή της κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις: του διαρρέοντος κάδου (**leaky bucket**) και του κάδου με κουπόνια (**token bucket**). Στη πρώτη προσέγγιση, διατηρεί το ρυθμό εξόδου, ανεξάρτητα από το ρυθμό εισόδου και αν γεμίσει τα επιπλέον πακέτα απορρίπτονται. Ο ρυθμός μετάδοσης και το μέγεθος του κάδου είναι παράμετροι που καθορίζονται. Στη δεύτερη προσέγγιση, αφήνει τα πακέτα να εξέρχονται όσο γρήγορα φτάνουν, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα κουπόνια. (tokens). Αν δεν υπάρχουν κουπόνια στον κάδο, κανένα πακέτο δεν μπορεί να φύγει. Ωστόσο, πολλά κουπόνια μπορούν να καταναλωθούν μαζί ώστε να επιτραπεί σε μεγάλη κίνηση να περάσει. Σε αυτή τη μέθοδο δεν απορρίπτονται πακέτα. Παράμετροι που καθορίζονται είναι ο ρυθμός παραγωγής κουπονιών και το μέγεθος του κάδου. Στην πράξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συνδυασμός των δύο μεθόδων.

1.3.2.3 Μηχανισμοί επιπέδου διαχείρισης

Μέτρηση (Metering) : Παρακολουθεί τις ιδιότητες μια ροής κίνησης σε σχέση με το συμφωνημένο προφίλ κίνησης. Ένας μετρητής μπορεί να προκαλέσει με κατάλληλες ενέργειες την απόρριψη ή την μορφοποίηση της κίνησης, αν αυτό είναι απαραίτητο.

Συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας (SLA-Service Level Agreement) : Είναι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας μεταξύ προμηθευτών γειτονικών δικτύων που καθορίζουν το επίπεδο διαθεσιμότητας, επίδοσης κλπ. της παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και το προφίλ κίνησης.

Κίνηση επιπλέον από αυτή που καθορίζεται μέσω του SLA, είτε παύει να έχει εγγυήσεις, είτε προσθέτει επιπλέον κόστος, ανάλογα με όσα προδιαγράφονται στη συμφωνία. Το τεχνικό μέρος του SLA ονομάζεται SLS και περιλαμβάνει ένα σύνολο παραμέτρων και τις τιμές τους.

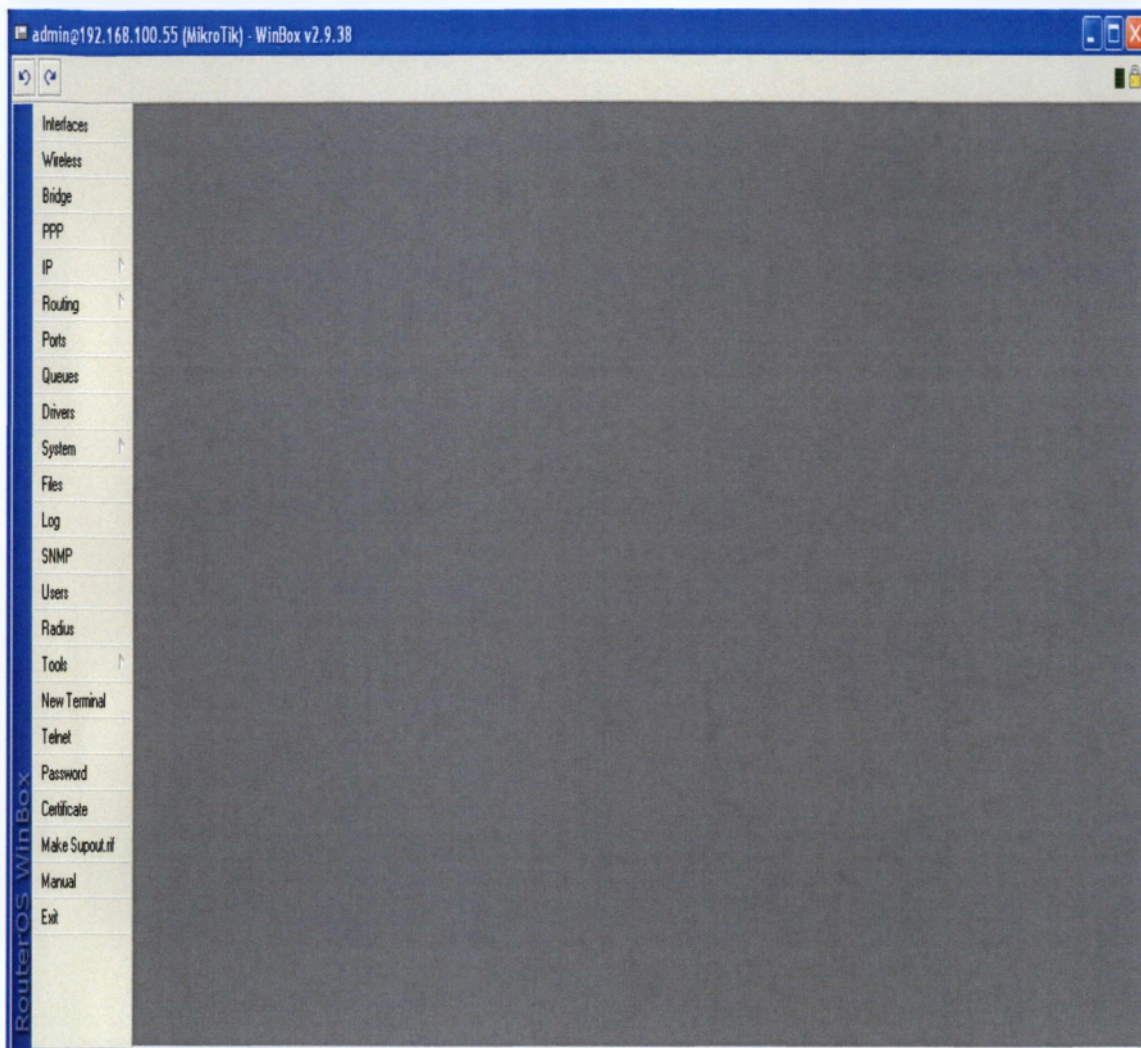
2.1 MikroTik RouterOS

Το MikroTik RouterOS είναι το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται στο MikroTik RouterBOARD υλικό. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι μπορεί να εγκατασταθεί σε κάθε PC και να το μετατρέψει σε ένα δρομολογητή με όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά, όπως δρομολόγηση, firewall, διαχείριση εύρους ζώνης, ασύρματο σημείο πρόσβασης, σύνδεση backhaul, hotspot πύλη, VPN server και πολλά ακόμα. Το RouterOS είναι ένα αυτόνομο λειτουργικό σύστημα, το οποίο βασίζεται στον πυρήνα του Linux v2.6 και παρέχει παρόμοια χαρακτηριστικά, με μια απλή και εύκολη εγκατάσταση και εύκολη στη χρήση διεπαφή.

2.2 Χαρακτηριστικά RouterOS

Το MikroTik RouterOS προσφέρει πολλά χρήσιμα εργαλεία για βέλτιστη χρήση και διαχείριση του συστήματος. Μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα και στις καινούργιες μητρικές κάρτες της Intel και υποστηρίζει πολλαπλές διεπαφές δικτύων, όπως τις 10 Gigabit κάρτες ethernet, 802.11 a/b/g/n ασύρματες κάρτες και 3G modems. Επίσης, παρουσιάζει πολλούς τρόπους διαμόρφωσης, κάτι που το κάνει ιδιαίτερα λειτουργικό, αφού παρέχει πολλαπλές λύσεις για κάθε είδους σύστημα. Παρέχει, ακόμα, firewall, κάτι το οποίο με τη σειρά του προσφέρει λειτουργίες ασφαλείας για τη ροή δεδομένων προς, από, ή και μέσω του δρομολογητή (router). Επιπλέον, υποστηρίζει στατική δρομολόγηση και δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως και διάφορες ασύρματες τεχνολογίες. Στη συνέχεια, θα αναπτύξουμε πιο συγκεκριμένα τα εργαλεία του RouterOS που θα χρησιμοποιήσουμε για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε κάποια screenshots από το MikroTik για να δούμε το περιβάλλον στο οποίο θα δουλέψουμε και σε τι μορφή δέχεται τις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους, εφόσον θα χρησιμοποιήσουμε αρκετά εργαλεία από αυτά που προσφέρει.



Σχήμα 2.4 : Βασικό μενού του MikroTik

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, το MikroTik, στη παρούσα φάση χρησιμοποιεί τη διεύθυνση 192.168.100.55 και η έκδοση που χρησιμοποιείται είναι η WinBox v 2.9.38.

Για να εκτελέσουμε οποιαδήποτε εντολή και να μπούμε σε κάποιο κατάλογο, εμείς θα χρησιμοποιούμε το Telnet, όπου αφού εισαγάγουμε τα στοιχεία μας για να γίνει είσοδος, ανοίγει η κεντρική σελίδα, περιμένοντας την εισαγωγή κάποιας εντολής.

```

Telnet 192.168.100.55
Trying 192.168.100.55...
Connected to 192.168.100.55.
Escape character is '^]'.

MikroTik v2.9.38
Login: *****
Password:*****

MMM      MM      KKK                TTTTTTTTTT      KKK
MMMM     MMMM     KKK                TTTTTTTTTT      KKK
MMM MMMM MM      III  KKK  KKK  RRRRRR   000000      TTT   III  KKK  KKK
MMM  MM  MM      III  KKKKK  RRR  RRR  000 000      TTT   III  KKKKK
MMM      MM      III  KKK  KKK  RRRRRR   000 000      TTT   III  KKK  KKK
MMM      MM      III  KKK  KKK  RRR  RRR   000000      TTT   III  KKK  KKK

MikroTik Router0$ 2.9.38 (c) 1999-2006      http://www.mikrotik.com/

Terminal unknown detected, using single line input mode
[admin@MikroTik] >

```

Σχήμα 2.5: Βασικό παράθυρο του εργαλείου, από το οποίο εκτελούνται οι εντολές

Επίσης, σε περίπτωση που δεν γνωρίζουμε κάποια εντολή ή δεν θυμόμαστε την ακριβή σύνταξη της, μπορούμε να τις εμφανίσουμε όλες τις διαθέσιμες εντολές, όπως παρακάτω, σε επίπεδο ρίζας.

```

Telnet 192.168.100.55
[admin@MikroTik] >
root level

tool/ -- Diagnostics tools
system/ -- System information and utilities
ip/ -- IP options
user/ -- User management
ppp/ -- Point to Point Protocol
interface/ -- Interface configuration
routing/ -- Various routing protocol settings
blink --
radius/ -- Radius client settings
log/ -- System logs
quit -- Quit console
certificate/ -- Certificate management
redo -- Redo previously undone action
special-login/ -- Special login users
driver/ -- Driver management
ping -- Send ICMP Echo packets
setup -- Do basic setup of system
password -- Change password
undo -- Undo previous action
port/ -- Serial ports
import --
snmp/ -- SNMP settings
file/ -- Local router file storage.
queue/ -- Bandwidth management
export --

[admin@MikroTik] >

```

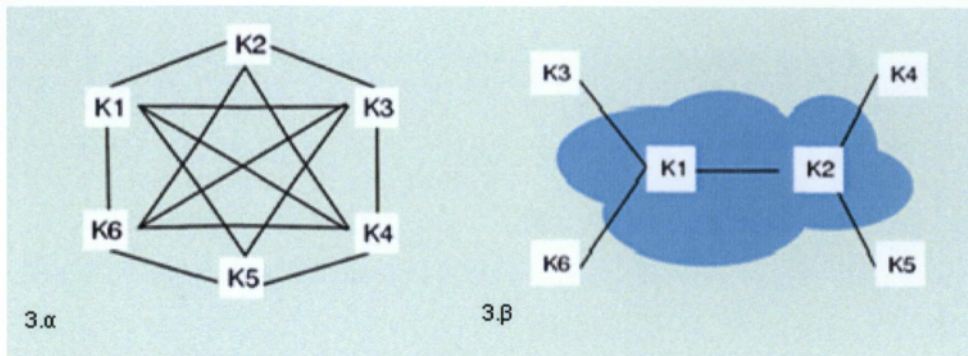
Σχήμα 2.6: Όλοι οι κατάλογοι που μπορεί να μπει, από το επίπεδο root

Το βασικό συστατικό για να μπορούμε να κάνουμε μελέτη απόδοσης ενός ασυρμάτου δικτύου είναι να γνωρίζουμε ότι γίνεται μετάδοση δεδομένων μέσα από αυτό για κάποιο χρονικό διάστημα. Κάνοντας λόγο για μετάδοση δεδομένων δεν πρέπει να πηγαίνει η σκέψη μας μόνο στην αποστολή-λήψη δεδομένων, αλλά και σε οποιαδήποτε ανταλλαγή πληροφορίας γίνεται μέσα από το σύστημα μας. Εμείς θα ασχοληθούμε με την απόκτηση δεδομένων με βάση την υπάρχουσα ασύρματη υποδομή που λειτουργεί για πάνω από ένα χρόνο, υπό μορφή υπηρεσιών Διαδικτύου (web-surfing), e-mail, video streaming, σηματοδοσία. Η μεταγωγή πακέτων μέσα στο κύκλωμα μας είναι αναπόσπαστο κομμάτι, ακόμα και στις προαναφερθείσες περιπτώσεις.

3.1 Μεταγωγή πακέτων

Αρχικά, να δούμε τι είναι η μεταγωγή, για να μπορούμε να κατανοήσουμε τι είναι και η μεταγωγή πακέτου. Η **μεταγωγή** είναι η διαδικασία η οποία εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα θα φτάσουν στον σωστό προορισμό τους. Για τη μετάδοση δεδομένων πέρα από μια τοπική περιοχή, η επικοινωνία συνήθως επιτυγχάνεται με τη μετάδοση δεδομένων από την πηγή στον προορισμό μέσω ενός δικτύου με ενδιάμεσους κόμβους μεταγωγής. Η έννοια της μεταγωγής μπορεί να γίνει κατανοητή χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα. Έστω ότι διασυνδέονται έξι απομακρυσμένοι κόμβοι. Αν έπρεπε να χρησιμοποιηθούν μόνο απευθείας συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, τότε θα σχεδιαζόταν ένα δίκτυο όπως αυτό του **σχήματος 3.α**, λύση με αυξημένο διαχειριστικό φόρτο. Εναλλακτικά, αναπτύχθηκαν τεχνικές έμμεσης διασύνδεσης, η οποία πραγματοποιείται με τη συνεργασία ενδιάμεσων κόμβων, που ονομάζονται μεταγωγείς (switches). Οι μεταγωγείς είναι εξοπλισμένοι με δύο ή περισσότερους συνδέσμους και μία από τις κύριες λειτουργίες τους είναι η προώθηση των δεδομένων που λαμβάνουν από ένα σύνδεσμο τους σε έναν άλλο. Στο **σχήμα 3.β** απεικονίζεται ένα δίκτυο μεταγωγής για τη διασύνδεση έξι κόμβων. Οι δύο ενδιάμεσοι κόμβοι παίζουν το ρόλο του μεταγωγού, ενώ ο σύνδεσμος που τους ενώνει λέγεται

διαμοιρασμένος σύνδεσμος (shared link), αφού χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών και σε κόμβους διαφορετικούς από αυτούς που συνδέει άμεσα. Οι κόμβοι μεταγωγής δεν ασχολούνται με το περιεχόμενο των δεδομένων.



Σχήμα 3.α : point-to-point δίκτυο **Σχήμα 3.β:** δίκτυο μεταγωγής

Στη μεταγωγή πακέτων τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα πριν από τη μετάδοσή τους. Αυτά τα τμήματα δεδομένων ονομάζονται πακέτα (packets). Το μέγεθος κάθε πακέτου ποικίλλει, αλλά ένα τυπικό ανώτατο όριο μήκους είναι οι 1.000 χαρακτήρες (bytes) ή οκτάδες δυαδικών ψηφίων (octets). Μικρά σε μέγεθος πακέτα (128 έως 256 δυαδικά ψηφία) είναι συνήθως προτιμότερα, προκειμένου να ελέγχεται καλύτερα η κυκλοφορία στο δίκτυο.

Κάθε πακέτο περιέχει ένα τμήμα του μηνύματος προς αποστολή και επιπλέον πληροφορίες ελέγχου. Οι πληροφορίες ελέγχου είναι απαραίτητες, γιατί επιτρέπουν τη σωστή δρομολόγηση του πακέτου μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε να φτάσει στο σωστό προορισμό. Όταν τα πακέτα φτάσουν στον κόμβο προορισμού, τα αρχικά δεδομένα που περιέχουν επανασυνδέονται. Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων χρειάζεται να έχουν ικανότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης, για να προωθούν τα πακέτα, αλλά και για να τα αποθηκεύουν προσωρινά, αν χρειαστεί, μέχρι να βρουν την καταλληλότερη διαδρομή. Η τεχνική που ακολουθείται για τη μετάδοση των πακέτων λέγεται τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής. Σύμφωνα με αυτήν, τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα στο δίκτυο, χωρίς να εγκαθίσταται εκ των προτέρων κάποια μόνιμη σύνδεση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, όπως γίνεται στη μεταγωγή κυκλώματος. Στη μεταγωγή πακέτου αυτά κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο από κόμβο σε

κόμβο, αποθηκεύονται προσωρινά σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο και στη συνέχεια προωθούνται στον επόμενο.

Η τεχνική αυτή έχει αποδειχτεί εξαιρετικά αποδοτική. Τα πλεονεκτήματά της είναι τα ακόλουθα:

- Η αποδοτικότητα της γραμμής είναι πολύ καλύτερη, αφού κάθε σύνδεση από κόμβο σε κόμβο μπορεί να μοιραστεί συγχρόνως και δυναμικά σε πολλές ροές πακέτων.
- Μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους σταθμοί με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, αφού ο κάθε σταθμός συνδέεται με το δίκτυο στο ρυθμό που επιθυμεί και μπορεί να επιτύχει.
- Δεν απορρίπτονται πακέτα, όταν υπάρχει μεγάλος φόρτος στο δίκτυο, μειώνεται όμως η απόδοση του δικτύου.
- Μπορεί να εφαρμοσθεί ένα σχήμα προτεραιοτήτων. Αν ένας κόμβος έχει έναν αριθμό πακέτων, που περιμένουν να μεταδοθούν, μπορεί να μεταδώσει πρώτα τα πακέτα υψηλής προτεραιότητας. Τα πακέτα αυτά, προφανώς, θα καθυστερήσουν λιγότερο να διεκπεραιωθούν από τα πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας.

Υπάρχουν δύο τεχνικές μεταγωγής πακέτου. Η πρώτη είναι η τεχνική των αυτοδύναμων πακέτων (*datagrams*) και η δεύτερη των νοητών κυκλωμάτων (*virtual circuits*). Στην πρώτη περίπτωση το δίκτυο χειρίζεται κάθε πακέτο ανεξάρτητα, ενώ στη δεύτερη εγκαθίσταται μια νοητή σύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων που πρόκειται να επικοινωνήσουν. Εμάς θα μας απασχολήσει πιο πολύ η τεχνική μετάδοσης πακέτου με αυτοδύναμα πακέτα, καθώς θέλουμε να έχουμε κάθε φορά μέγιστη απόδοση στο δίκτυο μας, ακόμα και με αλλαγές στην δρομολόγηση.

3.1.1 Αυτοδύναμα πακέτα

Κάθε πακέτο που φτάνει σε έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιμετωπίζεται ανεξάρτητα από τα άλλα. Ο κόμβος αποφασίζει εκείνη τη στιγμή ποιος είναι ο συντομότερος και καταλληλότερος δρόμος για να προωθηθεί το πακέτο στον προορισμό του. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα να μην ακολουθούν όλα τα πακέτα την ίδια διαδρομή, καθώς, όταν φτάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε κάποιον κόμβο, είναι πιθανόν οι συνθήκες στο δίκτυο να είναι διαφορετικές. Μπορεί δηλαδή, ενώ κάποια πακέτα έχουν ήδη προωθηθεί σε έναν κόμβο, η κίνηση σε αυτή την περιοχή του δικτύου να μεταβλήθηκε ξαφνικά, οπότε τα πακέτα που ακολουθούν να προωθηθούν στον προορισμό τους μέσω ενός άλλου κόμβου που εκείνη τη στιγμή θεωρείται καταλληλότερος. Επομένως, επειδή οι μεταγωγείς του δικτύου επιλέγουν το σύνδεσμο προώθησης κάθε πακέτου της ροής δεδομένων ξεχωριστά, τα πακέτα μπορεί να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο. Ένα ανάλογο παράδειγμα του μοντέλου που εξετάζουμε μπορούμε να βρούμε στο ταχυδρομικό δίκτυο, όπου τα γράμματα που στέλνουμε στον ίδιο παραλήπτη αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από την ταχυδρομική υπηρεσία και μπορεί να φτάσουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές. Τυπικό παράδειγμα δικτύου μεταγωγής πακέτων είναι το Διαδίκτυο.

3.2 Σηματοδοσία

Με τον όρο **σηματοδοσία δικτύου** χαρακτηρίζουμε το σύνολο των σημάτων ελέγχου που ανταλλάσσονται μεταξύ τηλεπικοινωνιακών κέντρων ή μεταξύ τηλεπικοινωνιακών κέντρων και συνδρομητών για την επίτευξη, την επίβλεψη και τη διακοπή μίας σύνδεσης (π.χ. σήμα κουδουνισμού, παλμοί επιλογής, ηχοσήματα κλήσεως ή κατειλημμένου) και μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες:

1. Στα σήματα ελέγχου που δεν γίνονται αντιληπτά από τον συνδρομητή και ονομάζονται σήματα ζεύξεως ή κριτήρια. Τα σήματα αυτά διακινούνται μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών κέντρων των δικτύων και αφορούν πληροφορίες που περιγράφουν την κατάσταση του δικτύου. Ειδικά για την περίπτωση του τηλεφωνικού δικτύου η σηματοδοσία μεταξύ κέντρων διακρίνεται σε σηματοδοσία αστικής τηλεφωνίας και σηματοδοσία υπεραστικής τηλεφωνίας.
2. Στα σήματα ελέγχου που γίνονται αντιληπτά από τον συνδρομητή και ονομάζονται ακουστικά σήματα ή ηχοσήματα. Σε αντίθεση με τα κριτήρια, τα ηχοσήματα αποτελούν πληροφορία που απευθύνεται στους συνδρομητές και

αφορούν την κατάσταση και την εξέλιξη μίας συνδιάλεξης, π.χ. σήμα κλήσεως, σήμα κατειλημμένης γραμμής κλπ.

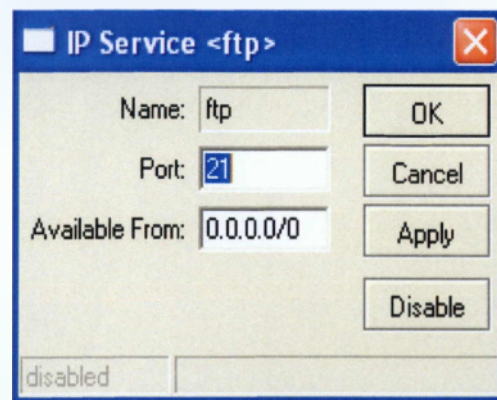
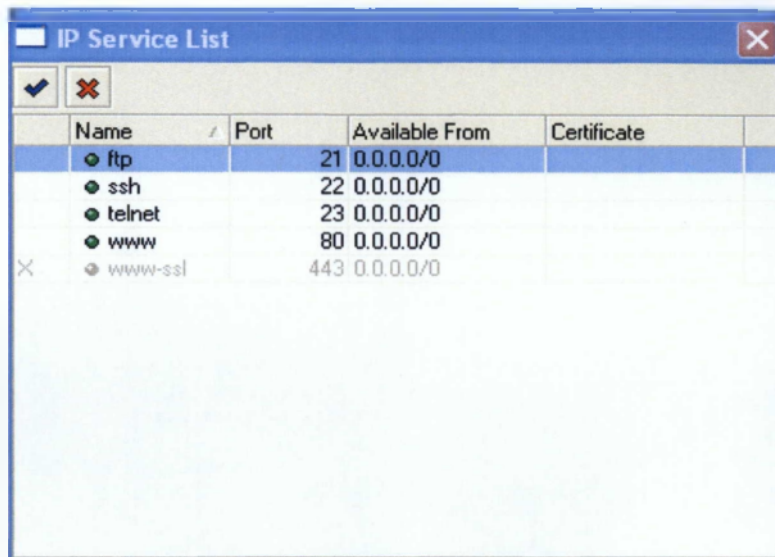
Με την εμφάνιση των ηλεκτρονικών κέντρων ενταμιευμένου προγράμματος έγινε δυνατός ο διαχωρισμός του καναλιού σηματοδοσίας από τα κανάλια συνδιαλέξεως. Η νέα αυτή τεχνική ονομάζεται **σηματοδοσία κοινού καναλιού**. Τα άμεσα πλεονεκτήματα του συστήματος σηματοδοσίας κοινού καναλιού είναι οι υψηλές ταχύτητες διακίνησης σημάτων ελέγχου καθώς και η ποικιλία τέτοιων σημάτων. Επίσης, ο χρόνος επίτευξης της ζεύξεως είναι πολύ μικρός (μικρότερος του 1 sec), ενώ στα συστήματα σηματοδοσίας με κώδικες συχνότητων είναι της τάξεως των 3 sec. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των συστημάτων με κοινό κανάλι σηματοδοσίας αποτελεί το γεγονός ότι πολλοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια διάταξη ελέγχου ταυτόχρονα με άλλους χρήστες, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να μπερδευτούν τα σήματα ελέγχου. Μειονέκτημά τους είναι, ότι απαιτούν πολύ μεγάλη ασφάλεια μεταδόσεως, γιατί βλάβη στο κοινό κανάλι σηματοδοσίας σημαίνει διακοπή όλων των συνδιαλέξεων που εξυπηρετούνται από αυτό.

3.3 Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείου (File Transfer Protocol - FTP)

Το FTP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο ανήκει στο επίπεδο εφαρμογής και επιτρέπει σε απομακρυσμένους χρήστες (hosts) να ανταλλάσσουν αρχεία. Σε μια σύνοδο FTP, αν ένας χρήστης θέλει να μεταφέρει αρχεία από / προς έναν άλλον χρήστη, πρέπει αρχικά να δώσει ένα όνομα χρήστη και αντίστοιχο κωδικό. Εφόσον γίνει η επαλήθευση αυτών των στοιχείων, μπορεί να αρχίσει η μεταφορά των αρχείων. Το FTP χρησιμοποιεί δύο TCP συνδέσεις: 1. Για την αποστολή πληροφοριών ελέγχου (control), 2. Για τα μηνύματα δεδομένων (data). Κάθε φορά που επιδιώκεται στην ίδια σύνοδο FTP μεταφορά αρχείου, εκκινείτε μία νέα σύνδεση δεδομένων TCP, ενώ η σύνδεση ελέγχου διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της συνόδου.

Στο MikroTik:

Ανοίγουμε την καρτέλα IP, από το κεντρικό μενού, μετά επιλέγουμε Services και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, όπου εμφανίζεται ενεργοποιημένο το FTP και στη συνέχεια ρυθμίζουμε από ποια διεύθυνση θέλει να δέχεται δεδομένα.



3.4 Πρωτόκολλο μεταφοράς υπέρ-κειμένου(HyperText Transfer Protocol – HTTP)

Το HTTP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο ανήκει στο επίπεδο εφαρμογής και ουσιαστικά αποτελεί τη βάση του World Wide Web (www). Είναι ο κανόνας μέσω του οποίου μπορούν οι browsers (χρήστες) να προσπελαίνουν αρχεία που βρίσκονται στους εξυπηρετητές (Web servers). Ως εκ τούτου, το HTTP υλοποιείται σε δύο προγράμματα: 1. Που αφορά τον πελάτη, 2. Που αφορά τον εξυπηρετητή. Τα δύο αυτά προγράμματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας HTTP μηνύματα. Η μορφή των μηνυμάτων και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ανταλλαγή τους καθορίζεται από το HTTP. Σε μια σύνοδο HTTP, οι browsers ζητούν Web σελίδες από τους εξυπηρετητές και αυτοί τις στέλνουν στους πελάτες. Συνήθως, η HTTP επικοινωνία γίνεται πάνω από TCP / IP συνδέσεις.

Στο MikroTik:

Για να ενεργοποιήσουμε το HTTP proxy γράφουμε το παρακάτω κομμάτι εντολών στο κεντρικό παράθυρο του Telnet, όπως παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 2.

```
[admin@MikroTik] ip proxy> set enabled=yes
[admin@MikroTik] ip proxy> print
enabled: yes
src-address: 0.0.0.0
port: 8080
parent-proxy: 0.0.0.0:0
cache-drive: system
cache-administrator: "webmaster"
max-disk-cache-size: none
max-ram-cache-size: 100000KiB
cache-only-on-disk: yes
maximal-client-connections: 1000
maximal-server-connections: 1000
```

```
max-object-size: 2000KiB
max-fresh-time: 3d
[admin@MikroTik] ip proxy>
```

3.5 Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (E-Mail)

Η υπηρεσία E-Mail είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται για πάνω από είκοσι χρόνια. Η αντιστοιχία με το πραγματικό ταχυδρομείο είναι άμεση. Αν κάποιος χρήστης θέλει να στείλει ένα ηλεκτρονικό μήνυμα σε κάποιον άλλον, αρκεί να γνωρίζει την ηλεκτρονική του διεύθυνση. Μετά την αποστολή, το μήνυμα αποθηκεύεται από τον mail server του παραλήπτη. Όταν ο παραλήπτης επιβεβαιώσει την ταυτότητα του (με κάποιο όνομα χρήστη και αντίστοιχο κωδικό) τότε είναι σε θέση να δει τα περιεχόμενα της «θυρίδας» του. Στις μέρες μας, το e-mail παρέχει και επιπλέον διευκολύνσεις, όπως αποστολή μηνυμάτων σε πολλαπλούς χρήστες, κοινοποίηση σε τρίτους (είτε κρυφή, είτε φανερή), επισύναψη αρχείων (εικόνας, ήχου κλπ.) κ.ά.

Στο MikroTik:

Οι ρυθμίσεις για το e-mail γίνονται στο εργαλείο **/tool e-mail**, όπως για το SMTP:

```
[admin@MikroTik] tool e-mail> set server=159.148.147.198 from=SysAdmin@host.com
[admin@MikroTik] tool e-mail> print
server: 159.148.147.198
from: SysAdmin@host.com
[admin@MikroTik] tool e-mail>
```

3.6 Φωνή πάνω από IP (Voice over IP – VoIP)

Στην προσπάθεια να προσφερθεί η παραδοσιακή τηλεφωνία που όλοι γνωρίζουμε πάνω από δίκτυα IP, δημιουργήθηκε η υπηρεσία VoIP. Για να επιτευχθεί η VoIP υπηρεσία,

σε πρώτη φάση, το αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό χρησιμοποιώντας κάποια μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης (συνήθως PCM). Έπειτα, το ψηφιακό σήμα μεταφέρεται κανονικά μέσω IP πακέτων προς τον προορισμό του, όπου και γίνεται η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Υπάρχουν διάφορες κωδικοποιήσεις με σκοπό να προσφέρουν ικανοποιητική ποιότητα φωνής με λιγότερη μεταφερόμενη πληροφορία. Παραδείγματα τέτοιων κωδικοποιήσεων είναι η G.711, που περιγράφει και την PCM διαμόρφωση, η G.729 κ.ά. .

Κατά την εφαρμογή του VoIP, σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της υπηρεσίας παίζουν η καθυστέρηση και το τρέμουλο. Η καθυστέρηση οφείλεται σε: 1. Καθυστέρηση κωδικοποίησης στα δύο άκρα της συνομιλίας, 2. Καθυστέρηση παραγωγής πακέτων φωνής, 3. καθυστέρηση διάδοσης μέσω των ζεύξεων, 4. Καθυστέρηση στην ίδια την ουρά εξόδου, 5. Καθυστέρηση μεταφοράς πακέτου στην ουρά εξόδου του δρομολογητή. Όπως φαίνεται, στην υπηρεσία VoIP, η παροχή μικρών τιμών καθυστέρησης και τρέμουλου είναι πολύ σημαντικότερη από ένα μικρό ποσοστό απωλειών. Για αυτό το λόγο προτιμάται η χρήση του UDP πρωτοκόλλου μεταφοράς αντί του TCP (αφού θα εισήγαγε επιπλέον καθυστέρηση λόγω πιθανών αναμεταδόσεων.)

Στο MikroTik:

Θα παρουσιάσουμε τις βασικές ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν ώστε να λειτουργεί η τηλεφωνία μέσω IP για το MikroTik, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την πύλη 10.1.1.12 για IP τηλεφωνία και 10.5.8.2 ως το IP τηλέφωνο της Welltech: Είμαστε στο κατάλογο **/ip telephony voice-port voip** και πρέπει να εισάγουμε μια voip πόρτα για φωνή, για κάθε συσκευή την οποία θέλουμε να καλούμε ή να δεχόμαστε κλήσεις από αυτήν.

```
[admin@MikroTik] ip telephony voice-port voip> add name=gw remote-address=10.1.1.12
[admin@MikroTik] ip telephony voice-port voip> add name=rob remote-address=10.5.8.2
[admin@MikroTik] ip telephony voice-port voip> print
Flags: X - disabled, D - dynamic, R
- registered # NAME AUTODIAL REMOTE-ADDRESS JITTER-BUFFER PREFERED-CODEC SIL FAS
0
gw 10.1.1.12 100µs none no yes 1 rob 10.5.8.2 100µs none no yes [admin@MikroTik] ip
telephony voice-port voip>
```

Τώρα θα πρέπει να έχουμε τρεις πόρτες για φωνή:

```
[admin@ MikroTik] ip telephony voice-port> print
```

```
Flags: X - disabled # NAME TYPE AUTODIAL
```

```
0 linejack1 linejack 1 gw voip 2 rob voip
```

```
[admin@ MikroTik] ip telephony voice-port>
```

Στη συνέχεια, θα προσθέσουμε τουλάχιστον ένα μοναδικό αριθμό για κάθε φωνητική πύλη, με τον οποίο θα καλούμε μετά την κάθε πύλη. Αυτό γίνεται από τον κατάλογο **/ip telephony numbers**.

```
[admin@MikroTik] ip telephony numbers> add dst-pattern=31 voice-port=rob
```

```
[admin@MikroTik] ip telephony numbers> add dst-pattern=33 voice-port=linejack1
```

```
[admin@MikroTik] ip telephony numbers> add dst-pattern=1. voice-port=gw prefix=1
```

```
[admin@MikroTik] ip telephony numbers> print
```

```
Flags: I - invalid, X - disabled, D - dynamic, R - registered # DST-PATTERN
```

```
VOICE-PORT PREFIX 0 31 rob 31 1 33 linejack1 2 1. gw 1
```

```
[admin@MikroTik] ip telephony numbers>
```

Εδώ, το `dst-pattern=31` είναι για να καλέσουμε το Welltech τηλέφωνο, αν πληκτρολογήσουμε τον αριθμό 31.

Το `dst-pattern=33` είναι για να χτυπάει το τοπικό τηλέφωνο, αν δεχτεί το δίκτυο μια κλήση για τον αριθμό 33.

Οτιδήποτε ξεκινάει με το ψηφίο «1» θα αποστέλλεται στην πύλη για την IP τηλεφωνία.

4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

Η αρχή διάδοσης ελευθέρου χώρου προϋποθέτει πως η ατμόσφαιρα είναι ομογενές μέσο και μη απορροφητικό, όπως και ότι το έδαφος είναι σε άπειρη απόσταση, ή στην πράξη ότι ο συντελεστής ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω σε αυτό είναι αμελητέος. Για ένα, όμως, πραγματικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν, εφόσον το κύμα διαδίδεται σε μέσο που δεν έχει τις ιδιότητες της «ιδανικής» ατμόσφαιρας και το έδαφος είναι σε κοντινή απόσταση από την οπτική ευθεία ζεύξεως. Έχουμε αναφέρει ότι στις ασύρματες ζεύξεις υπάρχουν απώλειες από διάφορους παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί, τους οποίους και θα αναλύσουμε, είναι εκείνοι που έχουν να κάνουν με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και πως μπορούν να υποβαθμίζουν την ζεύξη μας σε σημείο που η παροχή υπηρεσιών να γίνεται δυσμενής και αναξιόπιστη. Οι απώλειες διάδοσης ελευθέρου χώρου, οι απώλειες των ατμοσφαιρικών συνθηκών, όπως και ένα πλήθος παραγόντων, εποχιακών και τοπικών, συνιστούν τις διαλείψεις (fading) που μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες αποσβέσεις στο σήμα, σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Γενικά, η ένταση της διάλειψης αυξάνει με τη μέση συχνότητα του φέροντος και το μήκος της ζεύξεως. Επειδή, οι διαλείψεις προκαλούνται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε ως ένα τυχαίο φαινόμενο που είναι δυνατό να καθοριστεί μόνο με τη χρήση μιας συνάρτησης στατιστικής κατανομής. Οι ιδιότητες του χαμηλότερου στρώματος της ατμόσφαιρας διαφέρουν και αλλάζουν ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια. Τα αποτελέσματα τους στα ραδιοκύματα παράγουν τυχαίες παραλλαγές στο πλάτος, τη φάση, τη συχνότητα, τη πόλωση, το εύρος ζώνης συνοχής, τη καθυστέρηση διάδοσης και στη κατεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Οι συνθήκες διάδοσης δεδομένων μέσω της ατμόσφαιρας σε συχνότητες είτε πολύ υψηλές, είτε πιο χαμηλές είναι δύσκολες, αφού αρκετά φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στην υποβάθμιση των ζεύξεων μας. Οι κυριότερες αιτίες διαλείψεων που συναντώνται σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι:

1. Το φαινόμενο των πολλαπλών διαδεύσεων (multipath propagation). Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό και λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη στη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων, αλλά για συχνότητες κάτω των 10 GHz.
2. Οι διαλείψεις (fading) ή αποσβέσεις (attenuation) που οφείλονται στην εξασθένηση Η/Μ κύματος λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (χιόνι, βροχή, χαλάζι, παγοκρύσταλλοι, άνεμοι). Η απόσβεση που εισάγεται λόγω των συγκεκριμένων σκεδαστών είναι πολύ σημαντική αλλά μόνο για συχνότητες του φέροντος κύματος που υπερβαίνουν τα 10 GHz.
3. Για συχνότητες μεγαλύτερες των 30 GHz αξιόλογη επίδραση έχει επίσης και η απορρόφηση που εισάγουν στο διαδιδόμενο σήμα τα αέρια της ατμόσφαιρας (gaseous absorption), όπως το οξυγόνο και οι ατμοί.

4.1 Απόσβεση λόγω βροχής

Από τις προαναφερθείσες επιπτώσεις, σημαντικότερη στην εξασθένηση του σήματος ειδικά στην περιοχή 10-100 GHz είναι η επίπτωση της βροχής, γιατί εξαιτίας της ένα σημαντικό μέρος της εκπεμπόμενης ισχύος χάνεται κατά τη μετάδοση του σήματος. Το μέγεθος των σταγόνων της βροχής είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος, κάτι το οποίο δικαιολογεί την σκέδαση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τις σταγόνες της βροχής. Τα αποτελέσματα της βροχόπτωσης σε ασύρματες μεταδόσεις είναι ιδιαιτέρως αξιοπρόσεχτα στη μετάδοση δεδομένων και είναι της τάξης μεγέθους Mbps. Όσο αυξάνεται ο ρυθμός της βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερη διάσπαση προκαλείται στις εξωτερικές ζεύξεις, ενώ σημαντική απόσβεση εισάγεται με τη βροχόπτωση όσο αυξάνεται η συχνότητα.

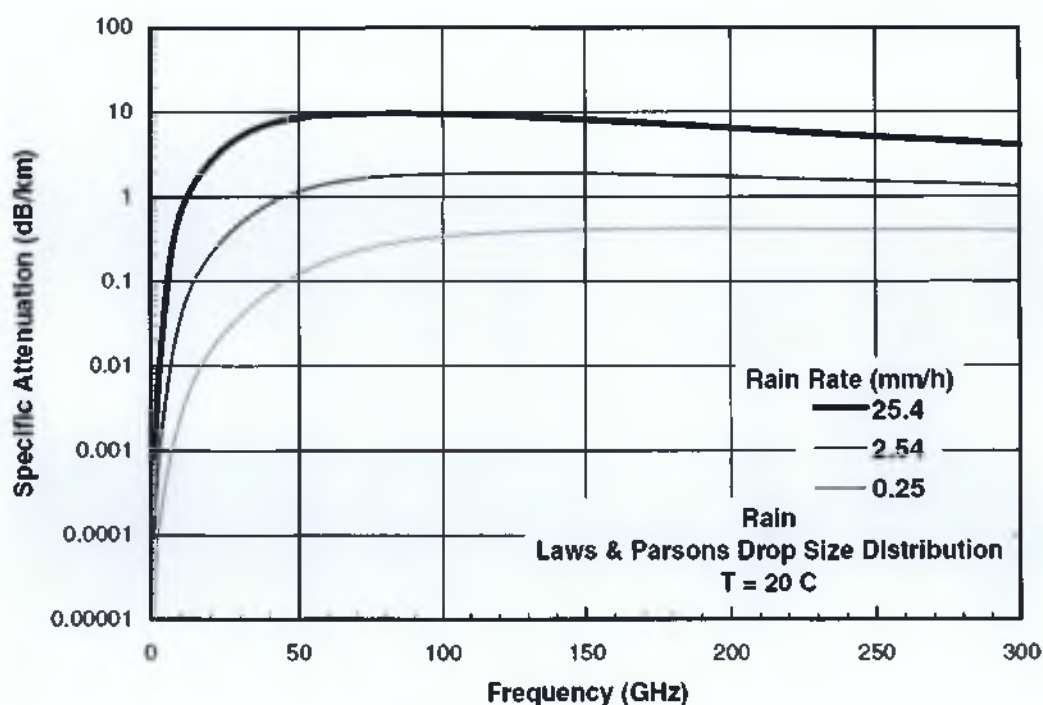
Η σημειακή ένταση της βροχής R (mm/hr) ορίζεται ως το ύψος του νερού που φθάνει στη Γη σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο, ανά μονάδα χρόνου. Αυτό το μέγεθος εξαρτάται από τον όγκο των σταγόνων που υπολογίζεται από την κατανομή του μεγέθους τους και από την ταχύτητα πτώσης των σταγόνων. Η σημειακή ένταση μεταβάλλεται χρονικά, όμως μακροπρόθεσμα συγκλίνει σε συγκεκριμένη τιμή για κάθε τοποθεσία.

Η ITU-R (International Telecommunication Union – Radio) έχει θεσπίσει κάποιες προδιαγραφές αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας για τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, τις οποίες πρέπει να ακολουθούν όλα. Έτσι, ο οργανισμός ITU-R πρότεινε το διαχωρισμό της Γης σε 15 κλιματικές ζώνες (A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, P, Q), για κάθε μία από τις οποίες δίνεται η αθροιστική κατανομή υπέρβασης της R για διάφορα ποσοστά του χρόνου (Παράρτημα Α). Για να αποφευχθεί η γενικότητα της προηγούμενης κατηγοριοποίησης, η ITU-R με νεότερη σύσταση εισήγαγε τους χάρτες βροχής (rain maps). Σύμφωνα με τους χάρτες αυτούς η Γη έχει χωριστεί σε τμήματα εμβαδού $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ για κάθε ένα από τα οποία δίνονται οι τιμές για ορισμένες στατιστικές παραμέτρους. Για αυτές τις παραμέτρους είναι υπεύθυνο το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μέσης Κλίμακας Πρόγνωσης Καιρικών Συνθηκών (ECMWF) ύστερα από επεξεργασία 15 ετών.

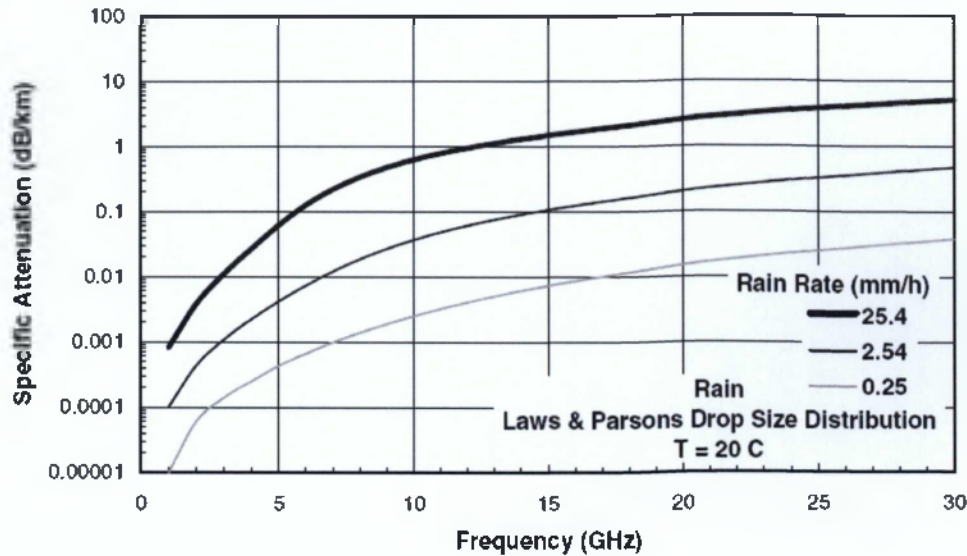
Στην Ελλάδα, χρειάζεται η διεξοδική μελέτη των προβλημάτων διάδοσης που δημιουργούν οι αποσβέσεις, καθώς υπάρχει σχετικά μεγάλη ποικιλία και ποσότητα σε κλιματικά δεδομένα και δεν γίνεται να ακολουθούνται μόνο οι προτεινόμενες τιμές από την ITU, για το σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, εφόσον δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν εδώ.

Η απόσβεση λόγω βροχής επηρεάζεται και από την συχνότητα στην οποία λειτουργεί μία ζεύξη, την γωνία ανύψωσης της κεραίας, όπως επίσης και από τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Η εξασθένιση αυξάνεται όσο αυξάνεται και η συχνότητα μετάδοσης του σήματος. Παρόλα αυτά, μεταδόσεις σε 6-4GHz έχουν ασήμαντη απόσβεση. Απόσβεση σήματος σε αυτές τις συχνότητες θα έχουμε μόνο σε καταιγίδες μεγάλης έντασης. Αντιθέτως, μεταδόσεις με 14-12GHz επηρεάζονται περισσότερο από την βροχή, ακόμα και όταν είναι μικρής εντάσεως βροχοπτώσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μήκος κύματος του σήματος, όπως επίσης και στο μέγεθος των σταγόνων μέσω των οποίων θα περάσει το σήμα. Για παράδειγμα, σε συχνότητες 4-6GHz το μήκος κύματος είναι περίπου 7cm και σε συχνότητες 14-12GHz έχουν μήκος κύματος 2cm. Κάθε σταγόνα βροχής στο μονοπάτι διάδοσης με διάμετρο που πλησιάζει το μισό του μήκους κύματος του σήματος θα προκαλέσει την εξασθένιση του. Η διασπορά που προκαλείται από τις μεγάλες σταγόνες βροχής δημιουργεί σημαντική απόσβεση σε συχνότητες άνω των 10 GHz. Τα σχήματα 4.1 και 4.2 που ακολουθούν απεικονίζουν την συγκεκριμένη τιμή της

εξασθένησης από τη βροχή σε θερμοκρασία 10°C, με επίπεδα βροχής να κυμαίνονται από χαμηλά (0.25mm/h) έως υψηλά (25.4mm/h). Αυτά τα ποσοστά αντιστοιχούν σε στοιχεία υγρού νερού από 0,02 και 1 g/m³, αντίστοιχα. Σε επίπεδα που το περιεχόμενο σε υγρό νερό ξεπερνά τα 1 g/m³ η βροχή δημιουργεί μεγαλύτερη εξασθένηση από ότι τα σύννεφα στις ίδιες ποσότητες υγρού νερού σε συχνότητες κάτω των 150 GHz με το ίδιο μέγεθος σταγόνων που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο διανομής για να παραχθούν τα παρακάτω σχήματα[19].

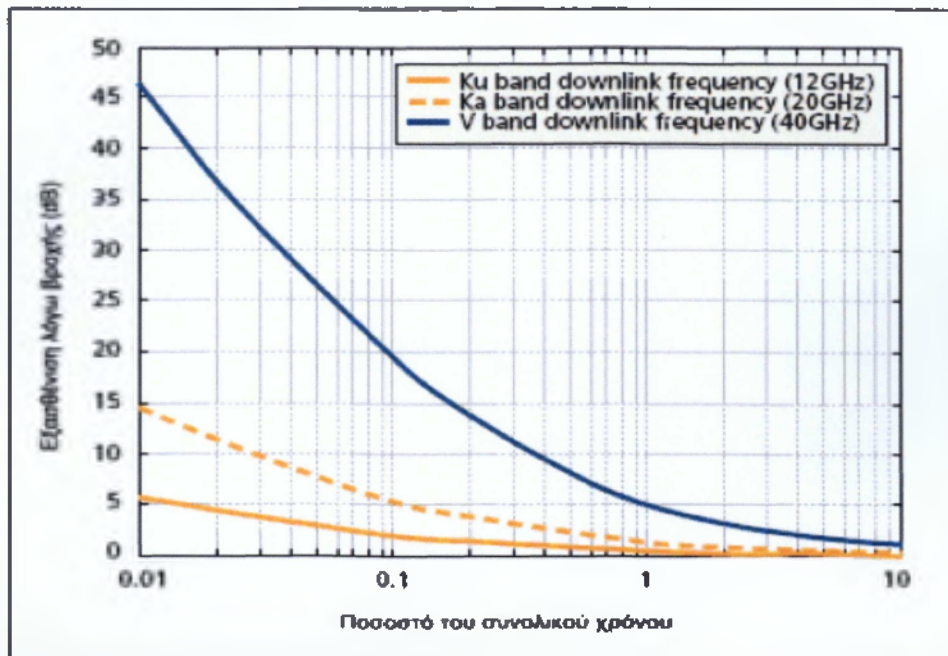


Σχήμα 4.1: Ειδική απόσβεση λόγω βροχής – ζώνες συχνοτήτων UHF, SHF, EHF[19]



Σχήμα 4.2: Ειδική απόσβεση λόγω βροχής – ζώνες συχνοτήτων UHF, SHF[19]

Έχουν αναπτυχθεί στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης της απόσβεσης λόγω βροχής έτσι ώστε να παρέχουν καθοδήγηση στις προσπάθειες των σχεδιαστών συστημάτων για να μπορέσουν να ισορροπήσουν τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας και κόστους. Αυτά τα μοντέλα είναι δύο γενικών ειδών: 1. Μοντέλα οπισθοδρόμησης που χρησιμοποιούν στατιστικά ποσοστά βροχής και απόσβεσης διαδρομής για να παράγουν ένα μοντέλο για μια μόνο τοποθεσία και στην πορεία και για άλλες, 2. Φυσικά μοντέλα που χρησιμοποιούν στατιστικές πληροφορίες για περιστατικά βροχής και διαδικασίες διασποράς της βροχής για να παράσχουν προβλέψεις που να είναι έγκυρες παντού. Η μεθοδολογία που συνήθως ακολουθούμε σε αυτά τα μοντέλα διάδοσης είναι η αναπαράσταση του βάθους διάλειψης με αναφορά τον ελεύθερο χώρο σαν συνάρτηση του ποσοστού του χρόνου που γίνεται υπέρβαση αυτού του βάθους και μας δίνουν τη δυνατότητα να υπολογίζουμε τα περιθώρια στην ισχύ εκπομπής που πρέπει να λάβουμε υπόψη ώστε να έχουμε απώλεια σήματος για χρονικό διάστημα που να μας ικανοποιεί. Για παράδειγμα, στο **σχήμα 4.3** που ακολουθεί έχουμε πρόβλεψη της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης της εξασθένισης λόγω βροχής για διάφορες ζώνες συχνοτήτων που μας ενδιαφέρουν στην κάτω ζεύξη ενός υποθετικού δορυφόρου που λειτουργεί στην Αθήνα.



Σχήμα 4.3: Απώλειες Λόγω Βροχής ως προς το ποσοστό του συνολικού χρόνου σε δορυφόρο πάνω από την Αθήνα, Ελλάδα (Γωνία Ανύψωσης = 30°, κάθετη πόλωση)[23]

4.2 Διαλείψεις που οφείλονται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση

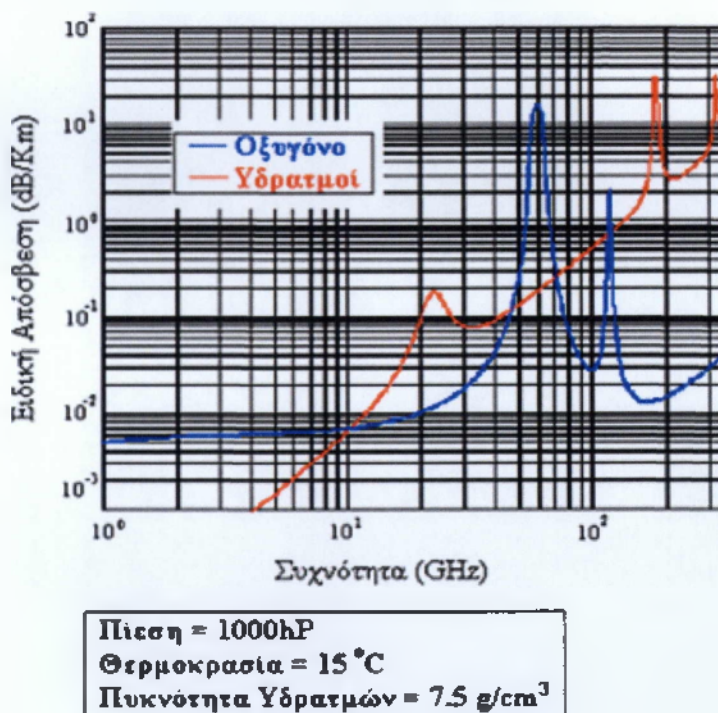
Οι πιο βασικές ατμοσφαιρικές συνιστώσες που εισάγουν απόσβεση στο διαδιδόμενο σήμα είναι το οξυγόνο και οι υδρατμοί. Το οξυγόνο απορροφά ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξαιτίας της ηλεκτρικής διπολικής ροπής, ενώ οι υδρατμοί λόγω της μαγνητικής διπολικής ροπής. Σε συχνότητες που υπερβαίνουν τα 50GHz, τα ατμοσφαιρικά αέρια εισαγάγουν πολύ μεγαλύτερη απόσβεση ακόμα και από την πιο έντονη βροχόπτωση. Για τις επίγειες όμως ραδιοζεύξεις που έχουν μεγάλο μήκος (long radio paths), η απόσβεση αυτή είναι αξιοσημείωτη ακόμη και για συχνότητες της τάξεως των 15 GHz. Η απόσβεση λόγω της απορρόφησης από το οξυγόνο και τους υδρατμούς είναι πάντα παρούσα, και πρέπει να περιληφθεί στον υπολογισμό της συνολικής απώλειας διάδοσης σε συχνότητες πάνω από 10GHz. Η απόσβεση για μήκος ζεύξης d (km) υπολογίζεται από τη σχέση

$$A_a = \gamma_a d \quad \text{dB} \quad (1.4)$$

Η ειδική απόσβεση γ_a (dB/Km) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη σύσταση ITU-R P.676. Για μακρινές ζεύξεις και για συχνότητες άνω των 20GHz, είναι επιθυμητό να ληφθεί υπόψη η πυκνότητα και η θερμοκρασία υδρατμών κοντά στη ζεύξη.

Η απορρόφηση λόγω οξυγόνου σε κάθε ύψος είναι προσεγγιστικά σταθερή με το χρόνο, όπως ακριβώς και η αναλογία του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα. Αντιθέτως, το περιεχόμενο υδρατμών είναι μια ποσότητα που διακυμαίνεται έντονα με το χρόνο, οπότε και η αντίστοιχη απορρόφηση ακολουθεί τον ίδιο νόμο. Για μεσαία κλίματα, η μέση τιμή της συγκέντρωσης υδρατμών στο επίπεδο του εδάφους είναι περίπου $7,5 \text{ g/m}^3$, αλλά η ποσότητα των υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του.

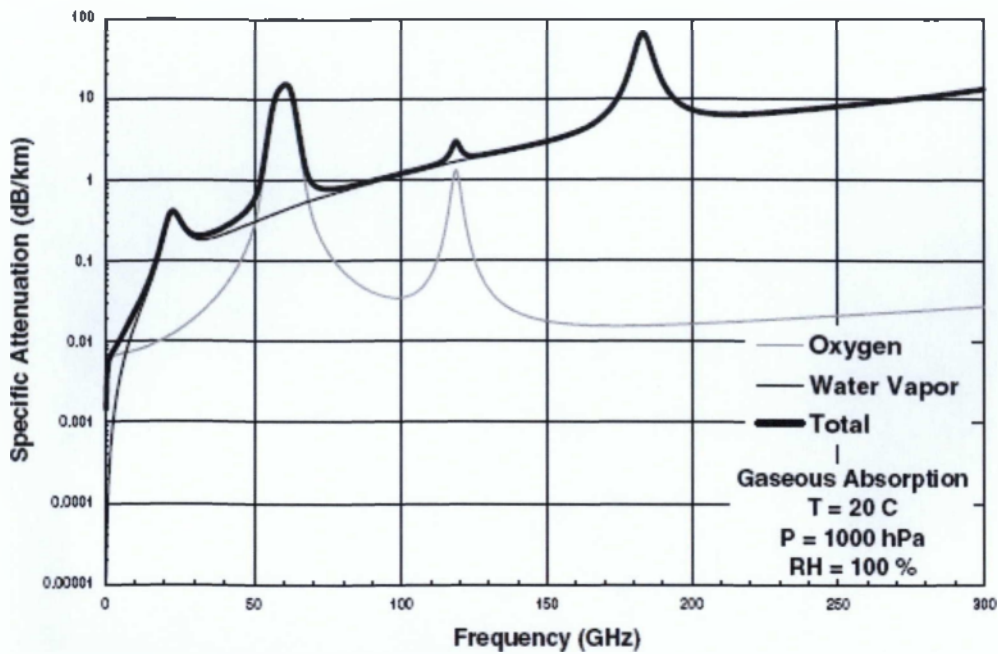
Στο **Σχήμα 4.4** δίνεται η ειδική απόσβεση(dB/Km) που οφείλεται στα δύο αέρια. Η απορρόφηση από το οξυγόνο αυξάνεται απότομα στην περιοχή των 60GHz, ενώ η απορρόφηση από τους υδρατμούς έχει κάπως πιο σταθερή αυξητική πορεία συναρτήσει της συχνότητας με τοπικό μέγιστο στα 22GHz περίπου[20].



Σχήμα 4.4: Ειδική απόσβεση λόγω απορρόφησης από ατμοσφαιρικά αέρια[21]

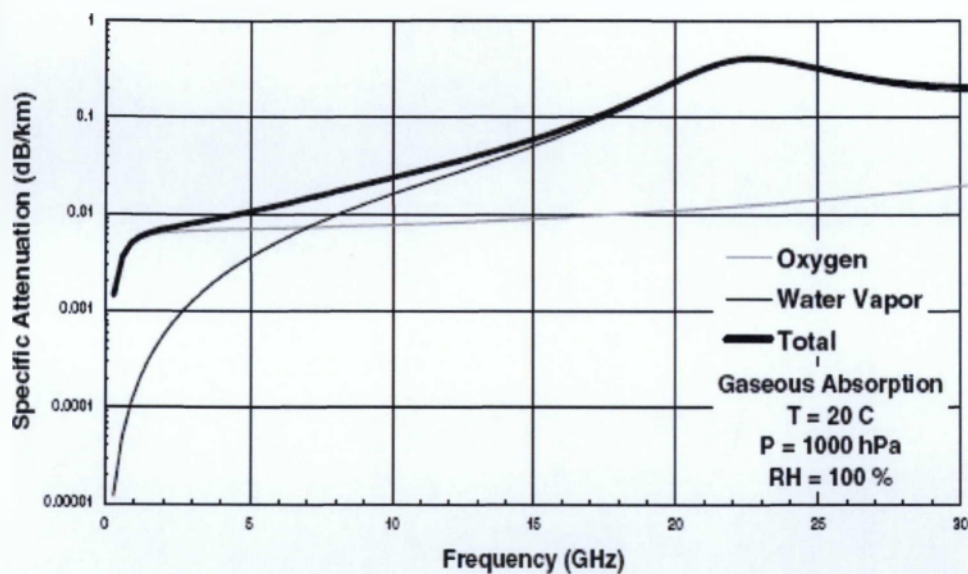
4.3 Εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικών αερίων

Η μείωση από τα ατμοσφαιρικά αέρια που προκαλείται κυρίως από την απορρόφηση βασίζεται κυρίως στη συχνότητα, στο ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, στη γωνία ανύψωσης της κεραίας και στην πυκνότητα του υδρατμού (**απόλυτη υγρασία**). Στις συχνότητες κάτω από 10 GHz, μπορεί κανονικά να παραμεληθεί. Για συχνότητες, όμως, πάνω από 10 GHz, έχει σημαντική αύξηση. Σε μια δεδομένη συχνότητα η συμβολή οξυγόνου στην απορρόφηση λόγω αερίων είναι σχετικά σταθερή. Παρόλα αυτά, η μέγιστη εξασθένιση λόγω αερίων συμβαίνει κατά τη διάρκεια της εποχής με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση. Παρακάτω παρουσιάζονται στα **σχήματα 4.5** και **4.6** η ειδική απόσβεση για μια συγκεκριμένη τοποθεσία στην επιφάνεια της Γης (ατμοσφαιρικής πίεσης $1000\text{hPa}=10^5$ Pascal (Pa)=1 bar), 20°C και 100% σχετική υγρασία (RH). Η καμπύλη του οξυγόνου δίνει την ειδική απόσβεση για 0% σχετική υγρασία. Οι ζώνες συχνοτήτων κάτω των 22.3 GHz και μεταξύ των μεγίστων που παρουσιάζει στα 22.3, 50 έως 70 και 183 GHz ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα. Στο παράθυρο συχνότητας κάτω από τη γραμμή απορρόφησης των υδρατμών στα 22.3 GHz, η εξασθένιση αυξάνεται με τη συχνότητα και μπορεί να είναι μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερη στα 15 GHz από ότι στα 2 GHz. Επίγειες ζεύξεις μικροκυμάτων για μεγάλες αποστάσεις είναι πιθανές στις χαμηλότερες συχνότητες σε αυτό το ατμοσφαιρικό παράθυρο, αλλά όχι στο όριο των υψηλών συχνοτήτων. Τα προηγούμενα χρόνια, τα συστήματα επικοινωνίας Γη-διάστημα αναπτύσσονταν στο φάσμα συχνοτήτων 2-5 GHz για να επωφεληθούν από τις χαμηλές τιμές της εξασθένισης στη διαδρομή, αλλά είχαν να ανταγωνιστούν με το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων για τα επίγεια radio relay συστήματα και τις εφαρμογές ραντάρ μεγάλης σειράς που απαιτούσαν διαδρομή με μικρή εξασθένιση.



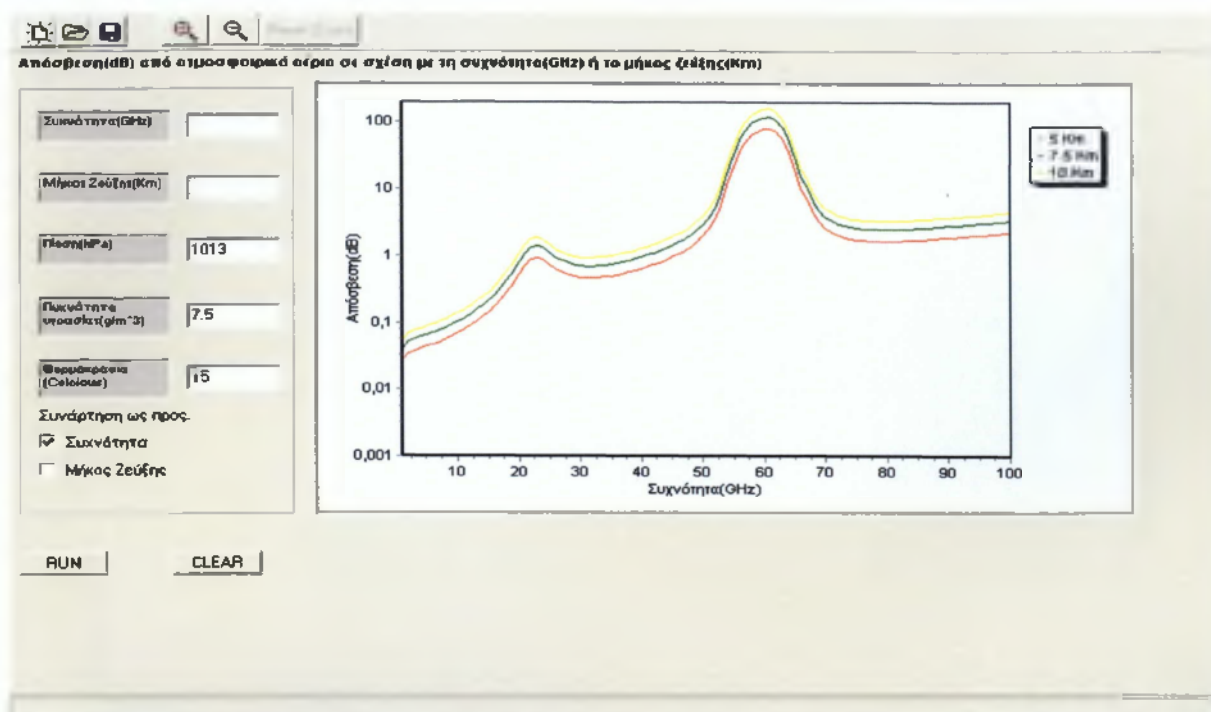
Σχήμα

4.5: Εξασθένιση σε συνθήκες καθαρού αέρα – στις ζώνες UHF, SHF, EHF συχνοτήτων[19]



Σχήμα 4.6: Εξασθένιση σε συνθήκες καθαρού αέρα – στις ζώνες UHF, SHF συχνοτήτων[19]

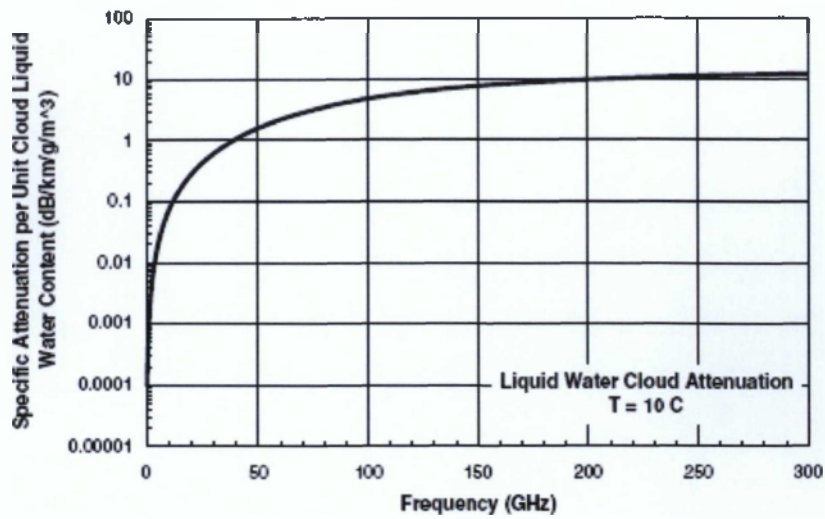
Παρακάτω παρουσιάζεται η εξάρτηση της απόσβεσης (dB) λόγω ατμοσφαιρικών αερίων από τη συχνότητα (GHz) για μήκη ζεύξης 5, 7.5 και 10Km αντίστοιχα. Στα πεδία εισαγωγής δεδομένων της φόρμας του προγράμματος φαίνονται οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων.



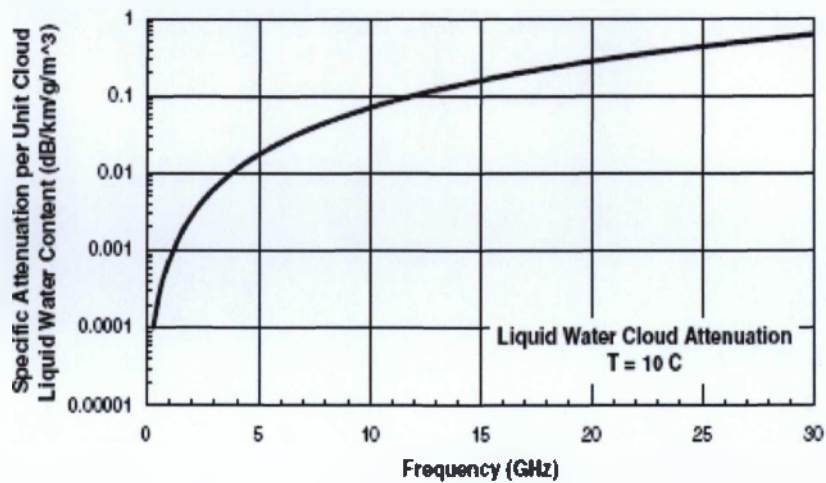
Σχήμα 4.7: Απόσβεση από ατμοσφαιρικά αέρια[21]

4.4 Σύννεφα και ομίχλη

Η διασπορά από τα πολύ μικρά σταγονίδια υγρής μορφής, που κάνουν το υγρό στοιχείο στην επιφάνεια της Γης να θαμπώνει και τα υγρά σύννεφα στην ατμόσφαιρα μπορούν να προκαλέσουν μεγάλη απόσβεση σε υψηλές συχνότητες. Τα σχήματα 4.8 και 4.9 που ακολουθούν παρουσιάζουν την ειδική εξασθένιση ανά μονάδα περιεκτικότητας σε υγρή μορφή νερού ως συνάρτηση της συχνότητας[19]. Το περιεχόμενο σε νερό υγρής μορφής κυμαίνεται από 0.003 έως 3 g/m³ και εξαρτάται από την τοποθεσία, το ύψος στην ατμόσφαιρα και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Τα σύννεφα στα πιο ενεργά σημεία μιας μεσαίας έντασης καταιγίδας μπορούν να ξεπερνούν σε περιεκτικότητα νερού υγρής μορφής τα 5 g/m³. Το ύψος των υγρών σύννεφων μπορεί να είναι από 0 km πάνω από το έδαφος(ομίχλη) έως 6 km πάνω από το έδαφος στα ισχυρά ρεύματα στα σύννεφα μεταφοράς. Για 1- g/m³ σύννεφο σε θερμοκρασία 10°C, η εξασθένιση αυξάνεται μονότονα για συχνότητες που ανήκουν στις UHF, SHF και EHF ζώνες συχνοτήτων. Για συχνότητες χαμηλότερες από 10 GHz, εξασθένιση λόγω σύννεφων ή ομίχλης μπορεί να αγνοηθεί. Σε συχνότητα 30 GHz, με γωνία ανύψωσης 50° η απόσβεση λόγω ομίχλης φτάνει τα 3-4 dB. Σε συχνότητα 120 GHz αυτό μεταφράζεται σε 30-40 dB.



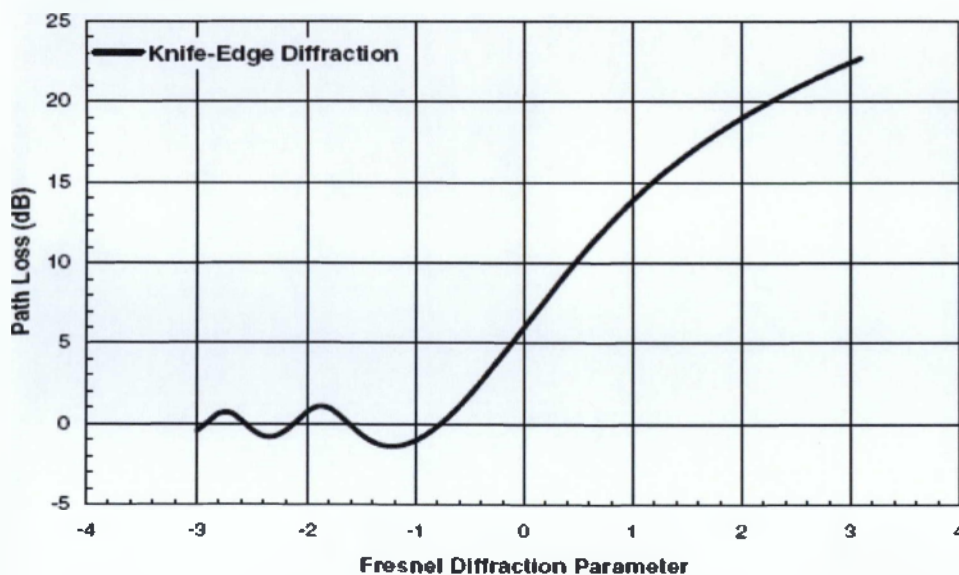
Σχήμα 4.8: Εξασθένιση ανά μονάδα περιεκτικότητας υγρού νερού στα σύννεφα – σε UHF, SHF και EHF ζώνες συχνοτήτων[19]



Σχήμα 4.9: Εξασθένιση ανά μονάδα περιεκτικότητας υγρού νερού στα σύννεφα – σε UHF και SHF ζώνες συχνοτήτων[19]

4.5 Τροποσφαιρική διασπορά

Επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη που βρίσκονται στο έδαφος πολύ πέρα από τους ράδιο-ορίζοντες τους είναι εφικτές από τη ζώνη συχνοτήτων UHF και σε υψηλότερες. Αγωγοί που βρίσκονται στην επιφάνεια μπορούν να παράσχουν ένα μηχανισμό διάδοσης πολύ πιο μακριά από τον ορίζοντα, αν υπάρχουν οι συνθήκες για διοχέτευση και δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο ώστε να σπάσει τον αγωγό. Εμπόδια, όπως ένας λόφος ή ένα βουνό μπορούν να διακόψουν τον αγωγό, αλλά η περίθλαση από την κορυφή του εμποδίου μπορεί να προσδώσει τομείς με ορίζοντες που εμπλέκονται (transhorizon fields). Ο τομέας που έχει υποστεί περίθλαση από ένα knife edge αποσβένει όπως υποδεικνύεται από την καμπύλη απώλειας του μονοπατιού στο **σχήμα 4.10**.



Σχήμα 4.10: Απώλεια πορείας λόγω knife edge περίθλασης[19]

Ο αρμόδιος μηχανισμός για αυτή την ενδιάμεση ένταση στους transhorizon τομείς είναι τροποσφαιρική διασπορά προς τα εμπρός (troposcatter) από τις μικρής κλίμακας διακυμάνσεις στη ράδιο διαθλαστικότητα που παράγεται από την ατμοσφαιρική αναταραχή. Ένας troposcatter χρησιμοποιούνταν για συνδέσεις επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων πριν από την εμφάνιση των δορυφορικών επικοινωνιών. Σήμερα,

χρησιμοποιείται μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και κυρίως από το στρατό. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα ενός μηχανισμού που να προκαλεί παρέμβαση ανάμεσα σε ευρέως διαχωρισμένα λειτουργικά συστήματα στην ίδια συχνότητα.

4.6 Υλικά οικοδόμησης

Οι σύνθετες διηλεκτρικές ιδιότητες κάποιων υλικών οικοδόμησης έχουν μετρηθεί και δημοσιευτεί σε πίνακες (Πίνακας 4.1). Η σύνθετη σχέση της αγωγιμότητας ενός υλικού σχετίζεται με την εφαιπτομένη της γωνίας απώλειας, τη διάθλαση και την ειδική απόσβεση με τους παρακάτω τύπους:

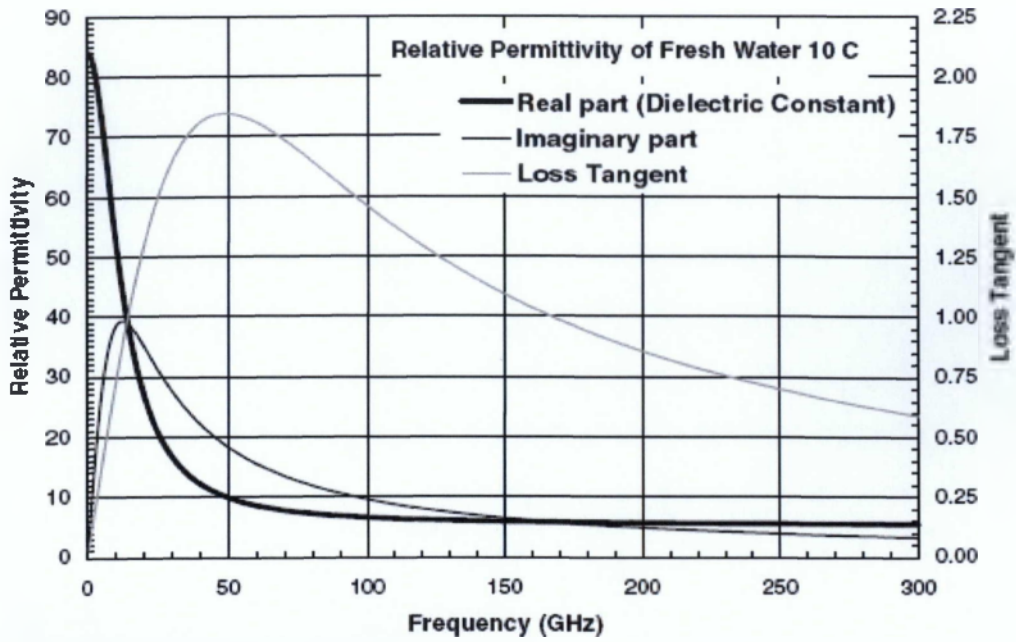
$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon_0 (\epsilon'_r - j\epsilon''_r)$$

$$\tan[(\delta)] = \frac{\epsilon''_r}{\epsilon'_r} \quad (1.5)$$

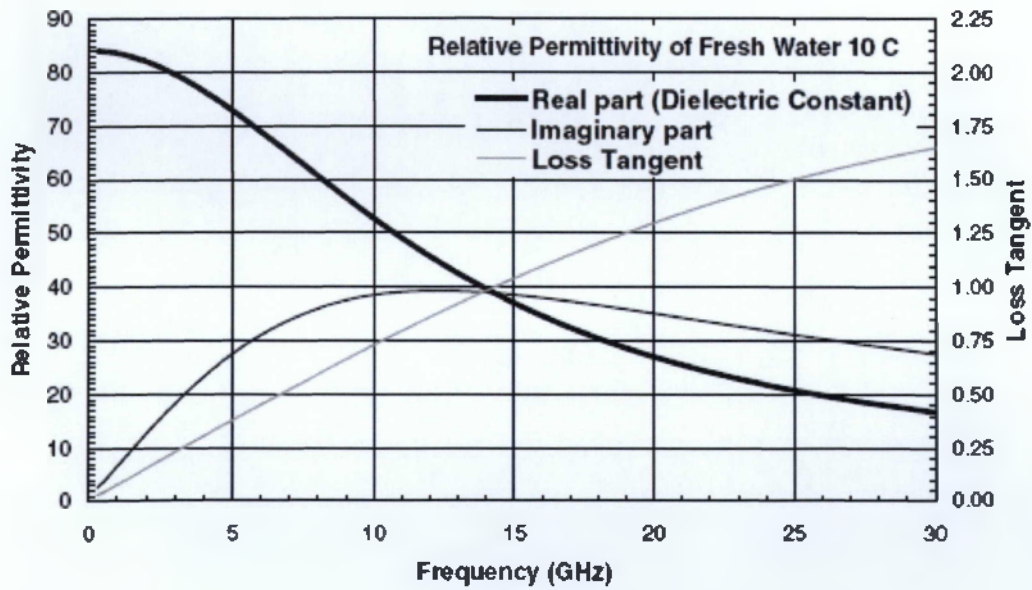
$$n = n' - jn'' = \sqrt{\epsilon_r}$$

$$\alpha = 4.343 \left(\frac{4\pi f}{c} \right) n''$$

, όπου ϵ είναι η διηλεκτρική αγωγιμότητα του μέσου, ϵ_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού, ϵ_r η σχετική αγωγιμότητα, ϵ'_r το αληθινό μέρος της σχετικής αγωγιμότητας η οποία ορίζεται να είναι η διηλεκτρική σταθερά, $\tan[(\delta)]$ η εφαιπτομένη στο σημείο, n ο δείκτης διάθλασης και α η ειδική απόσβεση μετρημένη σε dB/m, όταν η συχνότητα f είναι σε Η και c , η ταχύτητα του φωτός σε m/s. Η αγωγιμότητα και η εφαιπτομένη για το νερό στους 10°C παρουσιάζονται στα σχήματα 4.11 και 4.12.



Σχήμα 4.11: Αγωγιμότητα και εφαπτομένη – στις ζώνες UHF, SHF και EHF συχνοτήτων[19]



Σχήμα 4.12: Αγωγιμότητα και εφαπτομένη – στις ζώνες UHF και SHF συχνοτήτων[19]

Frequency (GHz)	Material	Dielectric constant	Loss tangent	Specific attenuation (dB/m)
1.0	Concrete	7	0.12	28.8
1.0	Fiberglass	1.2	0.083	8.3
1.0	Glass	7	0.014	3.4
1.0	Lightweight concrete	2	0.25	31.9
2.45	Concrete (dry)	4.5	0.011	5.2
2.45	Sandy soil (dry)	2.55	0.0062	2.2
2.45	Teflon	2.1	0.0003	0.1
2.45	Wood	1.2–5	0.004–0.42	1–205
57.5	Concrete	6.5	0.066	880
57.5	Glass	6.81	0.025	341
95.9	Concrete	6.2	0.055	1194

Source: From ITU-R, Recommendation ITU-R P.679-2, International Telecommunications Union, Geneva, 1999; and Goldhirsh, J. and Vogel, W.J., Report A2A-98-U-0-021, Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Laurel, MD, 1998.

Πίνακας 4.1: Διηλεκτρικές ιδιότητες υλικών οικοδόμησης[19]

Τα στοιχεία των οικοδομικών δομών, τοίχοι, πατώματα, στέγες, είναι γενικά κατασκευασμένα από αρκετά διαφορετικά υλικά, όπου το καθένα έχει τις δικές του διηλεκτρικές ιδιότητες και αγωγιμότητα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαθλώνται, αντανακλώνται ή περνάνε και μέσα από τα κτίρια. Τα κτίρια έχουν ανοίγματα, όπως παράθυρα, πόρτες τα οποία έχουν διαφορετικές ιδιότητες μετάδοσης από τα γύρω τοιχώματα. Για αυτό το λόγο έχουν γίνει μετρήσεις για να χαρακτηρίσουν τις ιδιότητες της διασποράς για τα «βασικά» κτίρια, μερικές από τις οποίες φαίνονται στον **Πίνακα 4.2**.

Μέσα σε ένα κτίριο, η ένταση της λαμβανόμενης ισχύος διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία. Η πολυόδευση ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη προκαλούν αυτές τις εναλλαγές. Ο **Πίνακας 4.2** παρουσιάζει τη μέση απώλεια και τις απώλειες που ξεπερνάνε το 95% ή το 5% των τοποθεσιών με τα κτίρια. Η απώλεια έχει υπολογιστεί από ένα μόνο μονοπάτι από τον δέκτη έξω από το κτίριο. Η κεραία που μεταδίδει ήταν πάνω από το κτίριο σε ύψος 20μ. Η κεραία που λάμβανε σχημάτιζε 60° γωνία beamwidth στο κάθετο επίπεδο και με ομοιοκατευθυντικό τρόπο στο οριζόντιο επίπεδο και σχημάτιζε 30° γωνία ανύψωσης.

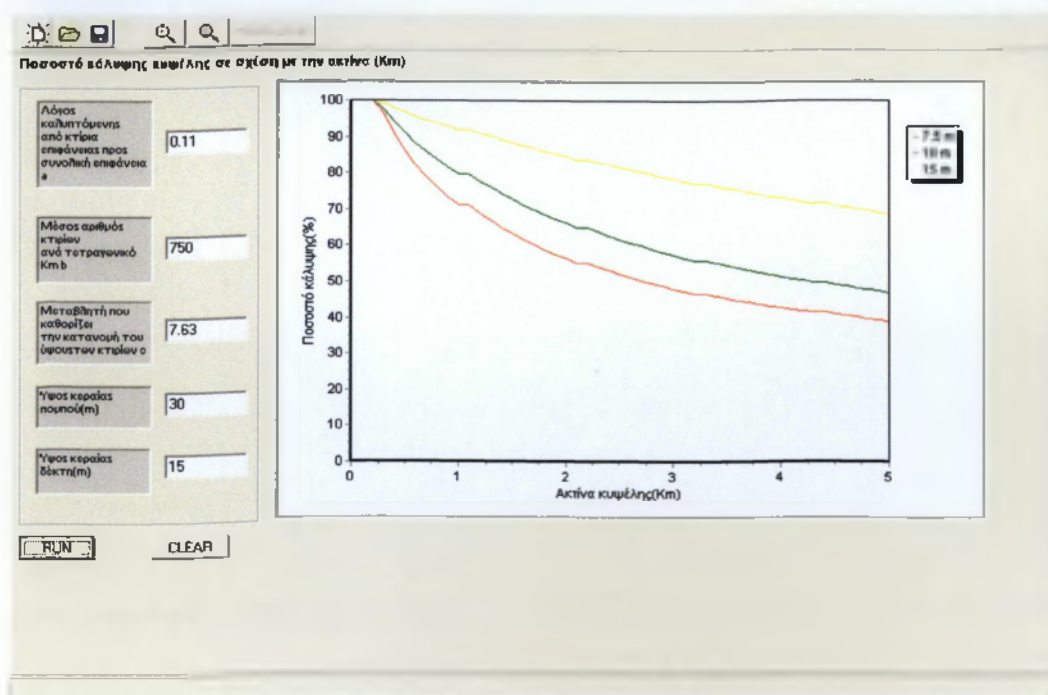
Frequency (GHz)	Building type	Construction	Median loss (dB)	95% Loss (dB)	5% Loss (dB)
1.62	Public	Concrete	18.6	8	36
2.49	Public	Concrete	17.1	7	30
1.62	Office	Block brick	14.7	3	28
2.49	Office	Block brick	15.1	4	28
1.62	Farmhouse	Wood frame	6.5	-1	20
2.49	Farmhouse	Wood frame	7.5	-3	19
1.62	House	Wood frame	9.1	8	23
2.49	House	Wood frame	8.4	7	19
1.62	Motel	Brick	18.5	12	33
2.49	Motel	Brick	19.7	13	31
1.62	Store	Steel frame	13.7	6	27
2.49	Store	Steel frame	14.5	8	32

Source: From Goldhirsh, J. and Vogel, W.J., Report A2A-98-U-0-021, Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Laurel, MD, 1998.

Πίνακ

ας 4.2: Απόσβεση σε ένα μονοπάτι απέξω προς τα μέσα ενός κτιρίου[19]

Στο **σχήμα 4.13** υπολογίζεται το ποσοστό κάλυψης κυψέλης ενός συστήματος σημείου-προς-πολλαπλά σημεία σε σχέση με την ακτίνα της κυψέλης (km), για τρία διαφορετικά ύψη της κεραίας δέκτη, 7.5, 10 και 15m αντίστοιχα. Οι παράμετροι της κτιριακής κατανομής φαίνονται στα πεδία εισαγωγής δεδομένων της φόρμας, ενώ το ύψος της κεραίας πομπού είναι 30m.



Σχήμα 4.13: Απόσβεση λόγω κτιρίων[21]

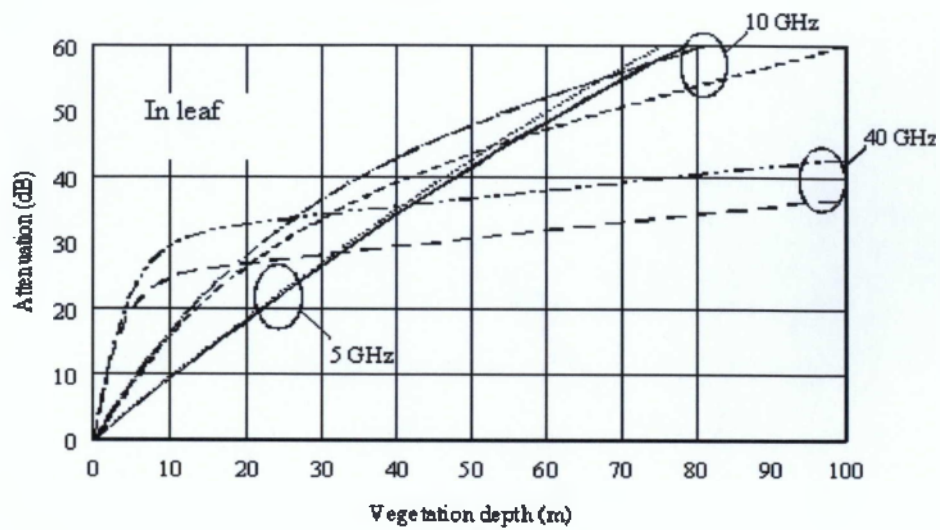
4.7 Απόσβεση λόγω βλάστησης

Η παρεμβολή της βλάστησης μπορεί να προκαλέσει μεγάλες αποσβέσεις στο σήμα που φτάνει στη κεραία του δέκτη. Επομένως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό των ζεύξεων. Μετρήσεις που έχουν γίνει στη συχνότητα των 38GHz έχουν δείξει ότι εκτός από απόσβεση, η βλάστηση προκαλεί και αποπόλωση του σήματος. Όμως, για να αποπολωθεί πλήρως ένα διπλά πολωμένο κύμα, πρέπει να περάσει μέσα από τόσο πυκνή βλάστηση, η απόσβεση της οποίας δεν θα επιτρέπει στο δέκτη να αναγνωρίσει το σήμα. Το φαινόμενο της βλάστησης εξαρτάται από την τοπολογία της περιοχής στην οποία βρίσκεται η κυψέλη. Αναλυτικές έρευνες βασισμένες σε πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι τα αποτελέσματα από την ύπαρξη ενός δέντρου ή πολλών κατά τη διαδρομή διάδοσης ενός σήματος σε μια σημείου προς σημείο ζεύξη επηρεάζει το λαμβανόμενο σήμα με τους εξής τρόπους:

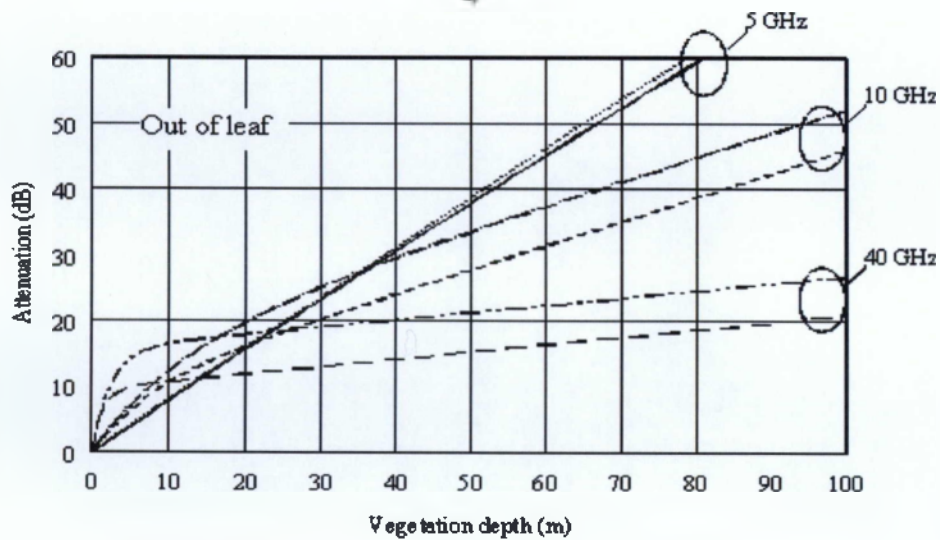
1. Άμεσα με το να εισαγάγει επιπρόσθετη (υπερβολική) απόσβεση σε αυτή του ελευθέρου χώρου.
2. Έμμεσα με τη διασπορά που οδηγεί σε πλευρικές συνεισφορές στο λαμβανόμενο σήμα. [22].

Το ποσοστό της απόσβεσης λόγω βλάστησης εξαρτάται από τον τύπο των δέντρων, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τη γεωμετρία της ζεύξης. Όμως ένα ποσοστό αύξησης της απόσβεσης 4-5 dB/m μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό για τη σχεδίαση μιας ζεύξης.

Στα παρακάτω **σχήματα 4.14 α), β)** παρουσιάζονται δύο παραδείγματα της απόσβεσης λόγω βλάστησης για δύο περιπτώσεις της ελάχιστης φωτιζόμενης επιφάνειας της βλάστησης ($0.5\mu^2$ και $2\mu^2$) και για τρεις συχνότητες (5, 10 και 40GHz) τόσο για κατάσταση με φύλλωμα, όσο και για κατάσταση χωρίς φύλλωμα.



a)



b)

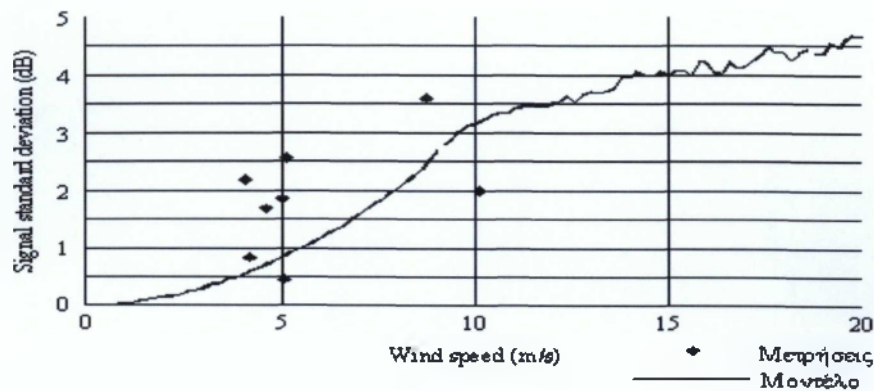


Σχήμα 4.14: Απόσβεση λόγω βλάστησης: α) με φύλλωμα, β) χωρίς φύλλωμα[21]

4.7.1 Δυναμική επίδραση της βλάστησης

Η εκτίμηση των αποσβέσεων λόγω βλάστησης και κυρίως από τα φύλλα των δέντρων είναι δύσκολη, γιατί σε αντίθεση με τα κτίρια που έχουν σταθερή θέση, τα φυτά κινούνται υπό την επίδραση του ανέμου. Καθώς τα δένδρα κάνουν τυχαίες κινήσεις, το επίπεδο ισχύος του σήματος στο δέκτη μπορεί να μεταβάλλεται τόσο, ώστε να υπολείπεται του κατωφλίου του συστήματος. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι η διακοπή της οπτικής επαφής από ένα δένδρο προκαλεί μείωση της στάθμης του σήματος κατά 20dB περίπου, ενώ στιγμιαία (για χρονικά διαστήματα των 10ms) η απόσβεση μπορεί να φτάσει τα 50dB.

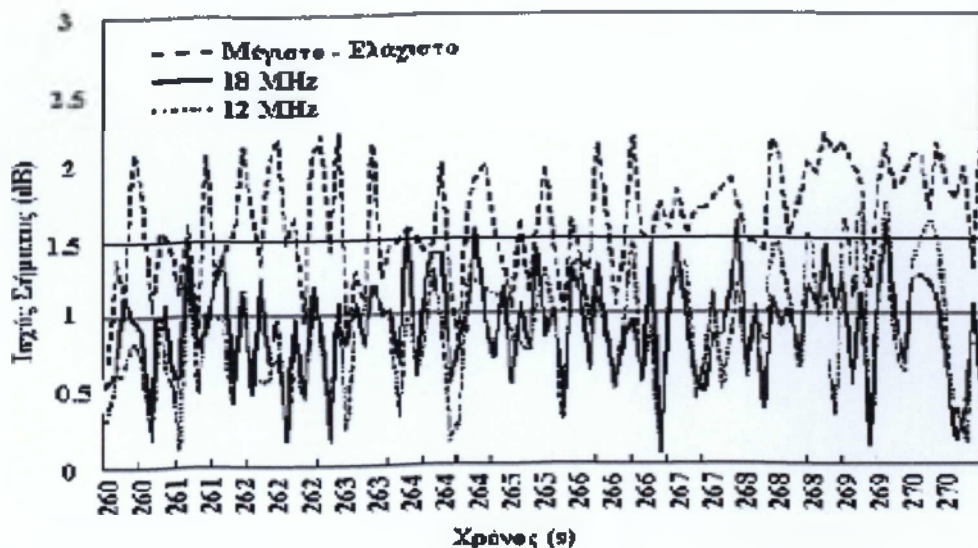
Για την πειραματική εξέταση της παραπάνω επίδρασης της βλάστησης, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο, το οποίο έχει ως βασική ιδέα τη παρεμβολή ενός αριθμού σκεδαστών που αλληλεπιδρούν μέσα στη βλάστηση[21]. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει το συνολικό πεδίο από τον αριθμό των σκεδαστών που τοποθετήθηκαν κατά μήκος της ζεύξης. Η μετακίνηση κάθε σκεδαστή είχε ημιτονοειδή χαρακτήρα ούτως ώστε να προσομοιωθεί η κίνηση των κλαδιών λόγω του ανέμου. Ταυτόχρονα με την αύξηση της έντασης του ανέμου μεταβάλλονται κατάλληλα η συχνότητα και η έκταση της χωρικής μεταβολής της θέσης των κλαδιών. Με την εφαρμογή του μοντέλου που περιγράφηκε παραπάνω, υπολογίστηκε η απόκλιση των χρονικών σειρών που παράχθηκαν για ανέμους διαφορετικής ταχύτητας (από 0 ως 20m/sec). Στο **σχήμα 4.15**, παρουσιάζεται η τυπική απόκλιση του σήματος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου αλλά και σχετικών μετρήσεων, ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 4.15: Αποτελέσματα μετρήσεων και πειραματικού μοντέλου σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου[21]

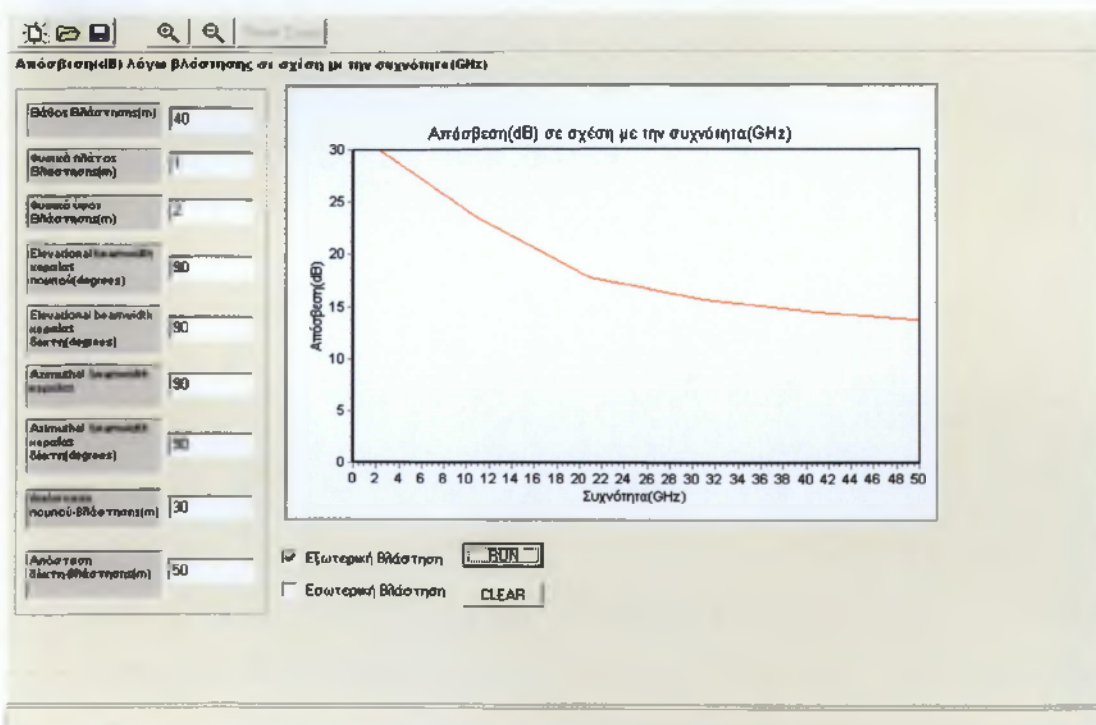
4.7.2 Φαινόμενα επιλεκτικών διαλείψεων λόγω βλάστησης

Μετρήσεις που έγιναν σε διάφορες συχνότητες έδειξαν ότι οι αποσβέσεις δεν είναι επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα (frequency selective fading). Αυτό φαίνεται και στο **σχήμα 4.16**, όπου δίνεται η μεταβολή της ισχύος ενός σήματος που διέρχεται μέσα από ένα δένδρο για δύο διαφορετικές συχνότητες με την πάροδο του χρόνου. Η όποια διαφοροποίηση παρατηρείται στην ισχύ του σήματος, μπορεί να αποδοθεί στο μεταβλητό αριθμό εμποδίων, όπως κλαδιά και φύλλα ή λόγω του φαινομένου των πολλαπλών διαδρομών.



Σχήμα 4.16: Σύγκριση της ισχύος του σήματος για διαφορετικές συχνότητες[21]

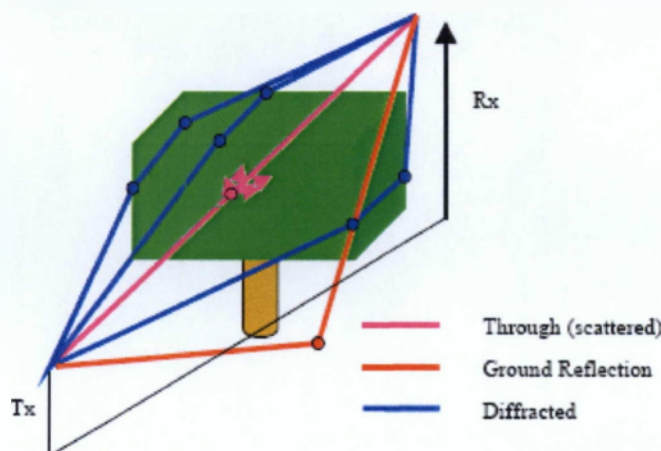
Στο σχήμα 4.17 υπολογίζεται η απόσβεση λόγω της εξωτερικής βλάστησης σε σχέση με τη συχνότητα(GHz) του κύματος. Οι παράμετροι της βλάστησης και της ζεύξης φαίνονται στα πεδία εισαγωγής δεδομένων της φόρμας.



Σχήμα 4.17: Απόσβεση λόγω βλάστησης[21]

4.7.3 Μοντέλο διάδοσης μέσα από βλάστηση

Έχει προταθεί ότι υπάρχουν αρκετοί πιθανοί μηχανισμοί διάδοσης σε ότι αφορά την βλάστηση. Μια σειρά από μετρήσεις έχουν γίνει για να επιλυθεί το θέμα διάδοσης διαμέσου βλάστησης για κάθε περίπτωση, μέσα από τη βλάστηση, γύρω από τη βλάστηση αλλά και κάτω από το φύλλωμα, όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.18**. Όπου είναι δυνατόν, κάθε συστατικό επρόκειτο να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας την απλή μέθοδο, έτσι ώστε το τελικό πρότυπο να μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα. Το διεσπαρμένο συστατικό διαμορφώθηκε χρησιμοποιώντας τη θεωρία της ακτινοβολίας ενεργειακής μεταφοράς (RET), αφού αυτό είναι ένα πλήρως αιτιοκρατικό πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εγκατάσταση των πρότυπων παραμέτρων στη συγκεκριμένη μέτρηση γεωμετρίας και στη συνέχεια να επεκταθεί για να παρέχει αποτελέσματα για περισσότερες γενικές περιπτώσεις.

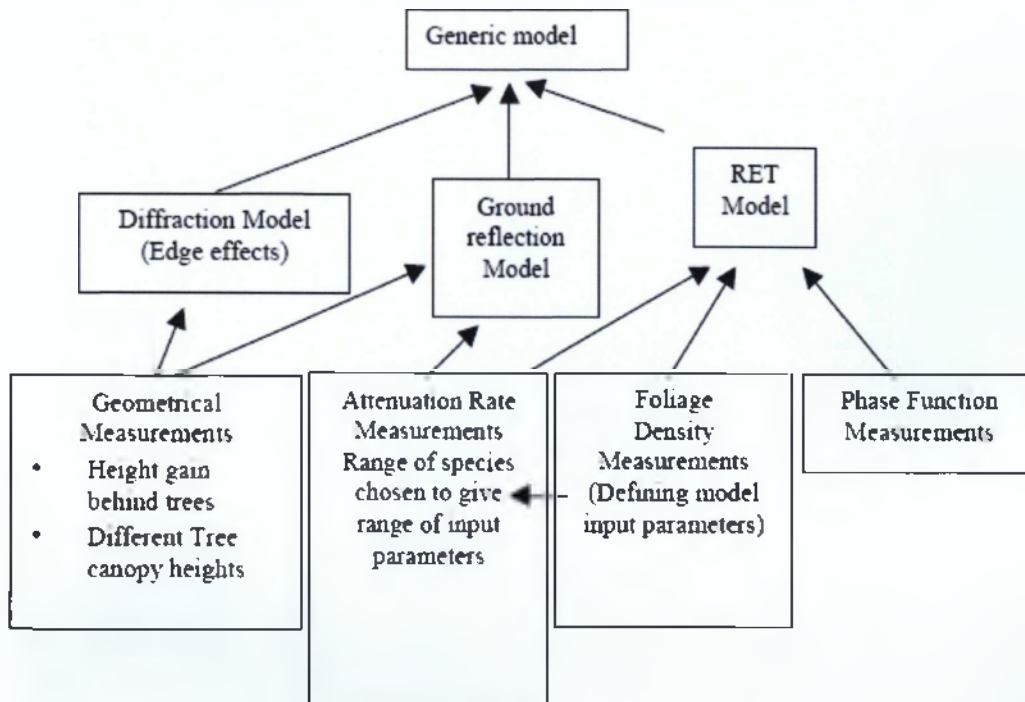


Σχήμα 4.18: Εκτίμηση τριών τρόπων διάδοσης, μέσα και γύρω από τη βλάστηση[22]

Οι μετρήσεις για τα συστατικά που έχουν υποστεί τη μεγαλύτερη περίθλαση και έχουν ανακλαστεί στο έδαφος έγιναν με ποικίλες τιμές στο ύψος του δέκτη, για διάφορα βάθη βλάστησης. Η απόσβεση στο αναμενόμενο άκρο που υπέστη περίθλαση συγκρίθηκε επίσης και με την υπολογισμένη απόσβεση προκειμένου να καθοριστεί σε ποια τοποθεσία το υπολογισμένο σήμα περιορίζεται από ένα edge diffracted στοιχείο.

Η γενική λογική για την ανάπτυξη ενός γενικού προτύπου για τη βλάστηση απεικονίζεται παρακάτω στο **σχήμα 4.19**.

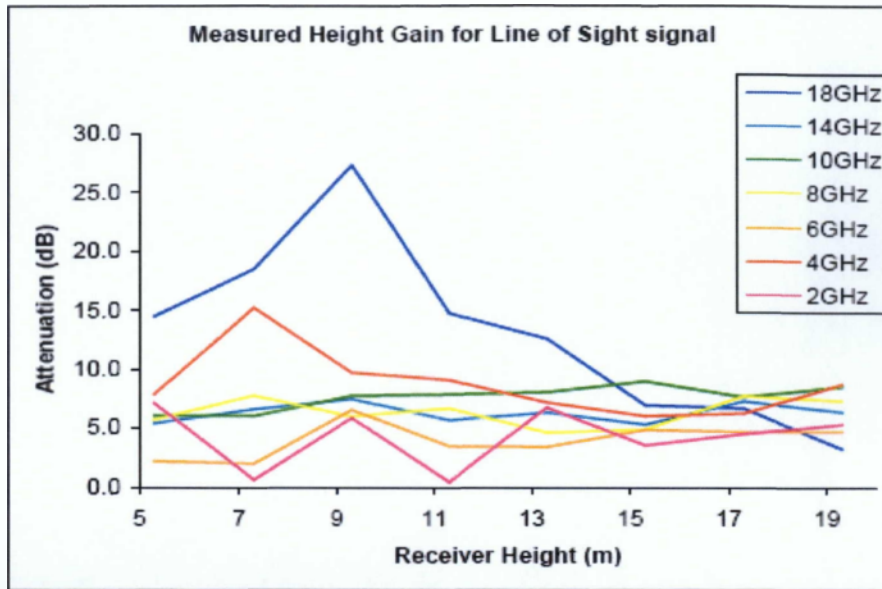
Generic Vegetation Model Development



Σχήμα 4.19: Ανάπτυξη γενικού σχεδίου για τη βλάστηση[22]

4.7.3.1 Πρότυπο στοιχείο επίγειας αντανάκλασης

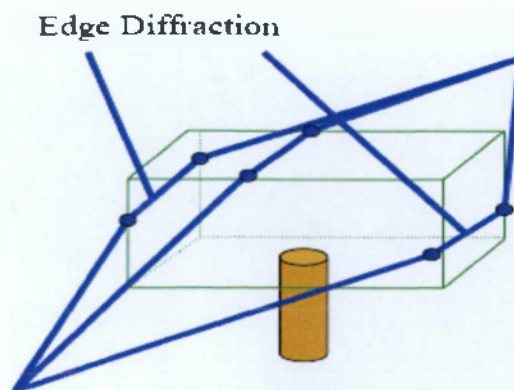
Διάφορες μετρήσεις έχουν γίνει για την περίπτωση μιας ομάδας Sycamore δέντρων που φωτίστηκαν από μια κεραία ευρείας ακτίνας σε απόσταση πάνω από 100m και για εύρος συχνότητας 2-18GHz. Η κεραία λήψης έφτασε από ύψος 5m από το έδαφος και με βήμα 2m στα 19m. Το ύψος των δέντρων ήταν περίπου 17m και οι μετρήσεις έγιναν για διάφορα βάθη βλάστησης. Το **σχήμα 4.20** δείχνει την υπολογισμένη απόσβεση για διάφορες συχνότητες σε συνάρτηση με το ύψος του δέκτη και για την περίπτωση ότι ο δέκτης είναι σε ελεύθερη θέα από τον πομπό.



Σχήμα 4.20: Υπολογισμένο κέρδος ύψους για σήμα σε ορατή γραμμή[19]

Από το σχήμα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως το υπολογισμένο σήμα ποικίλλει πολύ με το ύψος. Αυτό οφείλεται στην παρεμβολή μεταξύ της ευθείας ακτίνας από τον πομπό στον δέκτη και της ανακλώμενης στην επιφάνεια της Γης ακτίνα.

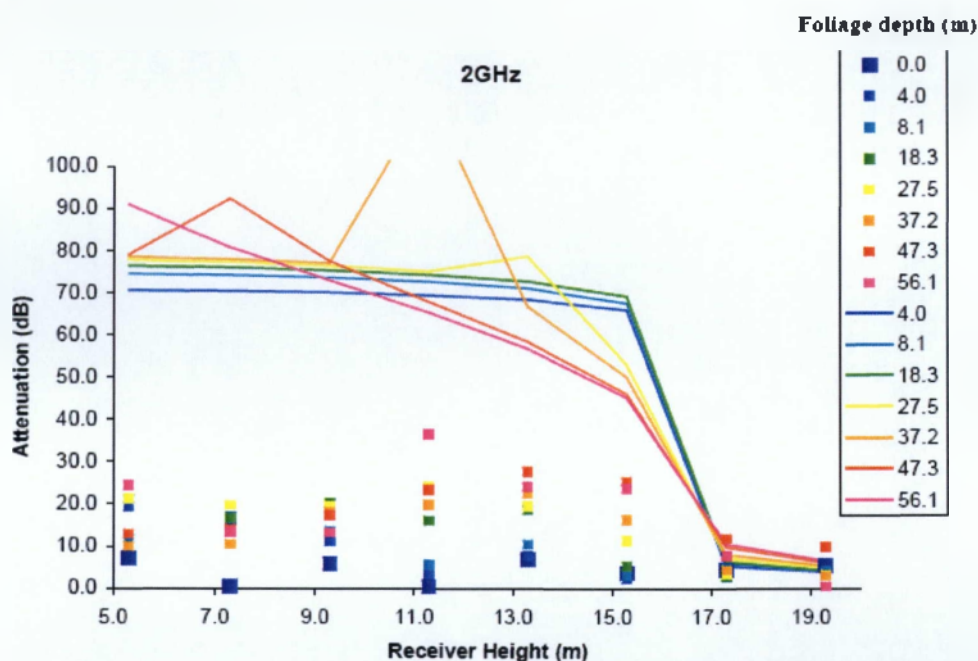
4.7.3.2 Πρότυπο στοιχείο διάθλασης



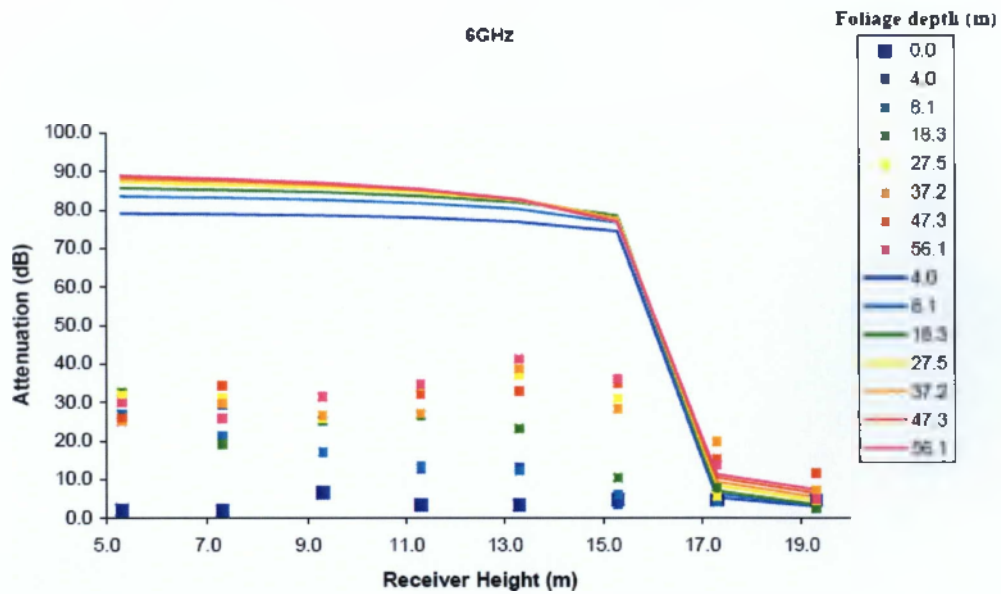
Σχήμα 4.21: Στοιχεία που έχουν υποστεί περίθλαση στις άκρες[19]

A. Σύγκριση πρόβλεψης ITU-R Rec. 526 με μετρήσεις για περιθλαση στο άνω άκρο

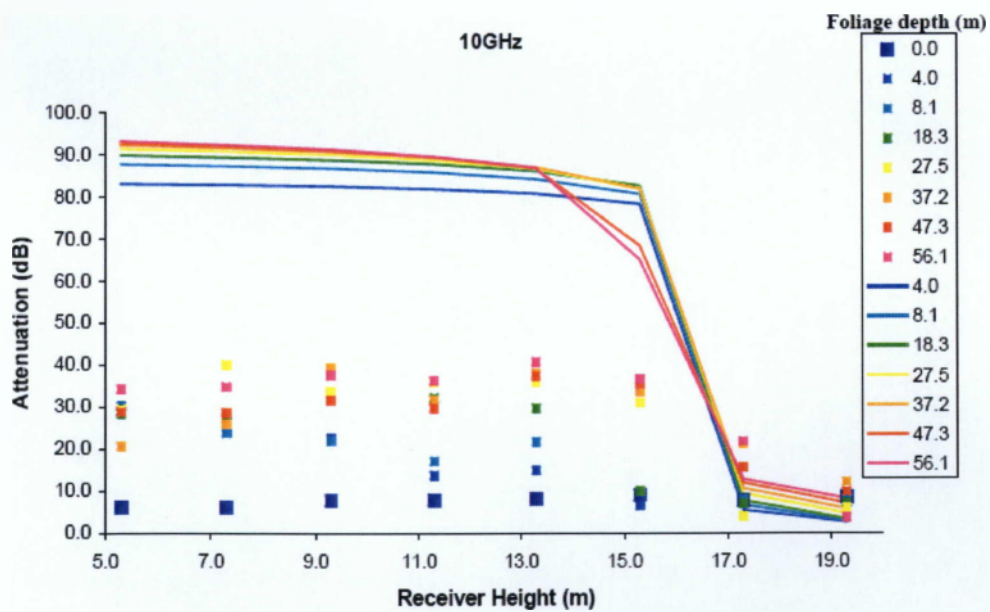
Μια σύγκριση για την υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος έγινε με το προβλεπόμενο στοιχείο που υπέστη περιθλαση, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που περιγράφηκε στη σύσταση ITU-R 526, για διπλά απομονωμένες κόχες. Τα **σχήματα 4.22 - 4.26** δείχνουν τα αποτελέσματα των συγκρίσεων για 5 διαφορετικές συχνότητες, με τις υπολογισμένες τιμές για τα βάθη βλάστησης που σχεδιάζονται ως μεμονωμένα σημεία και η απώλεια διάθλασης λόγω της διάδοσης πάνω από τις κορυφές των δέντρων που σχεδιάζονται σαν γραμμές. Κάθε σειρά σχεδιάζεται με διαφορετικό χρώμα που αντιστοιχεί στο βάθος της βλάστησης σε μέτρα.



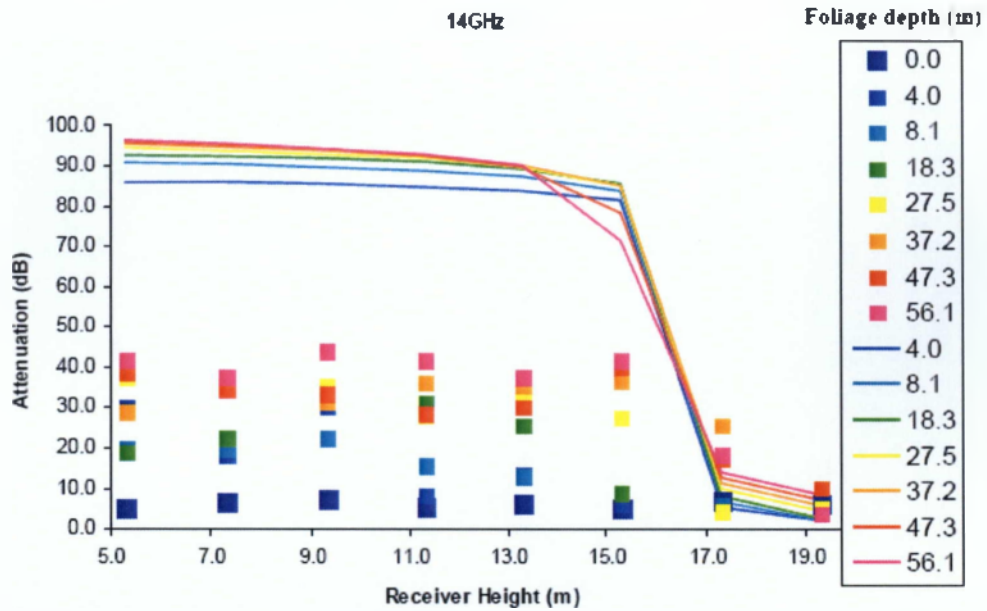
Σχήμα 4.22: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος, σε σύγκριση με συχνότητα 2GHz[19]



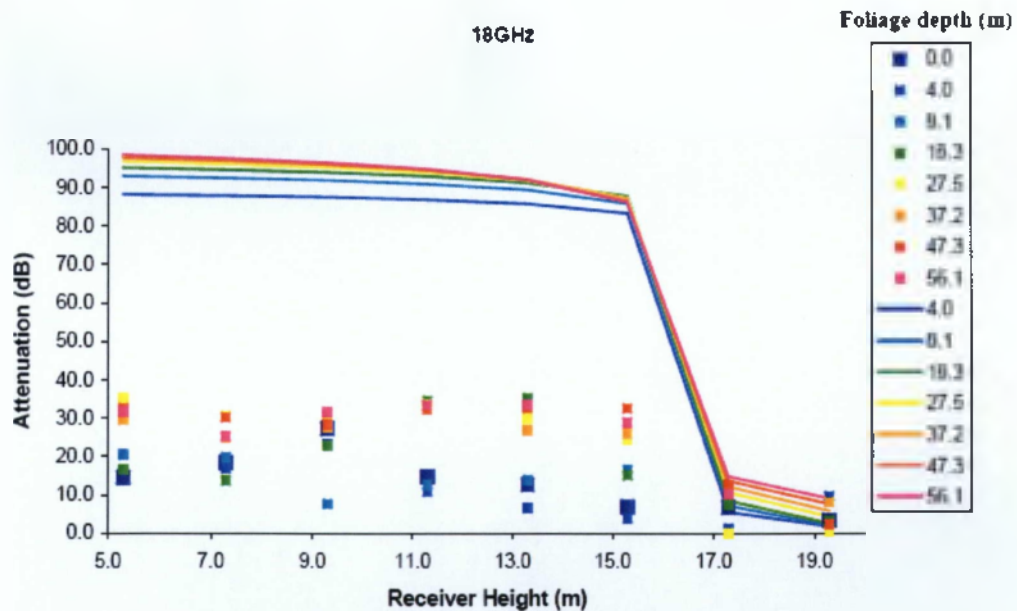
Σχήμα 4.23: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος, σε σύγκριση με συχνότητα 6 GHz[19]



Σχήμα 4.24: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος, σε σύγκριση με συχνότητα 10 GHz[19]



Σχήμα 4.25: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος, σε σύγκριση με συχνότητα 14 GHz[19]

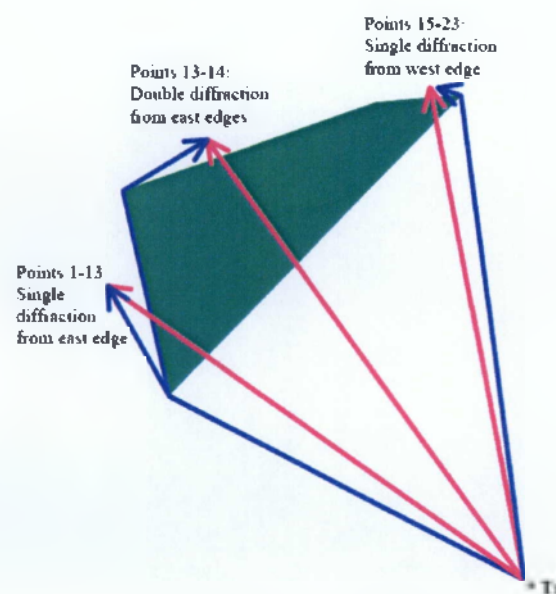


Σχήμα 4.26: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το ύψος, σε σύγκριση με συχνότητα 18 GHz[19]

Μπορούμε να δούμε από τα παραπάνω σχήματα ότι οι προβλεπόμενες τιμές είναι όλες μεγαλύτερες από τις υπολογισμένες τιμές για όλα τα ύψη εκτός αυτών που ξεπερνάνε το ύψος των κορυφών των δέντρων.

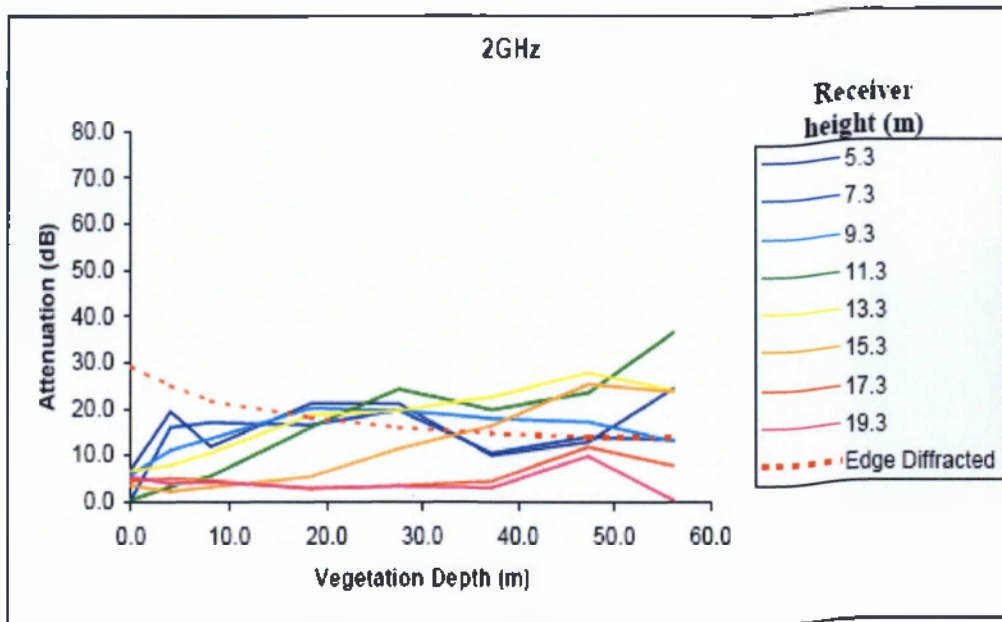
B. Σύγκριση πρόβλεψης ITU-R Rec. 526 με μετρήσεις για περίθλαση στο πλευρικό άκρο

Μια παρόμοια σύγκριση έγινε για το προβλεπόμενο πλευρικό άκρο που υπέστη περίθλαση για διάφορες μετρήσεις σε ποικίλα βάθη βλάστησης. Η γεωμετρία αυτών των μετρήσεων απεικονίζεται στο **σχήμα 4.27** μαζί με τις υποτιθέμενες γωνίες διάθλασης.

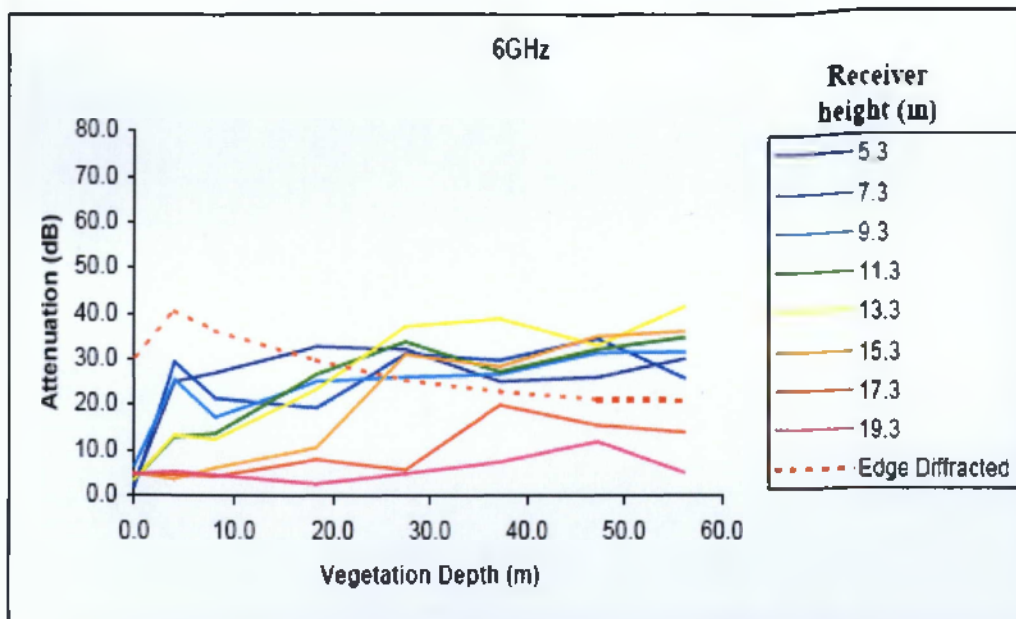


Σχήμα 4.27: Γεωμετρία για πλευρική περίθλαση σε τόπου αναχωμάτων[19]

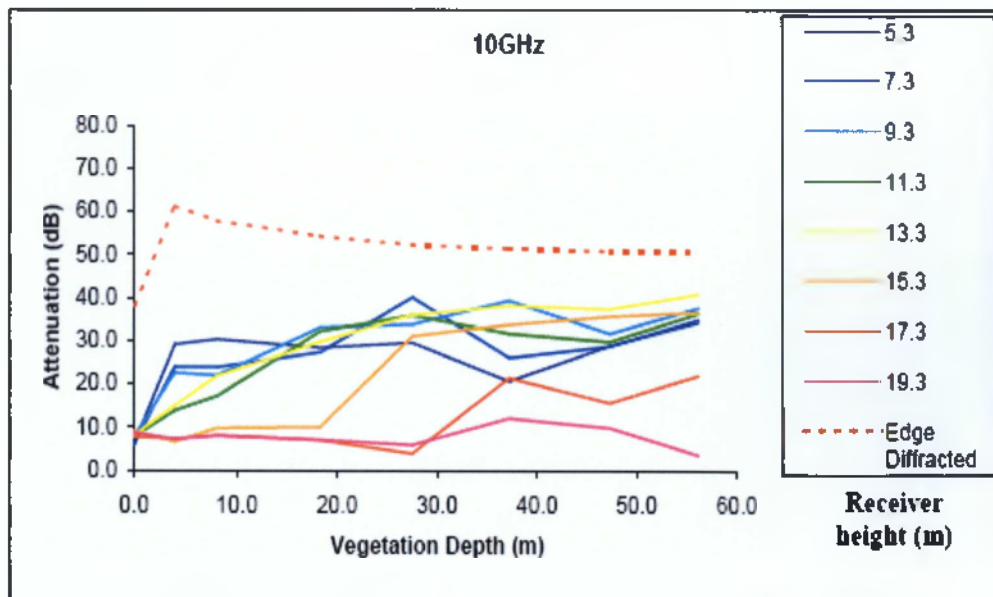
Η υπολογισμένη απόσβεση λόγω βλάστησης σε κάθε ύψος σχεδιάζεται σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης στα **σχήματα 4.28 – 4.32** για τις πρώτες οκτώ τοποθεσίες. Κάθε σταθερή γραμμή αναπαριστά την απόσβεση για ένα δεδομένο ύψος του δέκτη που φαίνεται στο σχήμα. Επίσης, με διακεκομμένη γραμμή σχεδιάζεται η προβλεπόμενη απώλεια λόγω περίθλασης για την περίπτωση ενός μεμονωμένου σημείου knife-edge περίθλασης που υποτίθεται ότι βρίσκεται στην ανατολική άκρη της βλάστησης.



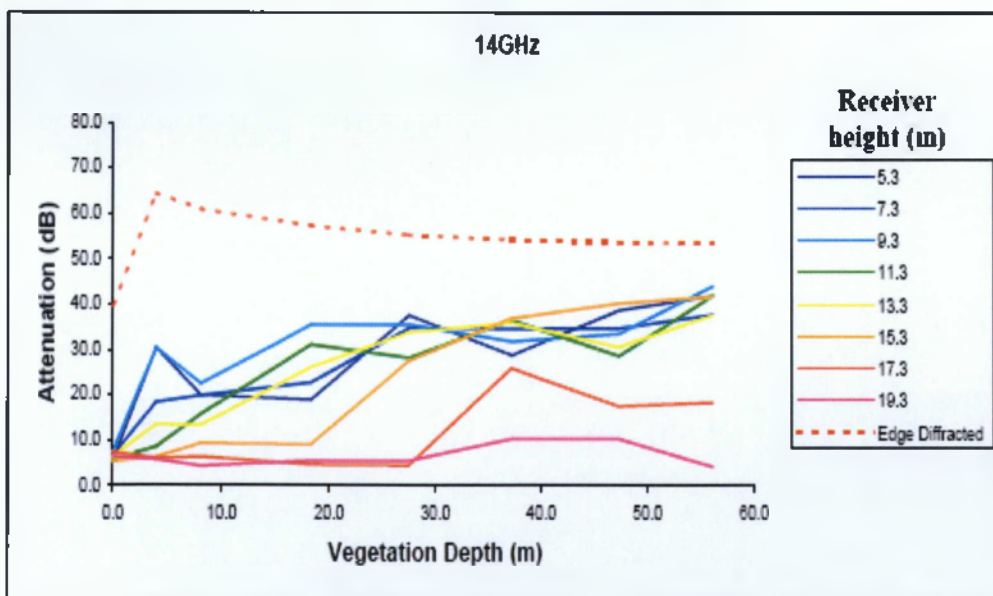
Σχήμα 4.28: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης, με cf πρόβλεψη στα 2 GHz[19]



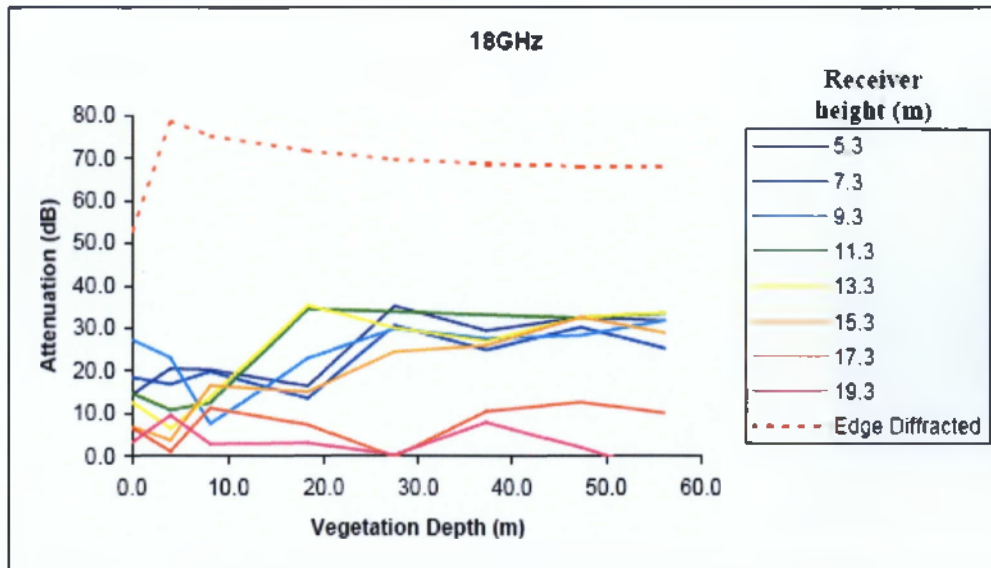
Σχήμα 4.29: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης, με cf πρόβλεψη στα 6 GHz[19]



Σχήμα 4.30: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης, με cf πρόβλεψη στα 10 GHz[19]



Σχήμα 4.31: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης, με cf πρόβλεψη στα 14 GHz[19]



Σχήμα 4.32: Υπολογισμένη απόσβεση σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης, με cf πρόβλεψη στα 18 GHz[19]

Μπορούμε να δούμε πως σε χαμηλότερες συχνότητες, η προβλεπόμενη απώλεια λόγω περίθλασης πέφτει κάτω από το επίπεδο της υπολογισμένης απόσβεσης, κάτι το οποίο συνιστά ότι για αυτές τις τοποθεσίες και αυτές τις συχνότητες η απόσβεση μπορεί να περιορίζεται από τα στοιχεία που παθαίνουν περίθλαση.

4.7.3.3 Η μηχανή RET

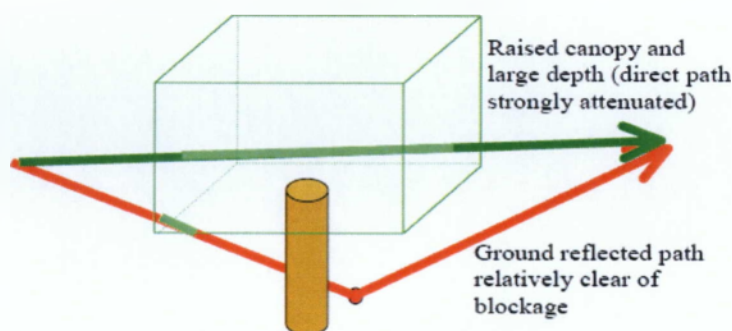
Η μηχανή RET χρησιμοποιεί την θεωρία της Ακτινοβολίας Ενεργειακής Μεταφοράς (Radiative Energy Transfer Theory) για να υπολογίσει την απόσβεση και τη διασπορά της βλάστησης στη διάδοση ραδιοκυμάτων. Η εξίσωση RET απαιτεί τέσσερις παραμέτρους για να υπολογίσει την υπερβολική εξασθένιση λόγω βλάστησης και τη διασπορά σε δεδομένο βάθος βλάστησης. Οι παράμετροι ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του φυτού, το μέγεθος των φύλλων, την πυκνότητα του φυλλώματος, την κατάσταση του φυλλώματος και την συχνότητα του ραδιοκύματος. Οι παράμετροι πρέπει να είναι πειραματικά καθορισμένοι από την αρχή. Όπου οι τάσεις προκύπτουν από αυτές τις μετρήσεις θα είναι δυνατό να παρεμβάλει και πέρα από ένα φάσμα συχνοτήτων που συγκεκριμένα δεν καλύπτεται στα αρχικά πειράματα ή να κάνει πρόβλεψη για αλλαγές στις RET παραμέτρους ανάλογα με

την εποχή. Οι RET παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο RET πρόγραμμα προήλθαν χρησιμοποιώντας την καμπύλη της υπερβολικής απόσβεσης σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης.

4.7.3.4 Συνδυασμός προτύπων

Αρχικά, αν κάποιο από τα στοιχεία είναι αρκετά μεγαλύτερο από κάποιο άλλο (π.χ. η εξασθένιση να είναι πολύ μικρότερη από τα άλλα στοιχεία), τότε οι άλλοι όροι θα πρέπει να αγνοούνται και αυτός ο όρος μόνο θα πρέπει να λαμβάνεται ως η τιμή του λαμβανόμενου σήματος. Ωστόσο, μπορεί δύο ή παραπάνω στοιχεία να είναι της ίδια τάξης, οπότε και είναι άξιο απορίας αν πρέπει να γίνει μια συνεπής προσθήκη και αυτών των όρων.

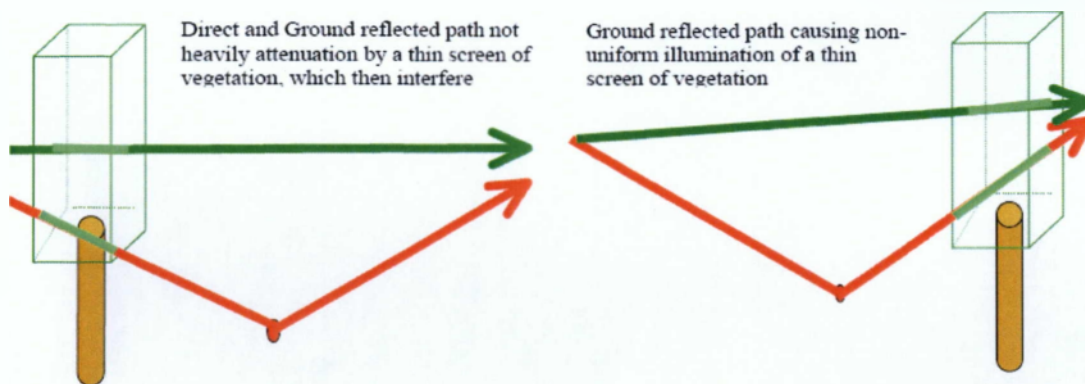
Στην περίπτωση της διάδοσης με ανάκλαση στο έδαφος, η διαδρομή είναι σχετικά ελεύθερη σε σχέση με την ευθεία διάδοση ή μέσα από βλάστηση.



Σχήμα 4.33: Γεωμετρία κύριας επίγειας αντανάκλασης κάτω από έναν ανορθωμένο θόλο[19]

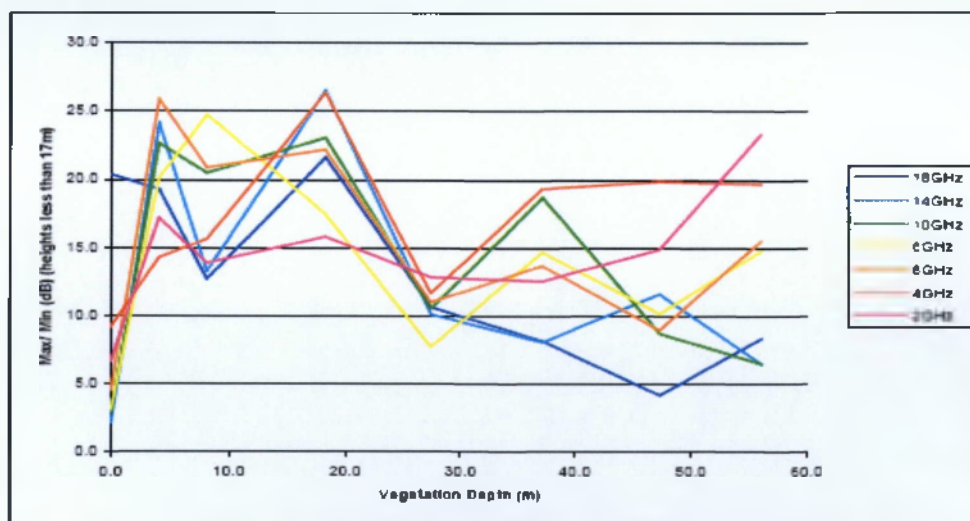
Σε αυτή τη περίπτωση, αν το βάθος της βλάστησης είναι επαρκώς μεγάλο, η επίγεια ανακλώμενη ακτίνα μπορεί να υπερσχύσει στο τομέα του δέκτη και το διεσπαρμένο στοιχείο να αγνοηθεί. Σε καταστάσεις όπου ο πομπός είναι πολύ πιο μακριά από την βλάστηση από ότι ο δέκτης, ο σχετικός φωτισμός που πέφτει πάνω στην βλάστηση δεν μπορεί πλέον να θεωρηθεί ως επίπεδο κύμα. Στις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στο **σχήμα 4.34**, η ευθεία ακτίνα και η επίγεια ανακλώμενη ακτίνα μπορούν ακόμα να

παρέμβουν με συνοχή και για αυτό μια προσέγγιση της συνολικής απόσβεσης λόγω βλάστησης μπορεί να δοθεί με την πρόσθεση του διεσπαρμένου όρου και του επίγειου ανακλώμενου όρου. Για άλλες γεωμετρίες με μεγαλύτερο βάθος βλάστησης, αλλά χωρίς καθαρό μονοπάτι κάτω από το φύλλωμα, όπου και η επίγεια ανακλώμενη και η ευθεία ακτίνα πρέπει να περάσουν από το ίδιο βάθος βλάστησης, τη θεωρία RET προβλέπει ότι το σήμα θα διαδοθεί με ένα τρόπο διάχυτης διασποράς. Αυτό είναι εκ φύσεως, ένα ασυνάρτητο σήμα χωρίς μια επιλύσιμη ακτίνα.



Σχήμα

4.34: Γεωμετρία με συνδυασμό ευθείας και επίγειας ανακλώμενης ακτίνας μέσα από λεπτή οθόνη[19]

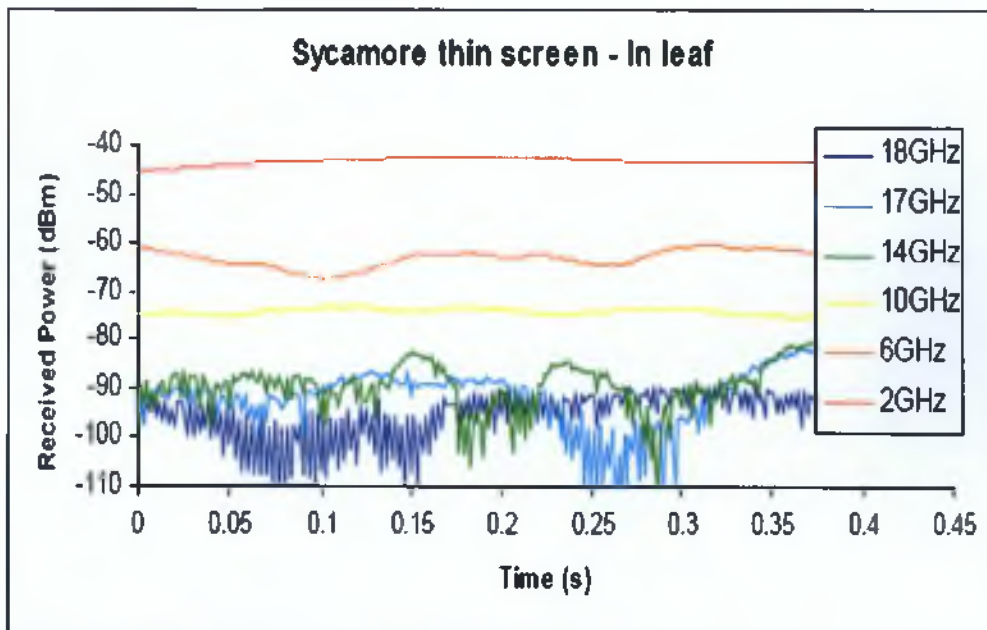


Σχήμα 4.35: Μεταβλητότητα σήματος σε συνάρτηση με το βάθος της βλάστησης[19]

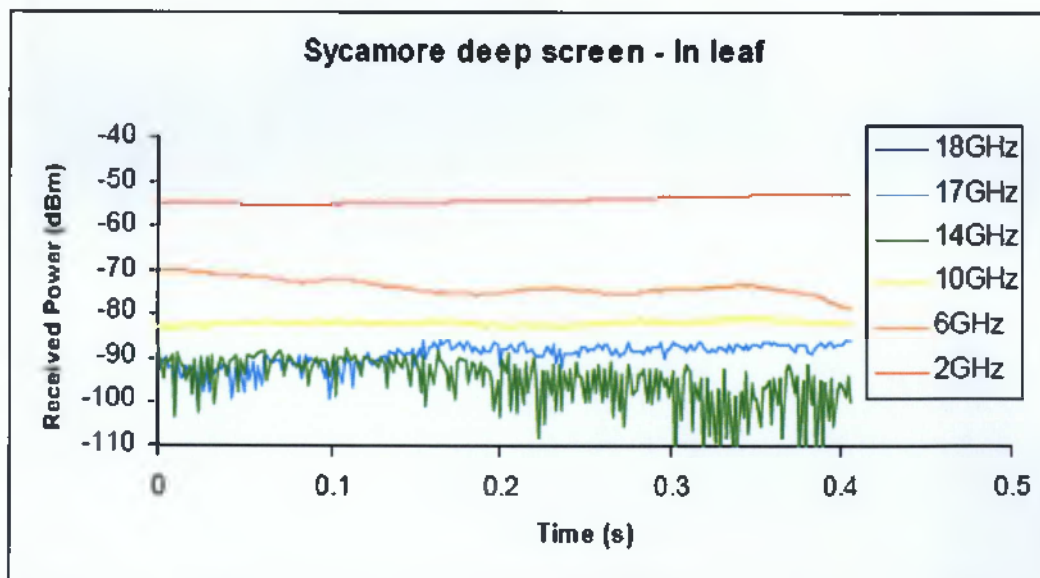
Γενικά, για τη μεταβλητότητα με το ύψος ισχύει ότι μειώνεται με το βάθος της βλάστησης για υψηλές συχνότητες και αυξάνεται με το βάθος της βλάστησης για χαμηλότερες συχνότητες. Στις υψηλότερες συχνότητες τα αποτελέσματα της διάχυτης διασποράς είναι πιο εμφανή σε βάθος βλάστησης και για αυτό σε μεγαλύτερα βάθη βλάστησης, το λαμβανόμενο πεδίο είναι μια άθροιση πολλών διάχυτων στοιχείων τα οποία προσδίδουν μικρότερη μεταβλητότητα. Για μικρότερες συχνότητες, τα αποτελέσματα της διάχυτης διασποράς εμφανίζονται σε πολύ μεγαλύτερα βάθη βλάστησης, εφόσον το μήκος του οπτικού μονοπατιού είναι μικρότερο και η διαθεσιμότητα του σήματος μειώνεται σε μεγαλύτερα βάθη βλάστησης. Για τις μικρότερες συχνότητες, η αλλαγή στο συνολικό μήκος μονοπατιού της ανακλώμενης ακτίνας είναι επίσης μικρότερο καθώς ο δέκτης κινείται σε καθορισμένη απόσταση. Σε αυτή τη περίπτωση, το κέρδος από το ύψος 14m αντιστοιχεί σε αλλαγή διαφοράς στο μήκος μονοπατιού από 1 μήκος κύματος στα 2 GHz συγκρινόμενη με 40 μήκη κύματος στα 18 GHz.

Γ. Δυναμικά κανάλια

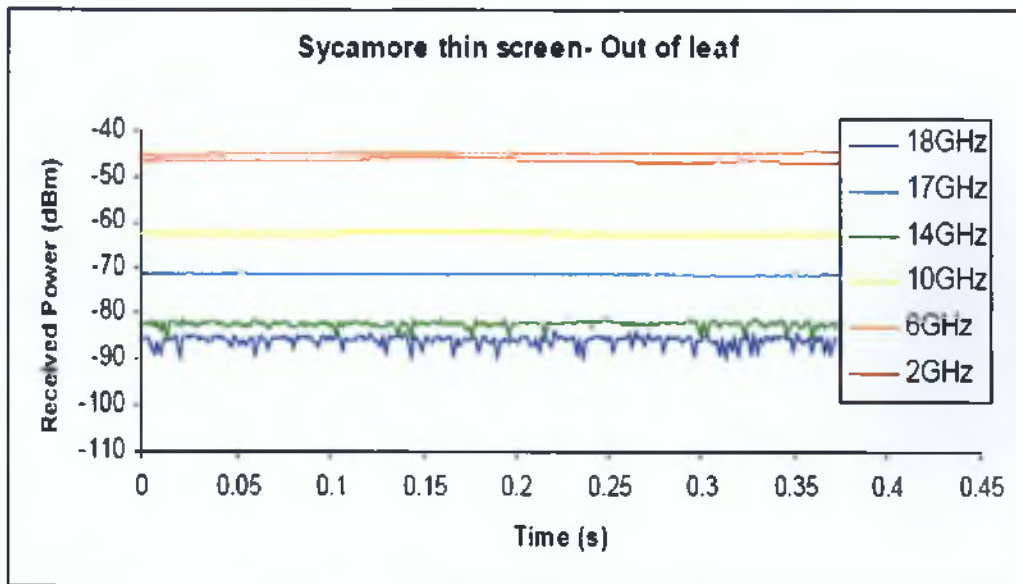
Το γενικό πρότυπο αναπτύχθηκε με την δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων από μετρήσεις και παρά το γεγονός ότι αρκετές από αυτές τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας εξοπλισμό ευρείας ζώνης, το πρότυπο από μόνο του χρησιμοποιήθηκε μόνο για περιορισμένης ζώνης δεδομένα και για αυτό το λόγο είναι αυστηρά για κανάλια περιορισμένης ζώνης. Επιπρόσθετα για τα αποτελέσματα ευρείας ζώνης, το αποτέλεσμα για το μονοπάτι μέσα από βλάστηση για σήμα στενής ζώνης μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία των πομπού/δέκτη καθώς επίσης και με το χρόνο, εφόσον τα δέντρα δεν είναι σταθερά. Πράγματι, τα κλαδιά θα κινούνται αρκετά σε καταστάσεις με αέρα. Τα **σχήματα 4.36** έως **4.43** δείχνουν τα δυναμικά κανάλια στενής ζώνης σε διαφορές χρονικές στιγμές για τρία είδη δέντρων, για την περίπτωση ενιαίου βάθους δέντρων και μονοπάτια μέσα από πυκνή βλάστηση, για διάφορες συχνότητες.



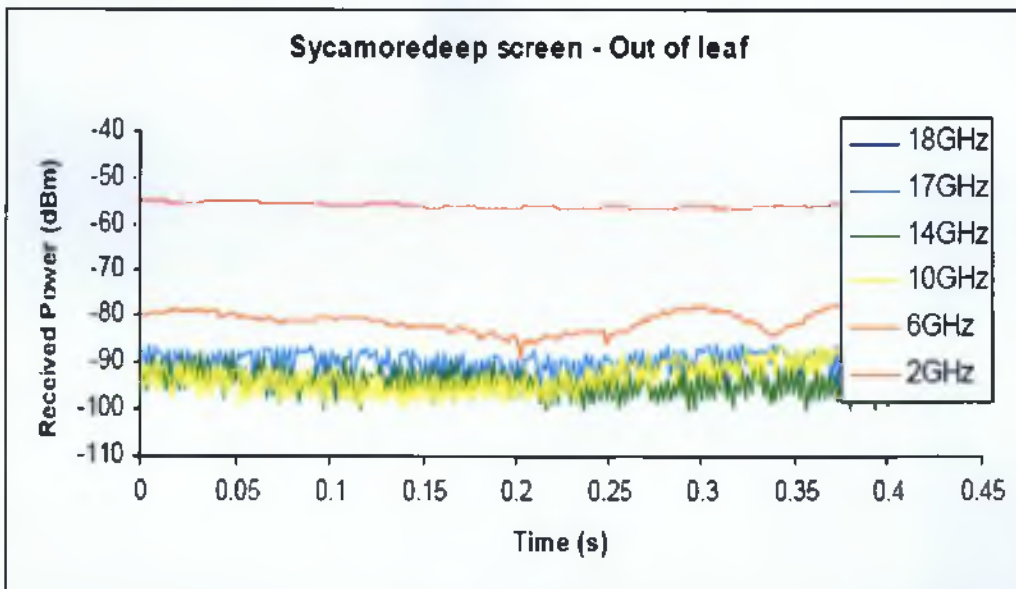
Σχήμα 4.36: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 4m δέντρων Sycamore (μέσα στο φύλλο) [19]



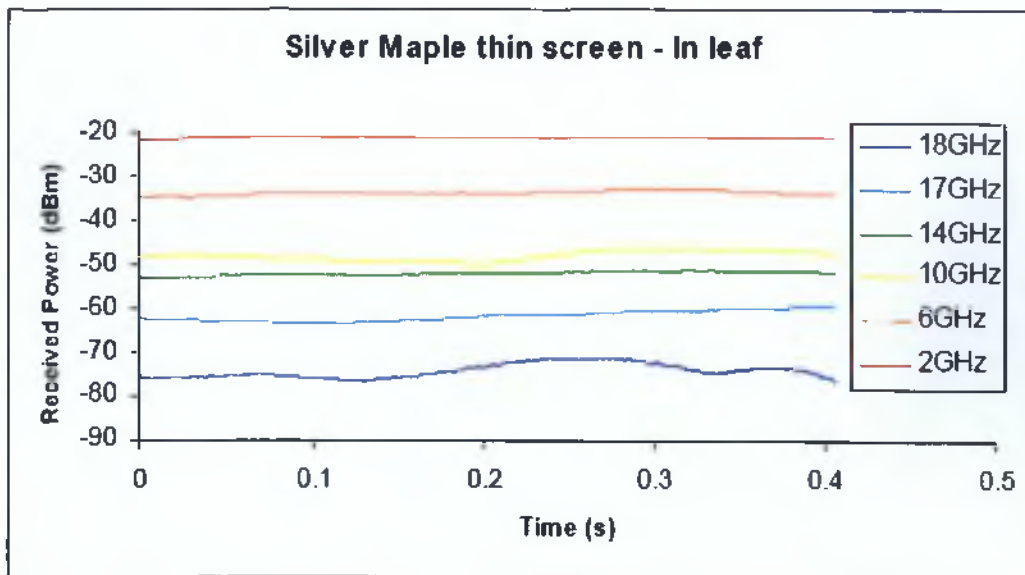
Σχήμα 4.37: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 42m δέντρων Sycamore (μέσα στο φύλλο) [19]



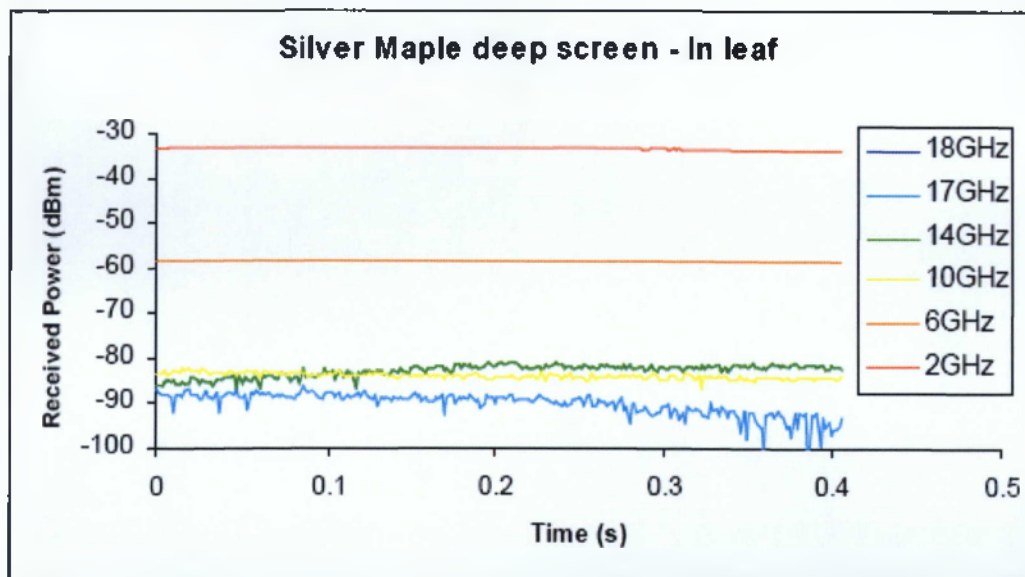
Σχήμα 4.38: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 4m δέντρων Sycamore (έξω από το φύλλο) [19]



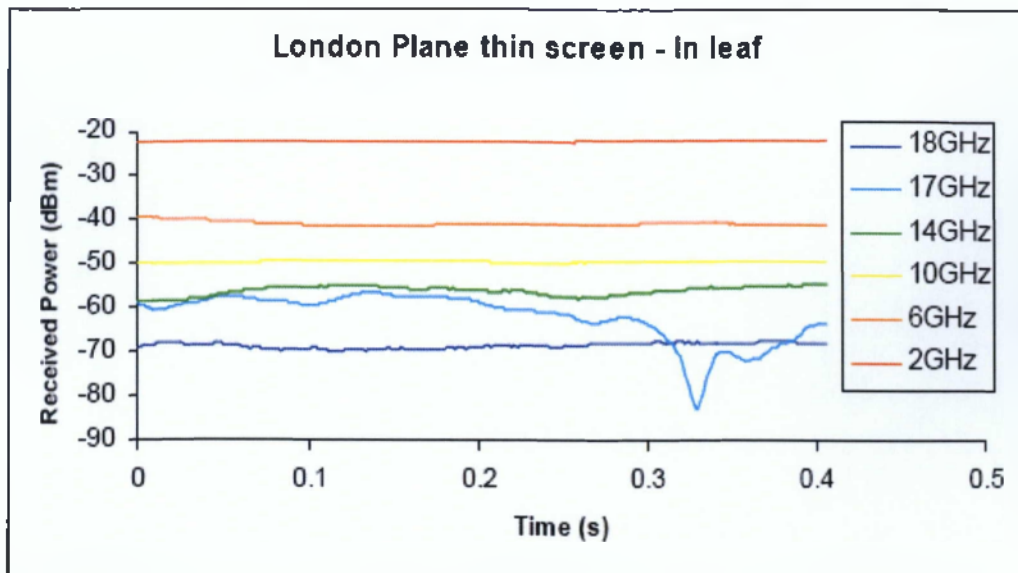
Σχήμα 4.39: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 42m δέντρων Sycamore (μέσα στο φύλλο) [19]



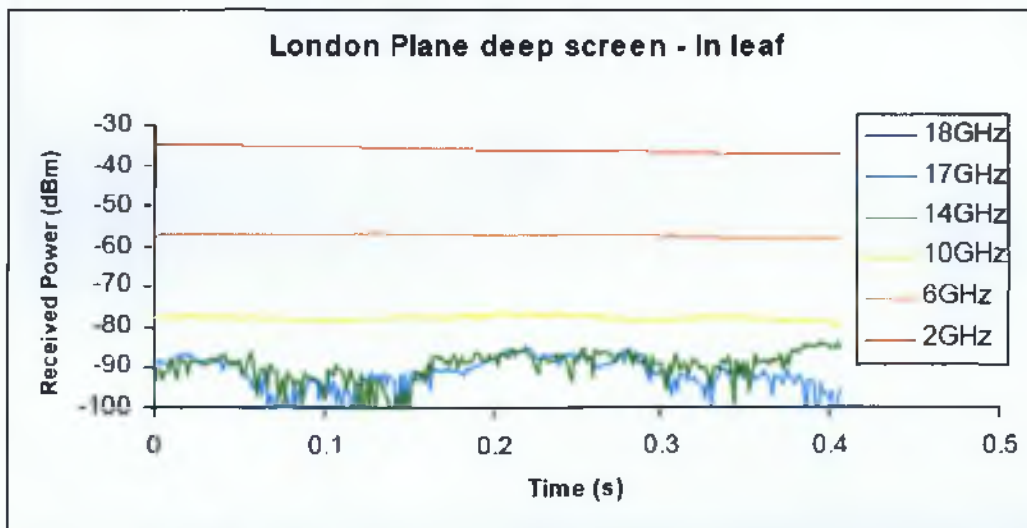
Σχήμα 4.40: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 5.2m δέντρων Silver Maple (μέσα στο φύλλο) [19]



Σχήμα 4.41: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 41.1m δέντρων Silver Maple (μέσα στο φύλλο) [19]



Σχήμα 4.42: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 4.9m δέντρων London Plane (μέσα στο φύλλο) [19]



Σχήμα 4.43: Λαμβανόμενη ισχύ σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα από 41.7m δέντρων London Plane (μέσα στο φύλλο) [19]

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω σχήματα, η λαμβανόμενη ισχύς μπορεί να ποικίλλει αρκετά με το χρόνο, ενώ εξαρτάται από τη συχνότητα και το βάθος της βλάστησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή της απόσβεσης που προβλέπεται από το γενικό πρότυπο δίνεται ως ένα μέσο επίπεδο σήματος.

Δ. Χαρακτηριστικά καναλιού ευρείας ζώνης

Η βλάστηση μπορεί να προκαλέσει τη διασπορά, τη διάθλαση, τη περίθλαση, την απορρόφηση και την αντανάκλαση των ραδιοκυμάτων. Συνεπώς, τα ραδιοσήματα ακολουθούν τις πολλαπλές πορείες που φθάνουν στο δέκτη με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούν ένα ευρύ κυματοειδές εύρος ζώνης έχουν επιτρέψει σε αυτά τα συστατικά των πολλαπλών διαδρομών να επιλυθούν και να αναλυθούν. Η απουσία συσχετισμού μεταξύ απόσβεσης και καθυστέρησης διάδοσης λόγω πολλαπλών διαδρομών, που παρατηρείται στις μετρήσεις ευρείας ζώνης σημαίνει ότι παρόλο που το πρότυπο για στενή ζώνη μπορεί να προβλέψει την υποδοχή ενός ισχυρού σήματος μπορεί να γίνει ακατανόητο για σκοπούς επικοινωνίας από τη διασυμβολική παρεμβολή που προκαλείται από τις πολλαπλές διαδρομές. Μια παραλλαγή στη καθυστέρηση διάδοσης μπορεί να οφείλεται στα διαφορετικά στοιχεία των πολλαπλών διαδρομών που εξουσιάζουν την πορεία διάδοσης σε διαφορετικές θέσεις.

Η απόσβεση έχει φανεί στις μετρήσεις ότι είναι μικρότερη για τις περισσότερες συχνότητες έξω από το φύλλο, αλλά τα χαρακτηριστικά ευρείας ζώνης είναι λιγότερο ευνοϊκά για επικοινωνιακούς σκοπούς. Γενικά, η δεύτερη πιο ισχυρή ακτίνα που λαμβάνεται, για την εξωτερικά του φύλλου κατάσταση, έχει ισχυρότερη ενέργεια, σε σύγκριση με τις μετρήσεις για την ισχυρότερη ακτίνα στην εντός του φύλλου κατάσταση.

4.8 Θεωρητική ανάπτυξη προτύπων

Στη διάδοση ραδιοκυμάτων, το μοντέλο για απώλειες ελευθέρου χώρου, λειτουργεί ως το κατώτερο όριο για τον υπολογισμό της απώλειας κατά μήκος της διαδρομής.

$$L_{free}(dB) = -27.56 + 20\log_{10} f + 20\log_{10} d \quad (1.6)$$

, όπου το f είναι μετρημένο σε MHz και το d , που είναι η απόσταση ανάμεσα στις κεραιές εκπομπής και λήψης, σε m.

Για την απώλεια διάδοσης ενός ραδιοκύματος κοντά στο έδαφος σε κατάσταση οπτικής επαφής, θεωρείται προτιμότερο να υπολογιστεί η απώλεια διάδοσης από το

πρότυπο για επίπεδη Γη (PEPL-plane earth path loss), από ότι εκείνο του ελεύθερου χώρου, καθώς περιλαμβάνει και την αντανάκλαση από το έδαφος [29].

$$L_{PE}(dB) = 40\log_{10}(d) - 20\log_{10}(h_T) - 20\log_{10}(h_R) \quad (1.7)$$

,όπου d είναι η απόσταση μεταξύ των ιστροπικών κεραιών εκπομπής και λήψης σε m , h_T και h_R τα ύψη των κεραιών εκπομπής και λήψης, αντίστοιχα, σε m . Σε αυτό το πρότυπο, κάνουμε την υπόθεση ότι το d είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι τα h_T και h_R .

Επειδή, όπως έχουμε αναφέρει πιο πριν η βλάστηση παίζει σημαντικό ρόλο στην διάδοση του σήματος, παρακάτω φαίνεται το πρότυπο για τον υπολογισμό της απώλειας σήματος μέσα σε δάσος, συνυπολογίζοντας το ύψος της κεραίας [29].

$$L_{forest}(dB) = 40\log_{10}(d) - 20\log_{10}(h_T) - 20\log_{10}(h_R) - 20\log_{10}\left(\frac{3R_e}{2R} F_s F_f\right) \quad (1.8)$$

, όπου R_e είναι η αντίσταση της ακτινοβολίας της διπολικής κεραίας σε ελεύθερο χώρο και R η συνολική αντίσταση κεραίας στην εγγύτητα του εδάφους και του φυλλώματος. F_s είναι ο παράγοντας που υπολογίζει την επιρροή από τη καμπυλότητα της Γης, F_f είναι ο παράγοντας που υπολογίζει την επιρροή του δάσους και h_T και h_R τα ύψη των κεραιών εκπομπής και λήψης, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με έρευνες[29], έχει προκύψει μοντέλο που υπολογίζει το κέρδος σε σχέση με το ύψος της κεραίας κατά την απώλεια διάδοσης μέσα σε δάσος, με βάθος βλάστησης μέχρι και 4km. Για την δημιουργία του προτύπου χρησιμοποιήθηκαν κεραιές και κάθετα και οριζόντια πολωμένες σε συχνότητες από 50 MHz έως 800 MHz, ενώ το ύψος της κεραίας εκπομπής ποικίλλει στα 3.95-16.45 m και το ύψος της κεραίας λήψης στα 1.5-3.5 m, διατηρώντας πάντα τη συνθήκη $h_T \cdot h_R > 10$.

$$G_{AH}(dB) = -12 - 4\log_{10} f + 20\log_{10}(h_T) + 20\log_{10}(h_R) \quad (1.9)$$

Συγκρίνοντας τους 1.8 και 1.9 με τον 1.7, συμπεραίνουμε ότι το ανακλώμενο από το έδαφος σήμα επηρεάζει σημαντικά τη διάδοση ραδιοκυμάτων για μεγάλο βάθος βλάστησης, στις συχνότητες VHF και UHF, άρα κρίνεται ακατάλληλο εδώ το πρότυπο PEPL. Στον υπολογισμό της συνολικής συμβολής στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος πρέπει να υπολογίζονται όχι μόνο τα ευθέως διαδιδόμενα στοιχεία, όπως το σήμα που διαδίδεται

στην ευθεία και το ανακλώμενο στο έδαφος σήμα, αλλά και το πλευρικό σήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί το σήμα που διαδίδεται σε ευθεία γραμμή και το ανακλώμενο στο έδαφος υποφέρουν από μεγάλη εξασθένιση, καθώς κατά μήκος της διαδρομής τους συναντάνε διάφορα στοιχεία βλάστησης, όπως κορμοί, φύλλα, κλαδιά.

Το μοντέλο που πρότεινε η ITU-R κυριαρχεί κυρίως στη ζώνη συχνοτήτων UHF και προτάθηκε για περιπτώσεις στις οποίες είτε η κεραία εκπομπής, είτε η λήψης, είναι πολύ κοντά ($d < 100\text{m}$) σε περιοχή με αρκετά δέντρα και έτσι το μεγαλύτερο μέρος του διαδιδόμενου σήματος θα περνάει μέσα από αυτά. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται κυρίως για συχνότητες μεταξύ 200 MHz και 95 GHz. Ωστόσο, αν το βάθος βλάστησης είναι μεγαλύτερο τότε το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει μεγάλα ποσοστά ακρίβειας στη μέτρηση της απώλειας διάδοσης[29].

$$L_{ITU-R}(dB) = 0.2 \times f^{0.3} d^{0.6} \quad (1.10)$$

, όπου f είναι η συχνότητα σε MHz και d το βάθος βλάστησης σε m.

Ένα ακόμα μοντέλο που χρησιμοποιεί το μικρότερο τετραγωνικό λάθος και ταιριάζει σε πολλές μετρήσεις που έχουν γίνει, τόσο σε καταστάσεις που τα δέντρα έχουν φύλλωμα, όσο και σε καταστάσεις που δεν έχουν, στις ζώνες συχνοτήτων VHF και UHF, είναι το εγκατεστημένο ITU-R(FITU-R) μοντέλο. Αυτό το μοντέλο για περιπτώσεις με μικρό βάθος βλάστησης ($d < 400\text{m}$) μπορεί να είναι πολύ ακριβές, δεδομένου ότι συνδυάζεται με το μοντέλο REPL. Αφορά σε καταστάσεις με διαφορετική γεωμετρία και για αρκετούς τύπους δέντρων. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι μπορεί να συμπεριλάβει και το ανακλώμενο στο έδαφος σήμα και να διαχωρίσει τις καταστάσεις, αναλόγως με το αν υπάρχει φύλλωμα ή όχι[29].

$$L_{FITU-R}(dB) = \begin{cases} 0.37 \times f^{0.18} d^{0.59}, & \text{χωρίς φύλλωμα} \\ 0.39 \times f^{0.39} d^{0.25}, & \text{με φύλλωμα} \end{cases} \quad (1.11)$$

, όπου f είναι η συχνότητα σε MHz και d το βάθος βλάστησης σε m.

Το συγκεκριμένο πρότυπο ανταποκρίνεται επαρκώς τόσο στα 240 MHz, όσο και στα 700 MHz για το κύμα διάδοσης. Παρόλα αυτά, όταν το βάθος βλάστησης ξεπεράσει τα 500m, η προβλεπόμενη απώλεια και η υπολογιζόμενη απώλεια στα 240MHz πάει από 6.4,

στα 12.9 dB. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτό το μοντέλο δεν συμπεριλαμβάνει το αποτέλεσμα του πλευρικού σήματος, που εμφανίζεται όταν αυξάνεται το d , στα 240 MHz, αλλά όχι στα 700MHz και αυτό γιατί προήλθε από μετρήσεις που έγιναν στα 11.2-20GHz, όπου δεν επηρεάζει το πλευρικό σήμα. Αυτό σημαίνει ότι το κάνει ακριβές για προβλέψεις απώλειας και στα 700 MHz με τον ίδιο βέβαια περιορισμό ως προς το βάθος της βλάστησης.

Άλλο ένα πρότυπο με το οποίο αξίζει να ασχοληθούμε είναι το LITU-R. Αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται για υπερβολική απώλεια λόγω φυλλώματος, όταν το αποτέλεσμα του πλευρικού κύματος πρέπει να ληφθεί υπόψη. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάδοση σε σειρά μέσα σε περιοχή με φύλλωμα στη ζώνη συχνοτήτων VHF[29].

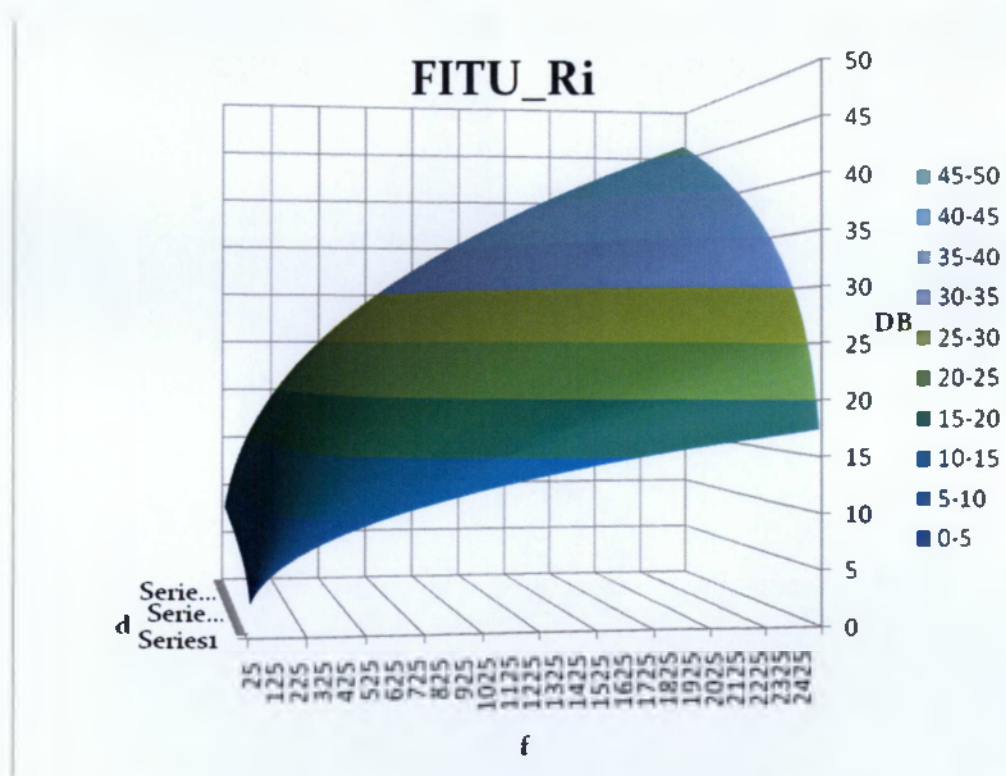
$$L_{LITU-R}(dB) \cong 0.48 \times f^{0.43} d^{0.13} \quad (1.12)$$

Η ακρίβεια του συγκεκριμένου μοντέλου είναι σημαντική και αυξάνεται για μεγαλύτερα βάθη βλάστησης. Το συγκεκριμένο πρότυπο μπορεί να συνδυαστεί, επίσης, με το REPL. Έχουν γίνει μετρήσεις για το πρότυπο αυτό, με το δάσος να είναι σε ύψους 25m, με τη κορυφή του δέντρου/φυλλώματος να είναι στα 10m και των κορμών στα 15m, η κεραία εκπομπής και λήψης που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις βρίσκονται στα 5 και 10 m, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έχουν εξαχθεί στην συχνότητα των 200 MHz, που είναι κοντά στα 240MHz που επιθυμούμε. Οι προβλεπόμενες τιμές αυτού του προτύπου είναι πιο κοντά στις αριθμητικές μετρήσεις που έχουν γίνει. Ωστόσο, θέλει ακόμα αρκετές πειραματικές μετρήσεις για να καλύψει και άλλες συχνότητες πέρα της 240MHz.

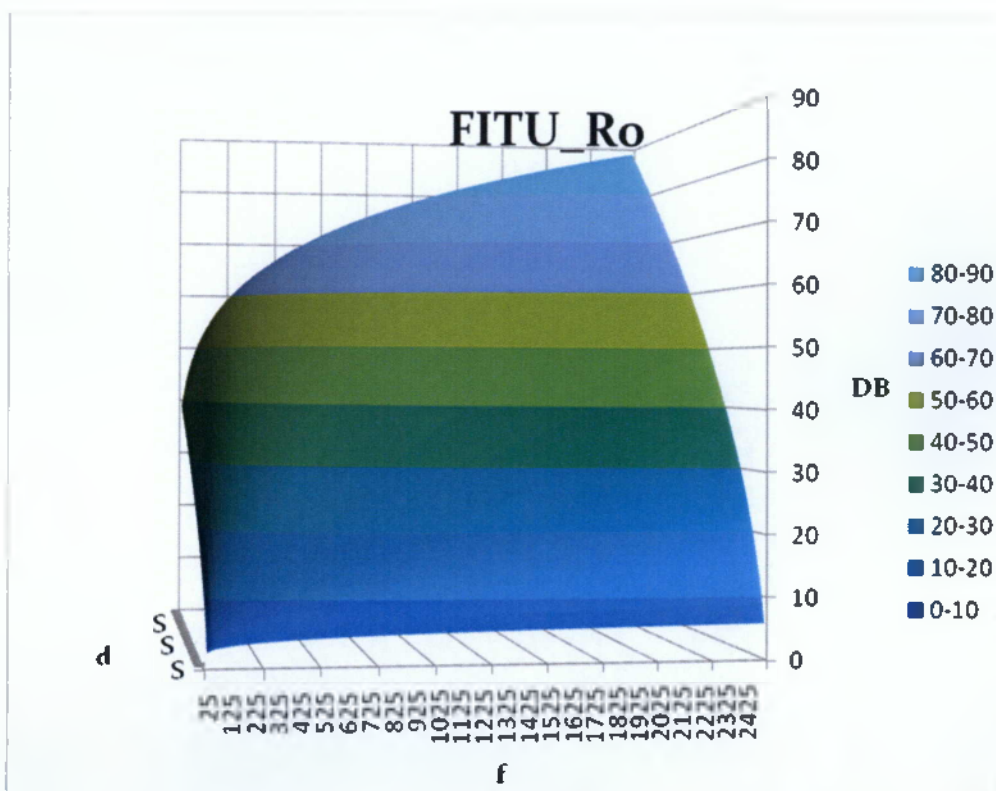
Η κύρια και σημαντική διαφορά με το πρότυπο FITU-R είναι ότι το LITU-R προβλέπει ότι το πλευρικό κύμα διαδίδεται κυρίως μέσα σε περιοχή χωρίς απώλειες λόγω αέρα και γίνεται ο κύριος παράγοντας σε σχετικά μεγάλα βάθη βλάστησης, κάτι το οποίο το FITU-R δεν προβλέπει για αυτό και έχει μειωμένη πρόβλεψη απώλειας. Όλα τα παραπάνω συντελούν στο να είναι το συγκεκριμένο μοντέλο ακριβές για την πρόβλεψη απώλειας λόγω φυλλώματος, για μεγάλο βάθος βλάστησης (πάνω από 5Km) στη ζώνη συχνοτήτων VHF για κοντά στο έδαφος σε δασικές περιοχές διάδοση ραδιοκυμάτων. Ελλείψει πειραματικών δεδομένων, παραμένει ακριβές για συχνότητες 200,240 και 300MHz, αλλιώς

για μεγαλύτερες συχνότητες η ακρίβεια του περιορίζεται για αποστάσεις μικρότερες των 1200m.

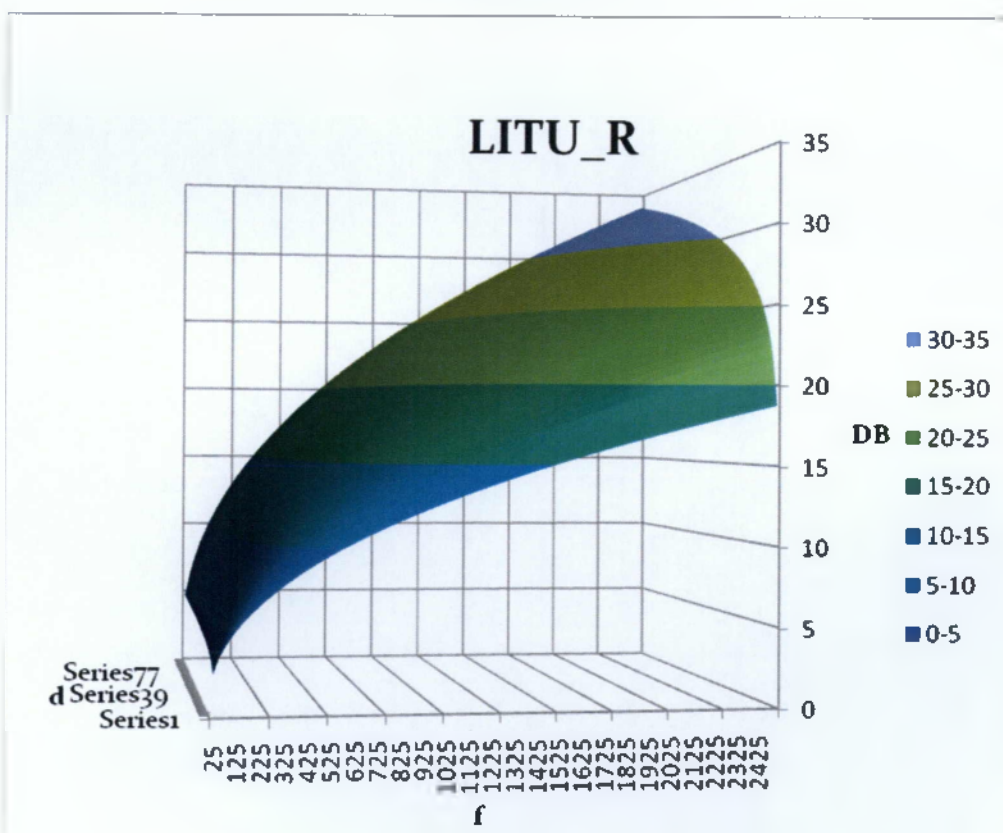
Παρατίθενται παρακάτω εικονικά κάποια από τα πρότυπα στα οποία αναφερθήκαμε συναρτήσει της συχνότητας και της απόσβεσης. Είναι τριών διαστάσεων γιατί όλα τα πρότυπα έχουν ως παράγοντα το βάθος της βλάστησης(d), όπως φαίνεται και στα διαγράμματα. Περιορίζεται στα 1000 m το βάθος βλάστησης γιατί μετά από αυτό το μήκος αρχίζουν να χάνουν την ακρίβεια τους τα πρότυπα, είτε γιατί δεν ανταποκρίνονται επαρκώς σε μεγαλύτερες συχνότητες, είτε γιατί δεν υπολογίζουν και άλλες παραμέτρους που εμφανίζονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Έτσι, μπορούμε να έχουμε καλύτερη άποψη για το ποιο πρότυπο μας εξυπηρετεί καλύτερα, εφόσον γνωρίζουμε την μέγιστη απόσβεση που θέλουμε να έχουμε. Τα δύο τελευταία διαγράμματα (σχήμα 4.47 και 4.48) μας δείχνουν τις επιδόσεις των FITU-Ri και FITU-Ro, αντίστοιχα, μαζί με τις απώλειες ελευθέρου χώρου.



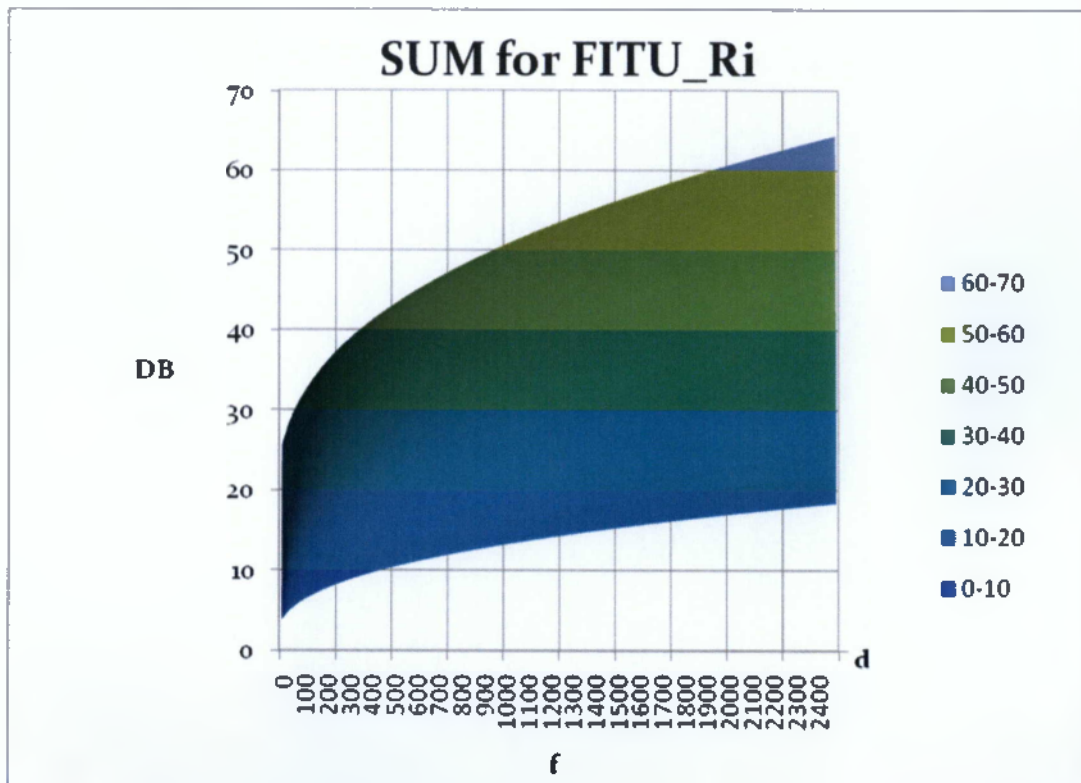
Σχήμα 4.44: Πρότυπο FITU-R για κατάσταση με φύλλωμα- η απόσβεση συναρτήσει της συχνότητας



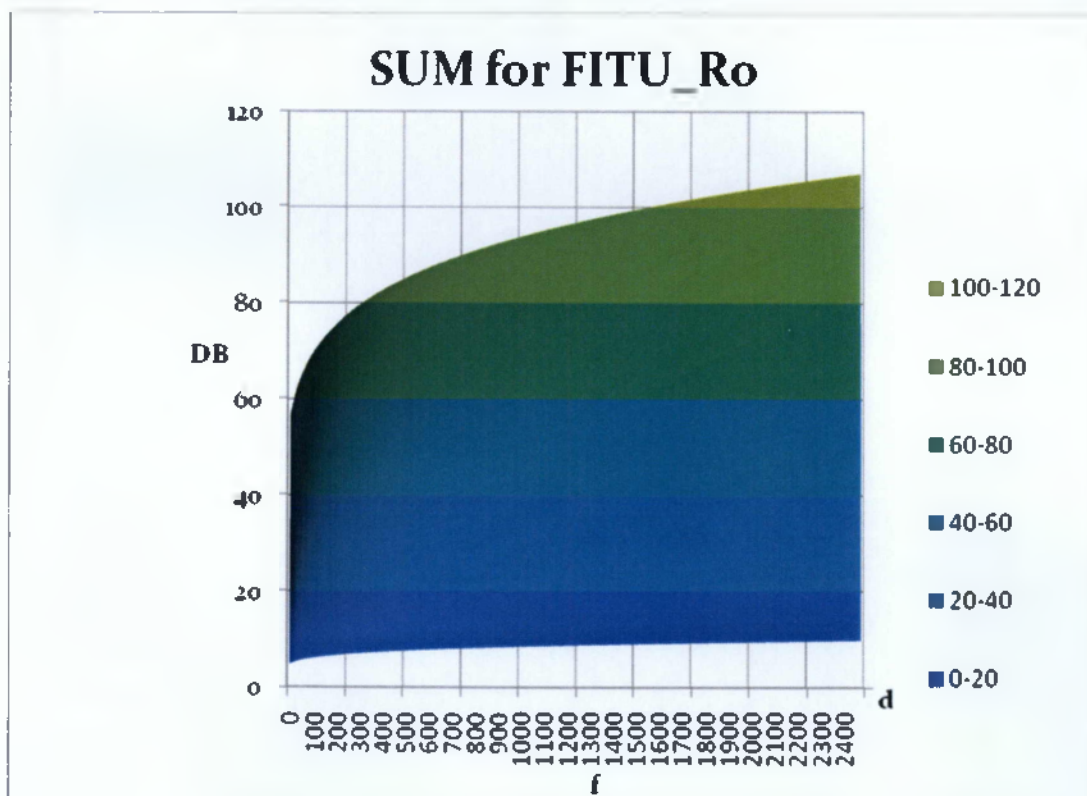
Σχήμα 4.45: Πρότυπο FITU-Ro για κατάσταση χωρίς φύλλωμα-η απόσβεση συναρτήσει της συχνότητας



Σχήμα 4.46: Πρότυπο LITU-R- η απόσβεση συναρτήσει της συχνότητας



Σχήμα 4.47: Παρουσιάζει την επίδοση του FITU-Ri μαζί με τις απώλειες ελευθέρου χώρου



Σχήμα 4.48: Παρουσιάζει την επίδοση του FITU-Ro μαζί με τις απώλειες ελευθέρου χώρου

4.9 Επιλογή προτύπου

Έχοντας για εξοπλισμό το MikroTik RouterOS πρέπει να επιλέξουμε τον κατάλληλο εξοπλισμό για την δημιουργία του δικτύου μας, ούτως ώστε να μπορεί να επιτευχθεί και πρακτικά η έρευνα μας. Εφόσον το MikroTik εκπέμπει στις συχνότητες 2.4GHz και 5GHz πρέπει αρχικά να επιλέξουμε ποιες κεραίες θα χρησιμοποιήσουμε και στον πομπό και στον δέκτη, για να υπολογίσουμε στη συνέχεια με βάση τα χαρακτηριστικά τους, το κέρδος και την απόσβεση, την μέγιστη ακτίνα κυψέλης του σταθμού βάσης που θα έχουμε. Εμείς θα εκλάβουμε το κέρδος της κεραίας (εκπομπής και λήψης) 5dB και σε συχνότητα 200-2500MHz. Θα χρησιμοποιήσουμε πολυκατευθυντικές κεραίες για να καλύψουμε μεγαλύτερη ακτίνα. Για να προσδιορίσουμε την κυψέλη μας, πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των κεραιών, του ενισχυτή και του δέκτη. Κάνουμε την επιλογή σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να έχουμε και εφόσον είναι συμβατό με το MikroTik, έτσι χρησιμοποιούμε την R52H MikroTik High Power 802.11a/b/g mPCI Adapter της Aerial. Λειτουργεί και στα 2.4 GHz και στα 5 GHz, με απαιτήσεις ενέργειας 3.3V +/- 10% DC, 400mA max και Tx Power / RX Sensivity στο IEEE 802.11g: 25dBm/-90dBm @ 6Mbps, 20dBm/-70dBm @ 54Mbps, αντίστοιχα. Δεδομένου ότι δεν μας ενδιαφέρει η ταχύτητα μετάδοσης, αλλά η απόσταση θα έχουμε για WiMAX στα 2.4 GHz, 25 dBm/-90dBm, ωστόσο οι μετρήσεις μας και η μελέτη που έχει γίνει αφορά όλο το φάσμα συχνοτήτων, από 50 έως 2500MHz. Οπότε, θα έχω 25 dBm, ως ισχύ στο πομπό μου. Δεν προσθέτω επιπλέον κέρδος ενισχυτή, γιατί θεωρητικά έχει συνυπολογιστεί στα χαρακτηριστικά της κάρτας που επιλέξαμε. Το λιγότερο που πρέπει να φτάσει στη κεραία λήψης για να λειτουργήσει η ζεύξη μας με βάση τα χαρακτηριστικά της είναι -90 dBm. Συνεπώς, καταλήγουμε ότι αφού φεύγει το σήμα μου με 25 dBm και πρέπει να φτάσει με τουλάχιστον -90 dBm, έχει περιθώριο απόσβεσης 115 dBm.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που επικρατούν στη χώρα μας, εκλαμβάνουμε ως πιο αξιόπιστο το πρότυπο FITU-R για τη συχνότητα των 240 MHz και εφόσον το βάθος βλάστησης δεν είναι μεγαλύτερο των 500 m, καθώς ορίζει διαφορετικά την απόσβεση όταν τα δέντρα έχουν φύλλωμα, από ότι όταν δεν έχουν. Αυτό είναι κάτι που με τη βλάστηση που επικρατεί στη χώρα μας, είναι σημαντικός παράγοντας και καλό είναι να συνυπολογίζεται. Επίσης, είναι το ίδιο αξιόπιστο και στα 700 MHz, καθώς για την ίδια

απόσταση, δεν παρουσιάζεται πλευρικό σήμα, ώστε να δημιουργεί παραπάνω απόσβεση. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο πρότυπο, θεωρείται ακόμα πειραματικό και μπορεί να μην επαληθεύεται απόλυτα στην πράξη για μεγαλύτερες αποστάσεις ή συχνότητες.

Για τους υπολογισμούς μας έχουμε τις παρακάτω μετατροπές:

$$115\text{dBm} \rightarrow 10000000 \text{ Watt} \rightarrow 85\text{dBW}$$

$$1 \text{ Watt} \rightarrow 30 \text{ dBm}$$

Οπότε, για να μετατρέψουμε από dB σε dBm, απλά προσθέτουμε 30.

$$115 \text{ dBm} \rightarrow 85\text{dBW} \rightarrow 85\text{dB}$$

Αριθμητικά, ακολουθώντας το πρότυπο FITU-R, θα λύσουμε ανάποδα τους τύπους, ώστε να προκύψει η μέγιστη δυνατή απόσταση, σύμφωνα με το όριο λειτουργίας του πομποδέκτη, όπως φαίνεται από τα χαρακτηριστικά του, για να καταλήξουμε να βρούμε την ακτίνα της κυψέλης. Οπότε βάση των προτύπων για συχνότητες $f_1=240\text{MHz}$ και $f_2=700\text{MHz}$ θα έχουμε:

$$L_{FITU-R}(dB)=85, f_1=240\text{MHz}, f_2=700\text{MHz}$$

$$L_{FITU-R}(dB) = \begin{cases} 0.37 \times f^{0.18} d^{0.59}, & \text{χωρίς φύλλωμα} \\ 0.39 \times f^{0.39} d^{0.25}, & \text{με φύλλωμα} \end{cases}$$

,οπότε λύνοντας ως προς d, θα βρούμε την ακτίνα της κυψέλης μας.

Για f_1 και χωρίς φύλλωμα:

$$L_{FITU-R}(dB) = 0.37 \times f_1^{0.18} (\text{MHz}) d(m)^{0.59}$$

$$85 = 0.37 \times 240^{0.18} \cdot d^{0.59}$$

$$229.73 \approx 2.7 \cdot d^{0.59}$$

$$d^{0.59} \approx 85.08$$

$$d \approx 85.08^{\frac{1}{0.59}}$$

$$d \approx 85.08^{1.7}$$

$$d=1908.56m$$

Αξίζει να παρατηρήσουμε εδώ ότι στον συγκεκριμένο τύπο και για τη δεδομένη συχνότητα, η ακτίνα της κυψέλης είναι ανάλογη αριθμητικής τιμής της λειτουργικής ισχύος του πομποδέκτη.

Για f_2 και χωρίς φύλλωμα:

$$L_{FITU-R}(dB) = 0.37 \times f_2^{0.18}(MHz)d(m)^{0.59}$$

$$85 = 0.37 \times 700^{0.18} \cdot d^{0.59}$$

$$229.73 \approx 3.3 \cdot d^{0.59}$$

$$d^{0.59} \approx 69.61$$

$$d \approx 69.61^{\frac{1}{0.59}}$$

$$d \approx 69.61^{1.7}$$

$$d=1356.88m$$

Για f_1 και με φύλλωμα:

$$L_{FITU-R}(dB) = 0.39 \times f_1^{0.39}(MHz)d(m)^{0.25}$$

$$85 = 0.39 \times 240^{0.39} \cdot d^{0.25}$$

$$217.94 \approx 8.5 \cdot d^{0.25}$$

$$d^{0.25} \approx 25.64$$

$$d \approx 25.64^{0.25}$$

$$d \approx 25.64^4$$

$$d=432187m$$

$$L_{FITU-R}(dB) = 0.39 \times f_z^{0.3} (MHz)^{0.3} d(m)^{0.25}$$

$$95 = 0.39 \times 700^{0.3} \cdot d^{0.25}$$

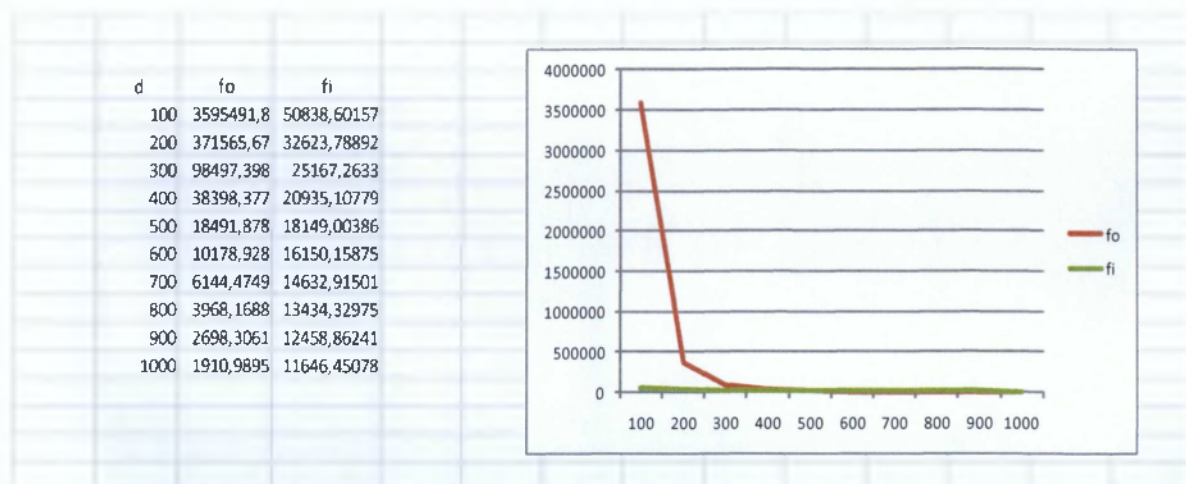
$$217.94 \approx 13 \cdot d^{0.25}$$

$$d^{0.25} \approx 16.76$$

$$d \approx 16.76^{0.25}$$

$$d = 16.76^4$$

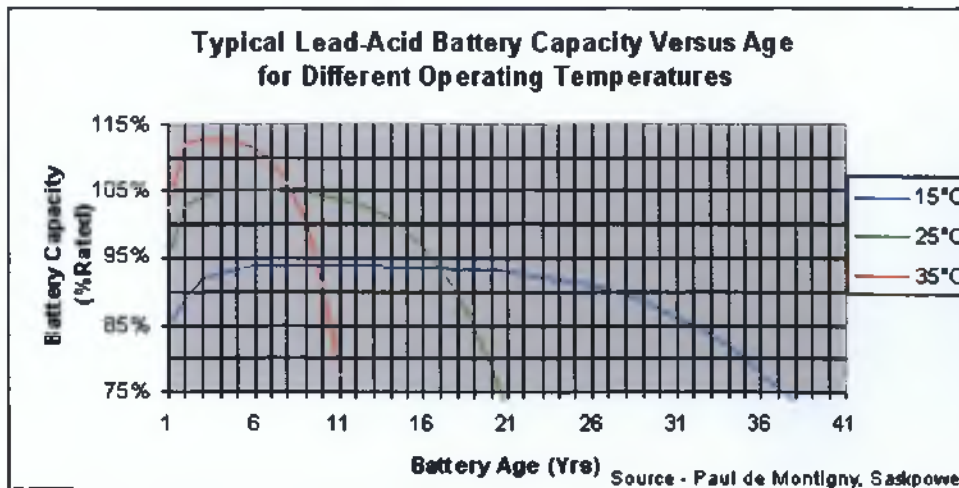
$$d = 78903m$$



Σχήμα 4.49: Καμπύλη των 85 dB συναρτήσεων απόστασης και συχνότητας.

A. Υπολογισμός διάρκειας ζωής και απόδοσης μπαταριών

Επίσης, μπορούμε να λάβουμε υπόψη τη διάρκεια ζωής των μπαταριών που φορτίζουν τους αισθητήρες και με αυτό τον τρόπο να συνυπολογίσουμε την πτώση τάσης από την μη φορτισμένη μπαταρία σε ποσοστό επί τοις εκατό. (%). Οι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση της μπαταρίας είναι η διάρκεια ζωής της, η χωρητικότητα της σε φορτίο NiMH, καθώς και η θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί. Μόνο κατόπιν μελέτης των χαρακτηριστικών αυτών μπορούμε να έχουμε μια σαφή εικόνα για το ποσοστό ισχύς που προσδίδουν οι μπαταρίες στους αισθητήρες και συνεπώς και στο σύστημα μας.



Σχήμα 4.50: Διάρκεια ζωής μπαταρίας συναρτήσει της φόρτισης της και για διαφορετικές θερμοκρασίες.

Κάνουμε την υπόθεση ότι εφόσον οι αισθητήρες τοποθετούνται από το μήνα Φεβρουάριο έως το μήνα Μάρτιο τότε η φόρτισή τους θα είναι στο 85%, ενώ το καλοκαίρι που δεν τις φορτίζει κανείς θα είναι στα δέντρα. Επιπλέον, αν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 45°C το φορτίο (NiMH) θα πέσει στο 60%. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να πέσει και η εκπομπή της ισχύος στο 60%, το οποίο σημαίνει ότι τα 25 dBm θα γίνονται 14dBm.

Άρα, συνολικά θα έχουμε $109 \text{ dBm} = 79 \text{ dB}$ ή $65 \text{ dBm} = 35 \text{ dB}$.

Συνοπλογίζοντας όλα τα παραπάνω, βγαίνουν τα παρακάτω συμπεράσματα, σύμφωνα με το διάγραμμα SUMo(Σχήμα 4.48):

Στα **35 dB** η καμπύλη μοιάζει με λογαριθμική:

- για 250 MHz έχουμε απόσταση 210 m
- για 700 MHz έχουμε απόσταση 170 m
- για 1000 MHz έχουμε απόσταση 150 m
- για 2400 MHz έχουμε απόσταση 130 m

Άρα σε γενικές γραμμές η ακτίνα της κυψέλης είναι 130-200 m για το χειρότερο σενάριο.

Στα **15 dB** η καμπύλη μοιάζει με $1/\chi$:

- για 250 MHz έχουμε απόσταση $\approx 900 \text{ m}$

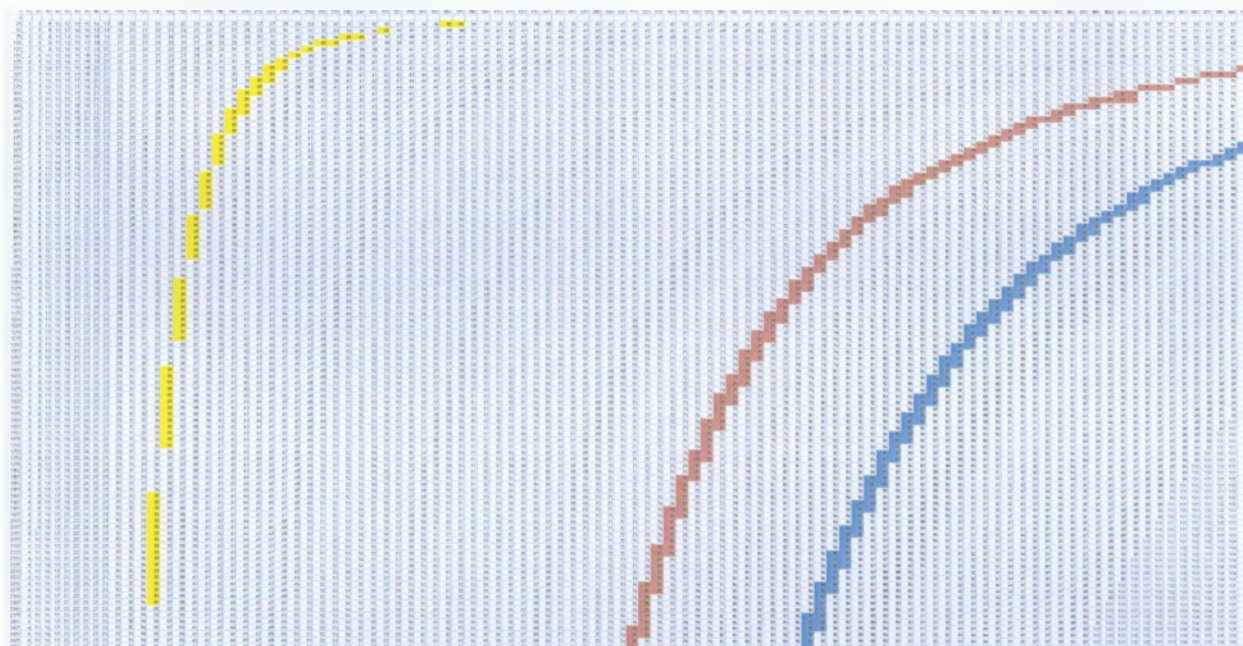
- για 700 MHz έχουμε απόσταση 700 m
- για 1000 MHz έχουμε απόσταση 650 m
- για 2400 MHz έχουμε απόσταση 220 m

Άρα σε γενικές γραμμές η ακτίνα της κυψέλης είναι 200-900 m για το ενδιάμεσο σενάριο.

Στα **85 dB** η καμπύλη μοιάζει με $1/\chi$:

- για 250 MHz έχουμε απόσταση 1900m
- για 700 MHz έχουμε απόσταση 920 m
- για 1000 MHz έχουμε απόσταση 800 m
- για 2400 MHz έχουμε απόσταση 650 m

Άρα σε γενικές γραμμές η ακτίνα της κυψέλης είναι από 600 έως 1000 m για το βέλτιστο σενάριο.



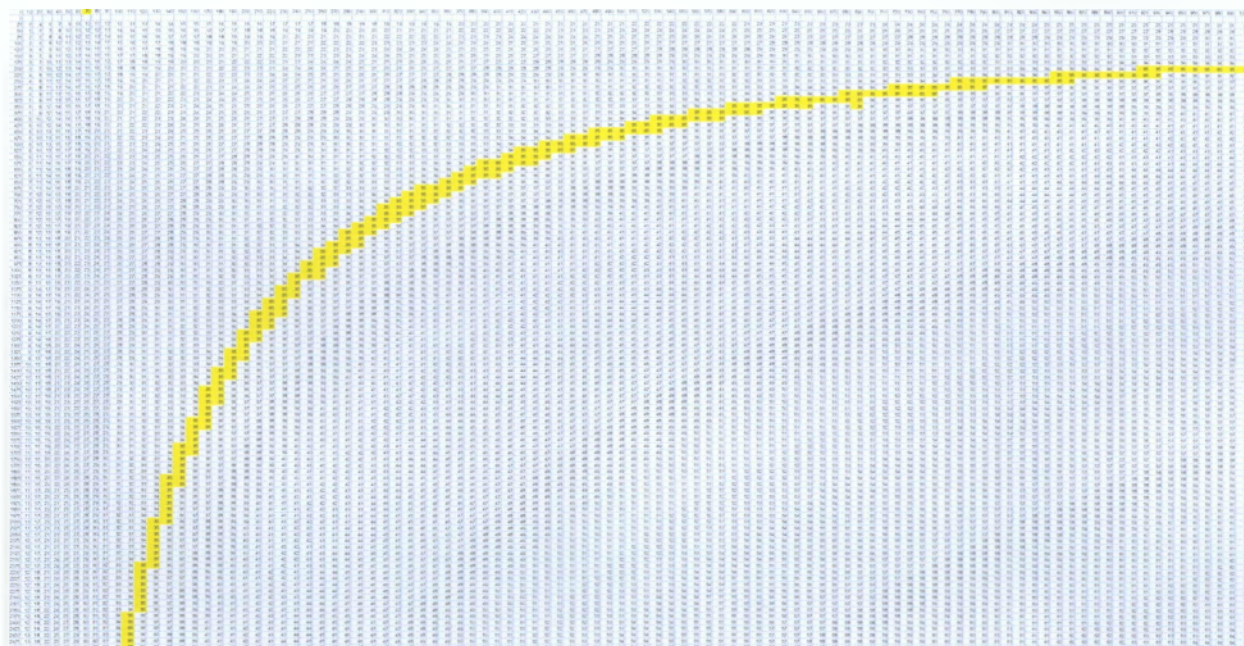
Σχήμα 4.51: Γραφική απεικόνιση των καμπύλων 35dB, 75dB και 85dB, αντίστοιχα, για συχνότητες από 250MHz έως 2400MHz.

Με βάση το διάγραμμα SUMi(Σχήμα 4.47) προκύπτουν τα παρακάτω:

Στα **35dB** η καμπύλη μοιάζει λογαριθμική:

- για 250 MHz έχουμε απόσταση από 770 έως 860m
- για 700 MHz έχουμε απόσταση ≈ 350 m
- για 1000 MHz έχουμε απόσταση 250 m
- για 2400 MHz έχουμε απόσταση 110 m

Άρα σε γενικές γραμμές η ακτίνα της κυψέλης είναι από 110 έως 860 m για το χειρότερο σενάριο.



Σχήμα 4.52: Γραφική απεικόνιση της καμπύλης των 35dB για συχνότητες από 250MHz έως 2400MHz.

B. Σχεδίαση κυψέλης

Αναφορικά με τα αποτελέσματα που βρήκαμε με τη παραπάνω έρευνα, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα, για μεταβλητά μεγέθη, συχνότητας και απόστασης, f και d αντίστοιχα, προκύπτει το εξής συμπέρασμα:

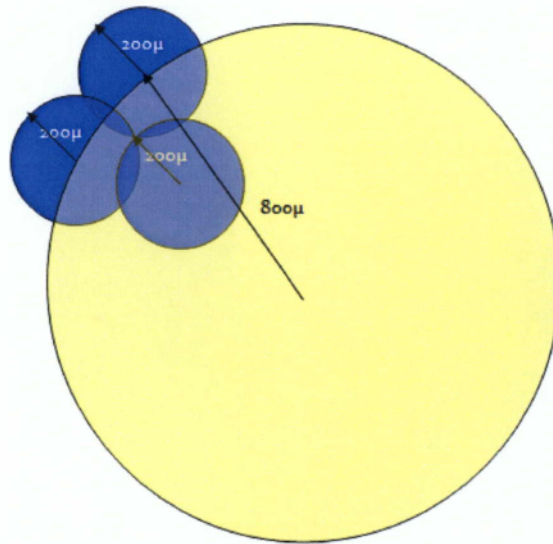
Οι ονομαστικές μέγιστες επιδόσεις των μοντέλων αυτών για δεδομένα(f και d) είναι εφικτές σε ιδανικές συνθήκες, οι οποίες επιτυγχάνονται σε περιβάλλον εργαστηριακό και όχι σε φυσικό. Στο φυσικό περιβάλλον υπάρχουν παράγοντες που τις επηρεάζουν

αρνητικά. Τέτοιοι παράγοντες, όπως έχουν αναφερθεί και παραπάνω, είναι η μορφολογία του εδάφους, η βλάστηση καθώς και οι κλιματολογικές συνθήκες. Ο συνδυασμός τους επηρεάζει δραματικά την πιθανότητα επιτυχίας των μοντέλων που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, μελετώντας ένα τέτοιο σύστημα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σενάριο χειρότερης περίπτωσης, το οποίο περιλαμβάνει ισχυρούς ανέμους με υψηλή θερμοκρασία. Στην περίπτωση αυτή, όχι μόνο τα μοντέλα μας έχουν μεγαλύτερη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές, αλλά και οι συσκευές που θα χρησιμοποιήσουμε έχουν μειωμένη απόδοση, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας στον τρόπο λειτουργίας τους.

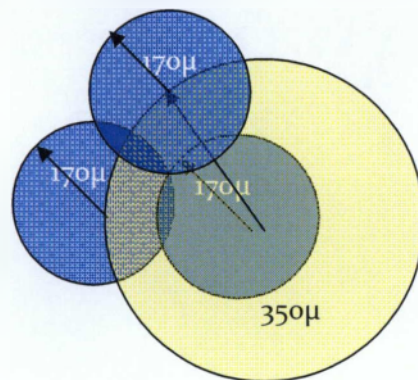
Είναι φυσικό επόμενο ότι εφόσον θέλουμε να εξασφαλίσουμε τη δυνατότητα ανίχνευσης σήματος αισθητήρα σε συνθήκες χειρότερου σεναρίου θα πρέπει να εκλάβουμε ως ακτίνα κυψέλης του σημείου προσπέλασης (AP) τα 130-200 m, ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας του αισθητήρα, για δέντρα χωρίς φύλλα καθώς και 110-800m αντίστοιχα, για δέντρα με φύλλα.

Για περαιτέρω βελτίωση της διαθεσιμότητας του συστήματος ενημέρωσης για πυρκαγιά θα πρέπει το δίκτυο των κυψελών να υπερκαλύπτεται ώστε εάν στην μία κατεύθυνση έχει φθάσει η φωτιά, οπότε τα δέντρα είναι χωρίς φύλλα και ενδεχομένως έχει καταστραφεί το σημείο προσπέλασης των σημάτων των αισθητήρων, να μπορεί να διαδοθεί το σήμα σε άλλη κατεύθυνση (που υπάρχουν φύλλα). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ακτίνα μιας κυψέλης μπορεί να είναι:

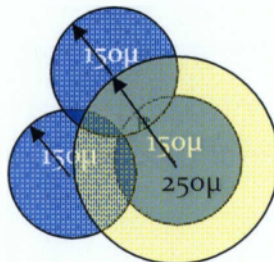
- για $f = 240\text{MHz}$ κατ ελάχιστο ίση με 200m με μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων προσπέλασης (AP) ίση με 800m



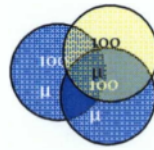
- για $f=700\text{MHz}$ κατ ελάχιστο ίση με 170m με μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων προσπέλασης (AP) ίση με 350m



- για $f=1000\text{MHz}$ κατ ελάχιστο ίση με 150m με μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων προσπέλασης (AP) ίση με 250m



- για $f=2400\text{MHz}$ κατ ελάχιστο ίση με 100m με μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων προσπέλασης (AP) ίση με 100m



Για τα παραπάνω υποτίθεται ότι όλη η έκταση καλύπτεται πλήρως από ισοδύναμες επιφάνειες κυψελών σημείων προσπέλασης. Με βάση αυτό προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση, το δίκτυο σημείων πρόσβασης περιλαμβάνει τόσα σημεία, όσα προκύπτουν από την μέγιστη ισοδύναμη επιφάνεια, άρα:

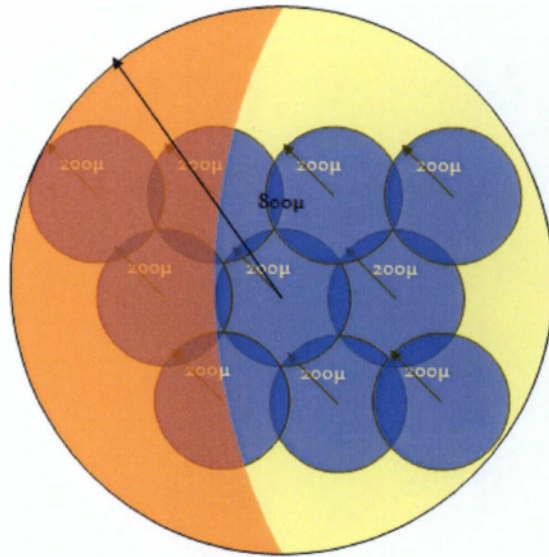
$$N=1, d=100$$

$$N=3, d=250$$

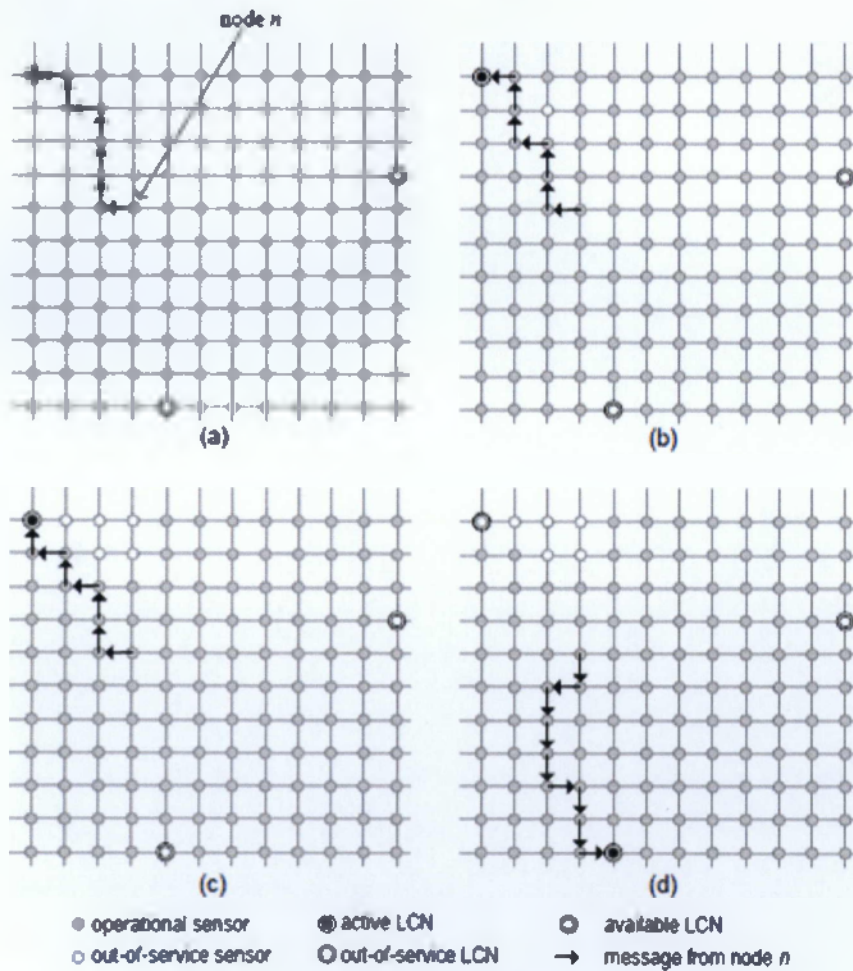
$$N=4, d=350$$

$$N=16, d=800$$

Συνεπώς, στις υψηλές συχνότητες χρειαζόμαστε ένα πολύ πυκνό δίκτυο σημείων πρόσβασης προκειμένου να διασφαλιστεί η μεταφορά της πληροφορίας. Το δίκτυο αυτό μεταφέρει την πληροφορία με ad-hoc μηχανισμό, δηλαδή με αναμετάδοση μεταξύ των σημείων πρόσβασης, λόγω του περιορισμού στην απόσταση μεταξύ τους. Αυτό συνεπάγεται καθυστερήσεις και ίσως και βρόχους από τα μεταφερόμενα σήματα. Στις χαμηλές συχνότητες μπορούμε να κάνουμε την ακόλουθη υπόθεση: σε περίπτωση πυρκαγιάς θα υπάρχει μια ζώνη καμένη και μία ζώνη άκαυτη, άρα θα υπάρχουν δέντρα με φύλλα και δέντρα χωρίς φύλλα. Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι οι συναγερμοί των αισθητήρων θα διαδίδονται στο δίκτυο των σημείων πρόσβασης με δύο ταχύτητες: (α) αργά μεταξύ των σημείων πρόσβασης που καίγονται και (β) γρήγορα μεταξύ των σημείων πρόσβασης που δεν έχουν καεί ακόμα, μιας και το σήμα στο φυσικό μέσο φτάνει μακρύτερα και χωρίς το χρονικό κόστος της ενδιάμεσης αναμετάδοσης.



Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δρομολόγηση μέσω εναλλακτικών διαδρομών, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.53: Δρομολόγηση μέσω εναλλακτικών διαδρομών

4.10 Δρομολόγηση

Για την δρομολόγηση των σημάτων συναγερμού μέσα από το δίκτυο θα πρέπει να διασφαλιστεί τόσο η διαθεσιμότητα όσο και ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η καθυστέρηση διάδοσης του συναγερμού. Για το λόγο αυτό εξετάζονται σειρά αλγορίθμων που επιλύουν το παραπάνω πρόβλημα.

4.10.1 Εκτατά δένδρα

Ένας υπογράφος T του G είναι εκτατό δένδρο (spanning tree) αν το T είναι δένδρο και περιέχει όλες τις ακμές του G . Ο προσδιορισμός του ελάχιστα εκτατού δένδρου για έναν γράφο G είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στην σχεδίαση τοπολογίας δικτύου και δρομολόγησης, χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι ο αλγόριθμος Kruskal και ο Αλγόριθμος Prim.

A. Αλγόριθμος KRUSKAL

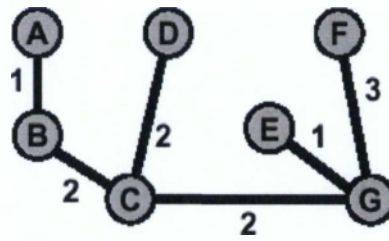
Με δεδομένο ένα συνδεδεμένο γράφο G αποσκοπεί στο να προσδιοριστεί ένα ελάχιστα εκτατό δένδρο. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Οι μικρές ακμές του G παίρνουν προτεραιότητα
2. Όλοι οι κόμβοι διακρίνονται ως ξεχωριστές οντότητες
3. Αν a είναι η υποψήφια ακμή για επιλογή τότε ενώνουμε τους κόμβους που έχει ως τελικά σημεία σε μια οντότητα και αυξάνουμε τον αριθμό των ακμών που έχουν επιλεχθεί
4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία ώπου να περιλαμβάνει $a-1$ ακμές.

Αποτέλεσμα αλγορίθμου KRUSKAL:

Βάρος $B(T)=11$

Η λύση δεν είναι μοναδική.



B. Αλγόριθμος PRIM

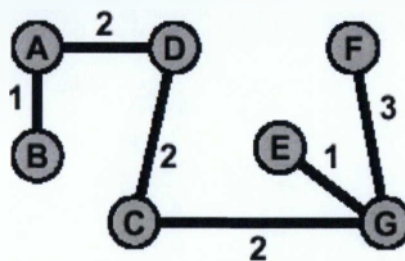
Με δεδομένο ένα συνδεδεμένο γράφο G αποσκοπεί στο να προσδιοριστεί ένα ελάχιστο εκτατό δένδρο. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Ξεκινάμε με ένα δένδρο που αποτελείται από ένα κόμβο χωρίς ακμές ($T_0(k, \emptyset)$)
2. Προσδιορίζουμε τον γειτονικό κόμβο του k που τους συνδέει με την ακμή που έχει την μικρότερη βαρύτητα και προσθέστε την ακμή στο δένδρο
3. Συνεχίζουμε μέχρι να συνδεθούν όλοι οι κόμβοι.

Αποτέλεσμα αλγορίθμου PRIM:

Βάρος $B(T)=11$

Η λύση είναι διαφορετική από την προηγούμενη.



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ KRUSKAL ΚΑΙ PRIM

- Αν ο γράφος G είναι ισοσταθμισμένος τότε και οι δύο αλγόριθμοι (Kruskal και Prim) οδηγούν σε ελάχιστο εκτατό δένδρο
- Το αποτέλεσμα δεν είναι μοναδικό
- Η διαδικασία προσδιορισμού του ελάχιστο εκτατού δένδρου δεν κλιμακώνεται
 - Καθόσον μεγαλώνει ο αριθμός κόμβων, μεταβάλλεται η διάταξη των ακμών και των ενδεχόμενων αναπηδήσεων

- Μεταβάλλεται η αναγκαιότητα από ελάχιστα εκτατά δένδρα σε δένδρα μικρότερης διαδρομής
- Γίνεται αναγκαία η διάταξη πλέγματος και όχι δένδρου

4.10.2 Δένδρα μικρότερης διαδρομής

Οι τοπολογίες που προσδιορίζονται με ελάχιστα εκτατά δένδρα οδηγούν σε μεγάλες ακολουθίες ζεύξεων και μακρόσυρτα μονοπάτια. Ο περιορισμός της διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων βασίζεται στα δένδρα μικρότερης διαδρομής

- I. Με δεδομένους τους κόμβους k_1, k_2 το μικρότερο μονοπάτι P ορίζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί το άθροισμα $\sum B(\alpha)$, $\alpha \in P$
- II. Με δεδομένο ένα ισοσταθμισμένο γράφο (G, B) και έναν κόμβο k_1 , το δένδρο T που έχει τον k_1 ως ρίζα λέγεται δένδρο μικρότερης διαδρομής όταν για κάθε άλλο κόμβο k_2 στο G η διαδρομή μεταξύ k_1 και k_2 στο T είναι η μικρότερη δυνατή.

Γ. Αλγόριθμος DIJKSTRA

Με δεδομένο ένα συνδεδεμένο γράφο και ένα κόμβο ως ρίζα αποσκοπεί στον προσδιορισμό του δένδρου ελάχιστης διαδρομής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

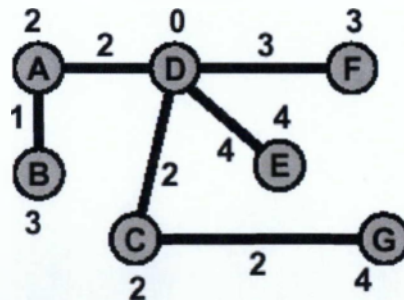
1. Σημειώνουμε όλους τους κόμβους ως «μη ελεγμένους» και προσδιορίζουμε τους ετικέτα ίση με ∞
2. Ορίζουμε την ετικέτα της ρίζας του δένδρου ίση με 0 και ως προηγούμενο τον εαυτό του
3. Επαναλαμβάνουμε την ακολουθία μέχρι εξαντλήσεως των κόμβων
 - I. Βρίσκουμε τον γειτονικό της ρίζας κόμβο k με το μικρότερο βάρος ενδιάμεσης ακμής και προσδίδουμε την τιμή στην ετικέτα
 - II. Σημειώνουμε τον κόμβο ως λεγμένο

III. Ελέγχουμε αν η ετικέτα των γειτονικών στον κ κόμβων είναι μεγαλύτερη από την απόσταση προς την ρίζα μέσω του κ. Τότε ενημερώνουμε την ετικέτα και συνεχίζουμε.

Αποτέλεσμα αλγορίθμου DIJKSTRA:

Οι ετικέτες προσδιορίζουν το βάρος του μονοπατιού ως την ρίζα.

Δεν αποτελεί ισοσταθμισμένο ελάχιστο εκτατό δένδρο.



Δ. Αλγόριθμος Πλησιέστερου Γείτονα

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Ορίζουμε τον τρέχοντα κόμβο ως ρίζα
2. Επαναλαμβάνουμε τα ακόλουθα βήματα ώσπου να ενταχθούν όλοι οι κόμβοι στο δακτύλιο
 - I. Βρίσκουμε τον πλησιέστερο κόμβο στον τρέχοντα που δεν ανήκει στον δακτύλιο(ονομάζεται βέλτιστος κόμβος)
 - II. Δημιουργούμε μια ακμή μεταξύ του τρέχοντος και του βέλτιστου κόμβου
 - III. Ορίζουμε τον βέλτιστο κόμβο ως τρέχοντα
3. Κλείνουμε τον δακτύλιο με μια ακμή από τον τρέχοντα κόμβο στον κόμβο ρίζα

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελεί προσεγγιστική λύση. Δεν αποτελεί κάθε φορά απαραίτητα και την λύση της ελαχιστοποίησης, ενώ αυξάνεται η πολυπλοκότητα με τον αριθμό των κόμβων (αριθμός αναπηδήσεων) και επιδεινώνονται τα αποτελέσματα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Τα ελάχιστα εκτατά δένδρα χαρακτηρίζονται από μεγάλη καθυστέρηση, αλλά έχουν χαμηλό κόστος.

Τα δένδρα μικρότερης διαδρομής έχουν μικρή καθυστέρηση και χρησιμοποίηση, αλλά τείνουν να έχουν υψηλότερο κόστος.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

5.1 Τρόπος λειτουργίας του QoS

Στον κόσμο των εναλλακτικών κυκλωμάτων, όπου υπάρχουν χρονοθυρίδες και χωρητικότητα του δικτύου που δεσμεύονται και εγγυώνται για κάθε σύνοδο τελικού χρήστη/πελάτη, το δίκτυο δεδομένων επιτρέπει να μοιράζονται οι πηγές του, χωρίς να δεσμεύει τη χωρητικότητα για κάθε τελικό χρήστη/πελάτη, ούτως ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Ωστόσο, το μειονέκτημα σε αυτό τον χειρισμό είναι ότι όλα τα είδη κίνησης δεδομένων αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο. Για να πραγματοποιηθεί διαφορετική υπηρεσία για κάθε τύπο δεδομένων που είναι προς μετάδοση, πρέπει να αποδοθούν διαφορετικά επίπεδα ποιότητας στο περιβάλλον της μεταγωγής πακέτου. Έτσι, όπως έχουμε πει και στο κεφάλαιο 1.3, τα διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας προσδιορίζουν την αντίστοιχη συμπεριφορά για τον μηχανισμό της κίνησης που θα προσπαθήσει να εγγυηθεί μόνιμα επίπεδα επίδοσης υπηρεσίας και να μεγιστοποιήσει την χρησιμοποίηση του δικτύου και να επιτύχει αποδοτικότητα. Αρχικά, ακολουθήθηκε η «αρχιτεκτονική ενοποιημένων υπηρεσιών» (**Integrated Services – IntServ**), την οποία περιγράφουμε στην επόμενη παράγραφο.

5.1.1 IntServ

Η λογική πίσω από την IntServ αρχιτεκτονική είναι ότι σε κάθε ροή δίνονται απόλυτες εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, για την πιθανότητα απωλειών, καθώς και για την καθυστέρηση, εφόσον η κίνηση για κάθε ροή υπακούει σε προκαθορισμένες παραμέτρους. Μία ροή καθορίζεται (στο IPv4) από τις IP διευθύνσεις πηγής και προορισμού, αριθμούς sockets και πρωτόκολλο μεταφοράς. Στο IPv6 υπάρχει ειδικό πεδίο γι' αυτό το σκοπό. Οι ροές αναφέρονται σε μία κατεύθυνση μόνο (σε αντίθεση με μια TCP

σύνδεση, που είναι διπλής κατεύθυνσης). Άρα, κάθε ροή μπορεί να σχετιστεί με μια τιμή ToS (Type Of Service), η οποία αναφέρεται στην ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί.

Πιο συγκεκριμένα, προτού κάποια εφαρμογή αρχίσει να στέλνει δεδομένα, στέλνει μία αίτηση στο δίκτυο αναφέροντας το προφίλ της κίνησής της, καθώς και τις απαιτήσεις που έχει σε χωρητικότητα και καθυστέρηση. Αν το δίκτυο αποφασίσει ότι διαθέτει τους απαραίτητους πόρους για την εξυπηρέτηση της εφαρμογής, απαντά ότι αποδέχεται την αίτηση και τότε μόνο μπορεί η εφαρμογή να αρχίσει να στέλνει.

Η δέσμευση των πόρων μπορεί να γίνει με ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο γι' αυτό το σκοπό, όπως το RSVP (Resource ReSerVation Protocol). Το RSVP είναι σε γενικές γραμμές αρκετά περίπλοκο. Απλώς αναφέρουμε ότι με τη χρήση του RSVP έχουμε τη δυνατότητα για τρεις διαφορετικούς τύπους λειτουργίας :

1. Εγγυημένο (Guaranteed),
2. Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load)
3. Βέλτιστης Προσπάθειας (Best – Effort)

Ο πρώτος, ουσιαστικά εξομοιώνει τη λειτουργία ενός νοητού κυκλώματος και παρέχει αυστηρά καθορισμένα όρια καθυστέρησης. Είναι κατάλληλος για υπηρεσίες πολυμέσων, όπου οι ενταμιευτές στους αποκωδικοποιητές είναι μικροί και έτσι τα καθυστερημένα πακέτα απορρίπτονται. Ο δεύτερος, ισοδυναμεί με best – effort σε συνθήκες μη φορτωμένου δικτύου. Ωστόσο, όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο, η ποιότητα υπηρεσίας των ροών αυτού του τύπου δεν επιδεινώνεται. Είναι κατάλληλος για εφαρμογές όπου είναι ανεκτή κάποια καθυστέρηση ή και απώλεια πακέτων (π.χ. η εφαρμογή Video on Demand) αρκεί ο δέκτης να διαθέτει ενταμιευτή με αρκετά μεγάλο μέγεθος. Υπηρεσίες αυτού του είδους ονομάζονται προσαρμοζόμενες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (adaptive real – time applications).

Η σχετική με το RSVP πληροφορία στέλνεται χωριστά από τα δεδομένα και μπορεί να βρίσκεται σε πακέτα IP με τιμή 46 για το πεδίο Protocol (native RSVP), ή να ενσωματώνεται σε πακέτα UDP (UDP – encapsulated). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου είναι η υποστήριξη δυναμικής μεταβολής της ποιότητας υπηρεσίας μίας συγκεκριμένης

ροής πακέτων, χωρίς να χρειάζεται κατάργηση και επανεκκίνηση της. Επίσης, ενδιαφέρον είναι το ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από την πλευρά του δέκτη και όχι αυτή του πομπού, κάτι που διευκολύνει την ύπαρξη συνόδων με μεγάλο αριθμό μελών, αλλά και την υποστήριξη διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας για τους διάφορους δέκτες της ίδιας συνόδου. Οι δεσμεύσεις αυτές είναι “soft”, δηλαδή πρέπει να ανανεώνονται περιοδικά από το δέκτη. Τέλος, να σημειώσουμε ότι, παρόλο που συνδέεται άμεσα με το IntServ μοντέλο, το RSVP μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες αρχιτεκτονικές.

Η IntServ αρχιτεκτονική παρέχει τις ισχυρότερες δυνατές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας. Ωστόσο, είναι φανερή η μεγάλη πολυπλοκότητα που εισάγει, καθώς όλοι οι ενδιαμέσοι δρομολογητές θα πρέπει να αποθηκεύουν πληροφορίες για κάθε ροή. Αυτό λοιπόν εγείρει αμφιβολίες για την δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής σε περίπτωση πολλών ροών. Εκτός αυτού, σημαντικό μειονέκτημα φαίνεται να είναι το επιπλέον φορτίο που εισάγουν στο δίκτυο οι μηχανισμοί δέσμευσης πόρων, όπως το RSVP. Για ροές μικρής χρονικής διάρκειας που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας, η IntServ προσέγγιση είναι ασύμφορη. Τέλος, παρόλο που η RSVP κίνηση μπορεί να διασχίζει και μη – RSVP δρομολογητές, κάτι τέτοιο οδηγεί σε υπηρεσία σχεδόν βέλτιστης προσπάθειας.

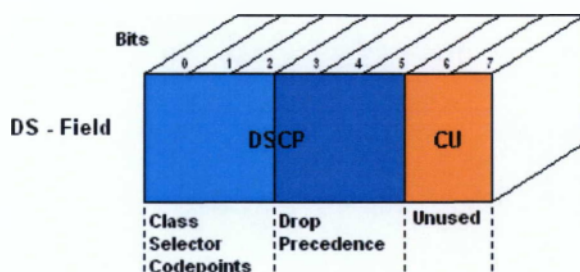
5.1.2 DiffServ

Η αρχιτεκτονική που προτάθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '90 αντί της IntServ, ονομάστηκε DiffServ (**D**ifferentiated **S**ervices – αρχιτεκτονική διαφοροποιημένων υπηρεσιών). Βασίζεται στην παρατήρηση ότι η μεγάλη κίνηση στον πυρήνα του δικτύου δεν αφήνει μεγάλα περιθώρια για πολύπλοκους μηχανισμούς QoS εκεί. Αντίθετα, αυτοί μπορούν να υλοποιηθούν στα άκρα του δικτύου, όπου η κίνηση είναι σαφώς μικρότερη. Έτσι, στα άκρα του δικτύου, ροές με παρόμοιες απαιτήσεις σε QoS ενοποιούνται σε λίγες, ευρύτερες κλάσεις κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο, στον πυρήνα του δικτύου ο υπολογιστικός φόρτος μειώνεται. Στον πρώτο δρομολογητή εμπιστοσύνης που συναντούν τα πακέτα (access router ή δρομολογητής πρόσβασης), γίνεται η αστυνόμευση (policing) και το σημάδεμα της κίνησης, ενώ στη συνέχεια οι ροές με παρόμοιες απαιτήσεις

αναμιγνύονται για τη δημιουργία κλάσεων. Πλέον, όλες οι διαδικασίες προώθησης και αστυνόμευσης γίνονται στο επίπεδο των κλάσεων. Οι διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης των διαφορετικών κλάσεων κίνησης στους κόμβους του δικτύου ονομάζονται PHB's (Per Hop Behavior). Πιο συγκεκριμένα, ο όρος PHB αναφέρεται στη χρονοδρομολόγηση πακέτων, τη διαχείριση ουρών, την αστυνόμευση ή τη μορφοποίηση κίνησης που μπορεί να εφαρμόσει ένας κόμβος σε μία κλάση κίνησης.

Η DiffServ αρχιτεκτονική προϋποθέτει την ύπαρξη των λεγόμενων SLAs (Service Level Agreements). Αυτές είναι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας μεταξύ προμηθευτών γειτονικών δικτύων που καθορίζουν το επίπεδο διαθεσιμότητας, επίδοσης κ.λ.π. της παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και το προφίλ κίνησης. Κίνηση επιπλέον από αυτή που καθορίζεται μέσω του SLA, είτε παύει να έχει εγγυήσεις, είτε προσθέτει επιπλέον κόστος, ανάλογα με όσα προδιαγράφονται στη συμφωνία. Το τεχνικό μέρος του SLA ονομάζεται SLS και περιλαμβάνει ένα σύνολο παραμέτρων και τις τιμές τους.

Το σημάδεμα της κίνησης γίνεται χρησιμοποιώντας το πεδίο DS, σύμφωνα με τη σύσταση RFC 2474 . Τα 8 bits του DS μπορούν να είναι είτε το ToS byte του IPv4 header, είτε το Traffic Class byte του IPv6. Όπως φαίνεται και στο **σχήμα 5.1**, χρησιμοποιούνται 6 bits από το DS, που αποτελούν το DSCP (DiffServ CodePoint), ενώ τα bits 6 – 7 μένουν προς το παρόν αχρησιμοποίητα.



Σχήμα 5.1: Το πεδίο DS

Οπότε, με αυτά τα 6 bits, θεωρητικά μπορούμε να διαχωρίσουμε την κίνηση σε $2^6 = 64$ διαφορετικές κλάσεις. Όλα τα πακέτα που έχουν την ίδια DSCP τιμή, λέμε ότι ανήκουν

σε μια «συσσωρευμένη συμπεριφορά» (BA – Behavior Aggregate). Γενικά, πέραν της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας, αυτή τη στιγμή υπάρχουν δύο ακόμα γενικές κλάσεις υπηρεσίας (για την ακρίβεια PHB's) :

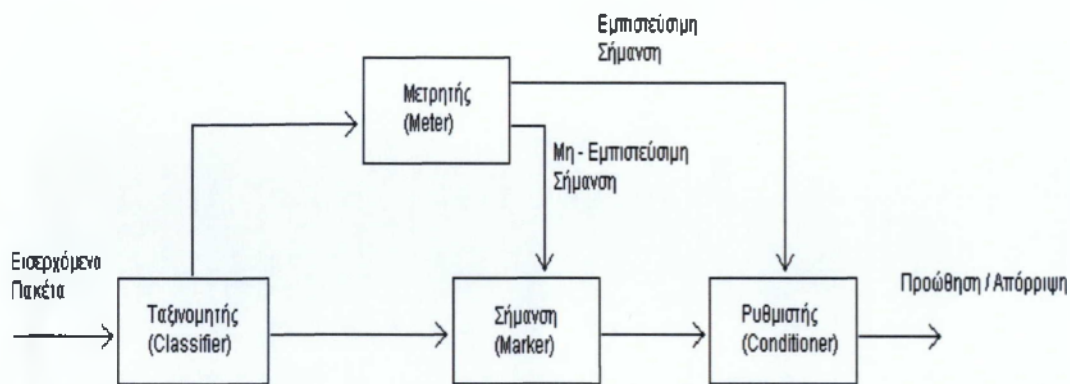
1. Η κλάση **Εσπευσμένης Προώθησης** (EF – Expedited Forwarding). Αντιστοιχεί στη DSCP τιμή '101110'. Η κλάση αυτή προσφέρει υπηρεσία χαμηλών απωλειών, χαμηλής καθυστέρησης και τρέμουλου. Ωστόσο, λόγω ακριβώς αυτής της υψηλής ποιότητας υπηρεσίας, η EF οδηγεί σε χαμηλή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου. Έτσι, προτιμάται να χρησιμοποιείται για συγκεκριμένα μόνο είδη υπηρεσιών, που απαιτούν αυστηρές εγγυήσεις ποιότητας, όπως π.χ. η υπηρεσία VoIP ή εμπορικές συναλλαγές μέσω διαδικτύου.
2. Η κλάση **Εξασφαλισμένης Προώθησης** (AF – Assured Forwarding). Μοιάζει με τη λειτουργία ελεγχόμενου φορτίου της IntServ αρχιτεκτονικής. Σε αυτή αντιστοιχούν συνολικά 12 κωδικοί DSCP. Με βάση τα bits 0 – 2 του DS octet, έχουμε τέσσερις διαφορετικές AF κλάσεις, ενώ για κάθε μία από αυτές υπάρχουν τρεις διαφορετικές προτεραιότητες απόρριψης, βάσει των bits 3 – 5. Έτσι, αν σε περίπτωση συμφόρησης χρειάζεται να απορριφθούν πακέτα από μια συγκεκριμένη AF κλάση, τότε τα πακέτα με μεγαλύτερη τιμή προτεραιότητας απόρριψης θα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να απορριφθούν. Για την κλάση AF, το DSCP πεδίο έχει τιμές της μορφής 'xyzab0', όπου τα xyz είναι '001', '010', '011' ή '100' (κλάσεις) και τα ab είναι '01', '10' ή '11' (προτεραιότητες απόρριψης). Αυτά φαίνονται καλύτερα στον πίνακα που ακολουθεί :

Προτεραιότητα Απόρριψης	Κλάση #1	Κλάση #2	Κλάση #3	Κλάση #4
Χαμηλή	001010	010010	011010	100010
Μέση	001100	010100	011100	100100
Υψηλή	001110	010110	011110	100110

Πίνακας 5.1 : DSCP τιμές για AF

Οι ροές εξασφαλισμένης προώθησης μπορούν να δανείζονται εύρος ζώνης από κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας (ή και από υψηλότερης, αν δεν έχουν κίνηση), όταν χρειάζεται. Η κλάση αυτή θεωρείται καταλληλότερη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα (π.χ. browsing).

Γενικά, οι δρομολογητές που υποστηρίζουν την DiffServ αρχιτεκτονική, εκτελούν τις παρακάτω ενέργειες (όχι απαραίτητα όλες – ανάλογα και με τον αν πρόκειται για συνοριακούς ή εσωτερικούς δρομολογητές) :



Σχήμα 5.2 : Λειτουργία DiffServ δρομολογητή

Ταξινομητής : Επιλέγει τα πακέτα βάσει κάποιου χαρακτηριστικού τους (π.χ. τιμή DSCP).

Μετρητής : Συλλέγει στατιστικά κίνηση, αλλά και ελέγχει αν η κίνηση υπακούει στα συμφωνηθέντα (βάσει του SLA). Προωθεί τις μετρήσεις στη μονάδα σήμανσης και στο ρυθμιστή για να εκτελέσουν τις απαραίτητες ενέργειες.

Μονάδα Σήμανσης : Προσθέτει τιμή DSCP ή αλλάζει την ήδη υπάρχουσα. Επίσης, μπορεί να αλλάξει από DSCP σε IP ToS ή αντίστροφα.

Ρυθμιστής : Εφαρμόζει τις PHBs που αναφέραμε νωρίτερα. Ο ρυθμιστής μπορεί να προσπαθήσει να ταιριάξει τη μορφή της κίνησης με αυτή που προδιαγράφεται στο SLA. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει είτε μέσω απόρριψης (drop) πακέτων, ή με μορφοποίηση

κίνησης (shaping). Η τελευταία επιτυγχάνεται με την καθυστέρηση ορισμένων πακέτων. Επίσης, αν αναφερόμαστε σε λειτουργία εισόδου, ο ρυθμιστής μπορεί να ελέγχει την αυθεντικότητα της κίνησης.

5.2 Σύγκριση IntServ – DiffServ / Συνδυασμός τους

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, μπορούμε να συνοψίσουμε τα χαρακτηριστικά των δύο αρχιτεκτονικών στον παρακάτω πίνακα :

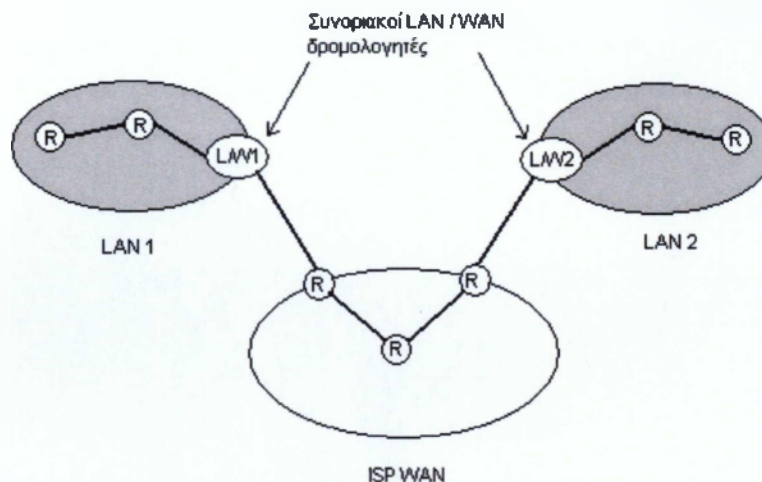
IntServ	DiffServ
Απόλυτες εγγυήσεις ανά ροή	Μη απόλυτες εγγυήσεις, για ομάδες ροών
Πολύπλοκες λειτουργίες σε κάθε δρομολογητή	Σχετική πολυπλοκότητα στους ακραίους δρομολογητές, απλούστερη λειτουργία στους ενδιάμεσους
Σηματοδοσία από δρομολογητή σε δρομολογητή	Δεν απαιτείται σηματοδοσία, αλλά ρυθμίσεις (configuration)
Μειωμένη δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability)	Εύκολη κλιμάκωση
QoS προσανατολισμένη σε σύνδεση (Connection Oriented)	QoS προσανατολισμένη σε πακέτα (Packet Oriented)

Πίνακας 5.2: Σύγκριση των IntServ και DiffServ αρχιτεκτονικών

Αναμένεται ότι η αρχιτεκτονική IntServ δε θα μπορέσει να εφαρμοστεί σε WAN (Wide Area Networks), ακριβώς επειδή δεν είναι κλιμακούμενη. Έτσι, η για ποιότητα υπηρεσίας σε αυτά τα δίκτυα, εναποτίθενται οι ελπίδες στην DiffServ αρχιτεκτονική. Αντίθετα, σε τοπικά εταιρικά δίκτυα (LAN) αναμένεται να χρησιμοποιηθεί – και ήδη χρησιμοποιείται – και το IntServ μοντέλο. Έτσι, τίθεται το εξής ερώτημα : Αν τα WAN βασίζονται στο DiffServ μοντέλο, ενώ τα LAN σε ένα μίγμα IntServ – DiffServ, πώς μπορεί

να προσφερθεί από άκρο σε άκρο ποιότητα υπηρεσίας, όταν ανάμεσα στον αποστολέα και στον παραλήπτη παρεμβάλλονται και οι δύο αρχιτεκτονικές ;

Αν το τερματικό υποστηρίζει DiffServ, τότε το πρόβλημα είναι σχετικά απλό. Αν όμως χρησιμοποιεί το IntServ μοντέλο, ενώ οι ISPs (Internet Service Providers) το DiffServ, τότε παρουσιάζεται πρόβλημα.



Σχήμα 5.3: Συνδυασμένη χρήση των IntServ και DiffServ αρχιτεκτονικών

Η κύρια στρατηγική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η εξής : Μέσα στο LAN 1, ή δέσμευση πόρων γίνεται κανονικά, μέσω του RSVP. Τα μηνύματα του RSVP (PATH και RESV) μετατρέπονται στο σύνορο L/W1 με τέτοιο τρόπο, ώστε να αγνοούνται από τους δρομολογητές του WAN. Όταν φτάσουν στο L/W2 επανέρχονται στην αρχική τους μορφή και η IntServ λειτουργία συνεχίζεται στο επόμενο τοπικό δίκτυο. Στη συνέχεια, όταν ένα πακέτο φτάνει στο σύνορο L/W1, τότε ο δρομολογητής το μαρκάρει ώστε να λάβει την απαραίτητη, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ροής, PHB. Στο άλλο σύνορο εκτελείται η αντίστροφη διαδικασία, έτσι ώστε το πακέτο να επεξεργαστεί σύμφωνα με αυτά που ορίζει το RSVP.

5.3 Χρονοδρομολόγηση

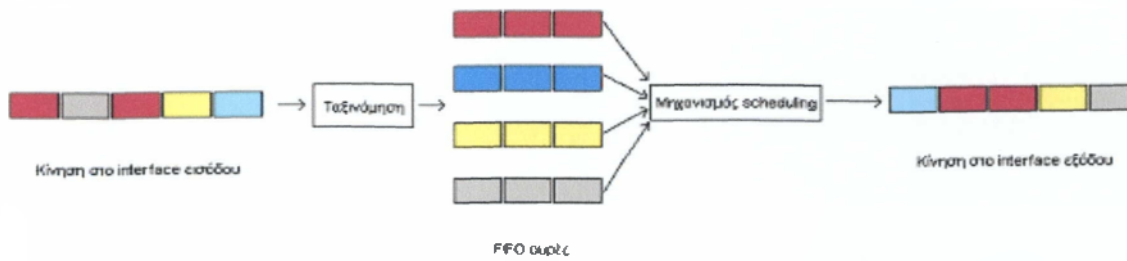
Βασικό μέρος οποιασδήποτε αρχιτεκτονικής που παρέχει QoS είναι η χρονοδρομολόγηση. Η χρονοδρομολόγηση γίνεται στα interfaces εξόδου των ενδιάμεσων κόμβων του δικτύου (δρομολογητές ή μεταγωγείς). Ο ρόλος της είναι να καθορίζει τη σειρά με την οποία τα πακέτα θα εξέλθουν από τον κόμβο. Συνήθως, υπάρχουν διαφορετικές ουρές για τα πακέτα που προέρχονται από διαφορετικές ροές, ή από ομάδες ροών (που έχουν π.χ. την ίδια τιμή ToS). Ο αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης θα πρέπει να εξυπηρετεί τα πακέτα των ουρών με τέτοια σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται δικαιοσύνη (fairness) μεταξύ τους. Η έννοια «δικαιοσύνη», όσο γενική και αν ακούγεται, έχει επικρατήσει να αφορά κάποιες συγκεκριμένες αρχές, στην περίπτωση αυτή. Μία ωραία, γενική, περιγραφή βρίσκουμε στο [25] :

Έστω ότι έχουμε το πρόβλημα της κατανομής ενός κοινού «αγαθού» (της χωρητικότητας στην περίπτωση μας) σε N χρήστες. Έστω μ_{total} η συνολική ποσότητα του αγαθού αυτού. Κάθε χρήστης ζητάει ποσότητα ρ_i από το αγαθό, και για μία συγκεκριμένη κατανομή παίρνει μ_i . Μία κατανομή είναι δίκαιη, όταν :

- 5.1 κανένας χρήστης δεν παίρνει μεγαλύτερη ποσότητα από όση ζητάει,
- 5.2 κανένα άλλο σχήμα δέσμευσης πόρων, που ικανοποιεί τη συνθήκη 1, δεν εξασφαλίζει υψηλότερη ελάχιστη δέσμευση (ελάχιστο μ_i ή μ_{min}) και
- 5.3 η συνθήκη 2 παραμένει αναδρομικά αληθής αν απομακρύνουμε το χρήστη που αντιστοιχεί στο μ_{min} και μειώσουμε αντίστοιχα τη συνολική ποσότητα του αγαθού, $\mu_{total} \leftarrow \mu_{total} - \mu_{min}$.

Συνοψίζοντας, στην απλούστερη περίπτωση όπου οι χρήστες έχουν ίδια δικαιώματα πάνω στο αγαθό : $\mu_i = \text{MIN}(\mu_{fair}, \rho_i)$, όπου μ_{fair} το «δίκαιο μερίδιο», με τέτοια τιμή ώστε

$$\mu_{total} = \sum_{i=1}^N \mu_i$$



Σχήμα 5.4 : Γενικό σχήμα χρονοδρομολόγησης

Στη γενική περίπτωση βέβαια, ορισμένοι χρήστες (ή πιο σωστά, οι ροές που αντιστοιχίζονται στις διάφορες ουρές) έχουν περισσότερα δικαιώματα ως συνέπεια των διαφορετικών απαιτήσεων QoS για τις διάφορες υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται. Έτσι, στις παραπάνω σχέσεις το μ_{fair} θα είναι διαφορετικό για κάθε χρήστη (ουρά). Κάποιες άλλες ιδιότητες που αφορούν τους αλγορίθμους χρονοδρομολόγησης παρατίθενται παρακάτω:

Απομόνωση ροών (flow isolation) : Αυτό σημαίνει ότι χρήστες, των οποίων η κίνηση παραβαίνει τα συμφωνηθέντα, δε θα πρέπει να επηρεάζουν αυτούς που υπακούουν. Αυτό επιτυγχάνεται με το χωρισμό της κίνησης σε διακριτές ουρές και εφαρμογή των κατάλληλων αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης.

Πολυπλοκότητα υλοποίησης : Δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι οι αλγόριθμοι που αναφέρουμε υλοποιούνται σε υλικό, μέσα στους δρομολογητές. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς στις εξόδους των interfaces αναφερόμαστε σε ρυθμούς μετάδοσης ακόμα και της τάξης των Gbit/sec. Έτσι, ένας αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης εκτός από το να είναι αποδοτικός, θα πρέπει και να προσφέρεται για σχετικά απλή υλοποίηση σε υλικό και μάλιστα να έχει δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) σε περίπτωση πολλών ροών.

Non Work – conserving / Shaping : Όταν ένας αλγόριθμος δεν είναι «work conserving», έχει τη δυνατότητα να κάνει το λεγόμενο shaping (μορφοποίηση), δηλαδή να αλλάξει το χρονικό συσχετισμό μεταξύ των πακέτων (όχι τη σειρά τους, μέσα σε μία συγκεκριμένη ουρά). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί το τρέμουλο για ευαίσθητες σ' αυτό ροές ή να έχουμε ελεγχόμενες τιμές καθυστέρησης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πολύ χρήσιμα για κίνηση πραγματικού χρόνου (real – time). Συνήθως ανατίθεται σε κάθε πακέτο ένας χρόνος, στον οποίο το πακέτο θα τοποθετηθεί στην έξοδο. Ο χρονοδρομολογητής παραμένει ανενεργός μέχρι να έρθει η σειρά του επόμενου πακέτου να μεταδοθεί.

Work – conserving : Ένας αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης χαρακτηρίζεται έτσι, όταν πάντα επιλέγει πακέτα για μετάδοση. Οι work-conserving χρονοδρομολογητές παρουσιάζουν τη χαμηλότερη μέση καθυστέρηση (στο σύνολο των ουρών). Επίσης, για όλους τους work-conserving αλγορίθμους, αυτή η καθυστέρηση είναι ίδια. Μείωση της καθυστέρησης για μία συγκεκριμένη ουρά επιβαρύνει κάποια / ες άλλες.

Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε σε ορισμένους από τους πιο διαδεδομένους αλγορίθμους χρονοδρομολόγησης. Αυτοί είναι οι : FIFO (First In First Out), WFQ (Weighted Fair Queueing), Priority Queueing, SCFQ (Self – Clocked Fair Queueing), GPS (Generalized Processor Sharing), WRR (Weighted Round Robin). Στις επόμενες παραγράφους θα ακολουθήσουμε το συμβολισμό που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Σύμβολο	Σημασία
i	Συμβολίζει μία ουρά
k	Μετρά τα πακέτα μίας ουράς
$A(p)$	Χρόνος άφιξης του πακέτου p
$S(p)$	Χρόνος που το p αρχίζει να εξυπηρετείται
$F(p)$	Χρόνος που ολοκληρώνεται η εξυπηρέτηση του p
L_i^k	Μέγεθος του πακέτου k της ουράς i
$B(t)$	Το σύνολο των ουρών που έχουν πακέτα

	τη χρονική στιγμή t
Γ_i	Ο δεσμευμένος ρυθμός εξυπηρέτησης της ουράς i
β_i	Ο εγγυημένος ρυθμός εξυπηρέτησης για την ουρά i

Πίνακας 5.3: Συμβολισμοί

5.4 FIFO (First In First Out)

Είναι γνωστός και ως FCFS (First Come First Served). Ο FIFO (πρώτο – μέσα – πρώτο – έξω) αλγόριθμος είναι ο παλαιότερος και μάλλον ο απλούστερος αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης. Σύμφωνα με αυτόν, τα πακέτα που έρχονται τοποθετούνται σύμφωνα με τη σειρά αφίξεώς τους σε μία κοινή ουρά (buffer – ενταμιευτής). Ο χρονοδρομολογητής επιλέγει κάθε φορά για αποστολή το πρώτο πακέτο της ουράς. Με αυτόν τον τρόπο, τα πακέτα εξυπηρετούνται βάσει του χρόνου αφίξεώς τους. Ο αλγόριθμος ανήκει στην κατηγορία των work – conserving αλγορίθμων και προφανώς έχει πολύ μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης. Ωστόσο, τα μειονεκτήματά του είναι αρκετά :

- Δεν προσφέρει καμία εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας (διέλευση, καθυστέρηση, τρέμουλο) για τις μεμονωμένες ροές κίνησης που εισέρχονται στο χρονοδρομολογητή. Ο μόνος τρόπος για την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης είναι η μείωση του μεγέθους του ενταμιευτή, αλλά τότε φυσικά αυξάνεται η πιθανότητα απώλειας πακέτου (τα επιπλέον πακέτα απορρίπτονται).
- Δεν προσφέρει ούτε δικαιοσύνη, ούτε απομόνωση ροών. Για παράδειγμα, ροές που στέλνουν συρμούς πακέτων (packet trains – πακέτα με ελάχιστη χρονική απόσταση μεταξύ τους) με αρκετά μεγάλο ρυθμό, θα μονοπωλήσουν τη χωρητικότητα. Δηλαδή ευνοούνται οι ροές με εκρηκτική (bursty) κίνηση.

Ο FIFO αλγόριθμος χρησιμοποιείται κατά κόρον, λόγω της μεγάλης απλότητάς του, καθώς και επειδή η επίδοσή του είναι ανεκτή για κίνηση βέλτιστης προσπάθειας. Ωστόσο, για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας είναι απαραίτητη η εισαγωγή πιο εξελιγμένων αλγορίθμων.

5.5 WFQ – Weighted Fair Queueing

Ο αλγόριθμος WFQ είναι μία προσέγγιση του GPS, η διαφορά του οποίου από τον GPS είναι ότι δεν εξυπηρετούνται απειροελάχιστες ποσότητες δεδομένων, αλλά ολόκληρα πακέτα. Πρωτοεμφανίστηκε το 1989 στο [25], όπου μάλιστα είχαμε και την εισαγωγή του όρου «δίκαιος» αλγόριθμος. Ο WFQ λοιπόν μοιράζει δίκαια τη χωρητικότητα ανάμεσα στις ουρές (όπως και στον GPS, κάθε ουρά i δεσμεύει και εδώ ένα μέρος της χωρητικότητας, g_i). Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι το μέσο μέγεθος των πακέτων δε χρειάζεται να είναι γνωστό εκ των προτέρων. Ο ίδιος ουσιαστικά αλγόριθμος αναφέρεται και ως PGPS (Packet by packet Generalized Processor Sharing). Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής :

Τα πακέτα χωρίζονται (βάσει κάποιου χαρακτηριστικού τους) σε διακριτές ουρές. Κάθε φορά που ένα πακέτο φτάνει σε μία ουρά, υπολογίζεται ο χρόνος που θα τέλειωνε η εξυπηρέτηση του πακέτου αν χρησιμοποιούνταν ο GPS χρονοδρομολογητής και το πακέτο μαρκάρεται με το χρόνο αυτό («εικονικός χρόνος ολοκλήρωσης εξυπηρέτησης»). Όποτε ο χροδρομολογητής πρέπει να στείλει κάποιο πακέτο (ο αλγόριθμος ανήκει στους non work – conserving), επιλέγει το πακέτο με τον μικρότερο χρόνο από αυτά που βρίσκονται στην κεφαλή (head) των ουρών. Με άλλα λόγια, ο WFQ εξομοιώνει τον GPS και χρησιμοποιεί τα αποτελέσματά του για να καθορίσει τη σειρά εξυπηρέτησης των πακέτων. Συνεπώς, τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής :

1. Έστω ότι η PGPS _{i} είναι μεταβλητή που συνδέεται με την ουρά i . Κατά την άφιξη του πακέτου k ,

$$(α) PGPS_i \leftarrow \max(\text{Virtual time}, PGPS_i) + L_i^k / g_i$$

$$(β) \text{ Μάρκαρε το πακέτο με την τιμή του } PGPS_i$$

2. Εξυπηρέτησε τα πακέτα με αυξανόμενη διάταξη μαρκαρισμένων χρόνων.

Όπως είπαμε, το μαρκάρισμα γίνεται βάσει ενός υποθετικού συστήματος που δουλεύει με τον GPS. Στις προηγούμενες γραμμές εμφανίστηκε η έννοια του «εικονικού χρόνου» (Virtual time), η οποία αλλού αναφέρεται και ως «ground number». Αυτή είναι μία συνάρτηση του πραγματικού χρόνου t , που αυξάνεται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο από το άθροισμα των g_i όλων των ενεργών ουρών του υποθετικού GPS συστήματος. Ο χρόνος αυτός ανανεώνεται με κάθε άφιξη πακέτου.

Όσον αφορά τον υπολογισμό του PGPS, χρειάζεται να ορίσουμε τι σημαίνει εδώ ενεργή ουρά, με βάση το συμβολισμό που έχει αναφερθεί. Μία ουρά θεωρείται ενεργή, όταν το πακέτο της με το μεγαλύτερο καθορισμένο χρόνο (ή αυτό που εξυπηρέτησε τελευταίο), έχει μεγαλύτερη τιμή χρόνου από τον εικονικό. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι τα πακέτα των ενεργών ουρών καθορίζονται με $PGPS_i + L_i^k / g_i$, ενώ αυτά των μη ενεργών με $Virtual\ time + L_i^k / g_i$. Από τις δύο τελευταίες προκύπτει και η γενική σχέση.

Αποδεικνύεται ότι σε ένα WFQ σύστημα, ένα πακέτο θα ολοκληρώσει την εξυπηρέτησή του, το πολύ κατά το χρόνο εξυπηρέτησης ενός πακέτου αργότερα, από ότι στο αντίστοιχο GPS σύστημα. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο ότι η εξυπηρέτηση των πακέτων θα ολοκληρωθεί με την ίδια που θα γινόταν στο GPS. Αυτό συμβαίνει γιατί η εξυπηρέτηση των πακέτων γίνεται βάσει του χρόνου ολοκλήρωσης εξυπηρέτησης των πακέτων και όχι του χρόνου άφιξης. Έτσι, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα όρια καθυστέρησης του WFQ ενδέχεται να είναι απρόβλεπτα. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι τα πλεονεκτήματα του WFQ είναι τα εξής :

- Προσφέρει καλή απομόνωση (firewall) μεταξύ χρηστών με καλή συμπεριφορά (well – behaved) και αυτών που δεν τηρούν τη συμφωνία τους (ill – behaved).
- Προσφέρει δίκαιη κατανομή της χωρητικότητας, με βάρη για κάθε ουρά.

Υπάρχουν παρ' όλα αυτά και σοβαρά μειονεκτήματα του αλγορίθμου :

- Ο συνεχής (σχεδόν ανά msec) υπολογισμός του εικονικού χρόνου, εισάγει μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα και καθυστέρηση που ίσως να μην είναι ανεκτή σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων.

- Το ότι κρατούνται πληροφορίες για κάθε πακέτο κάθε ουράς ξεχωριστά εισάγει προβλήματα κλιμάκωσης.
- Μη εγγυημένη καθυστέρηση.

5.6 Priority Queueing

Ο αλγόριθμος Priority Queueing (διαχείριση ουρών με προτεραιότητες) είναι μία επίσης απλή προσέγγιση, στην οποία γίνεται προσπάθεια να δοθούν εγγυήσεις υπηρεσίας σε ορισμένες κατηγορίες ροών. Σε αντίθεση με τον FIFO, εδώ η κίνηση ταξινομείται σε διακριτές ουρές (η ταξινόμηση μπορεί να γίνει βάσει διαφόρων χαρακτηριστικών των ροών), σε καθεμία από τις οποίες ανατίθεται μία διαφορετική τιμή προτεραιότητας. Ο χρονοδρομολογητής ελέγχει αν υπάρχουν πακέτα στην ουρά υψηλότερης προτεραιότητας. Για όσο κάτι τέτοιο ισχύει, βγάζει στην έξοδο πακέτα μόνο από αυτή την ουρά. Αν αυτή αδειάσει, τότε ελέγχει την ουρά της αμέσως χαμηλότερης προτεραιότητας κ.ο.κ. . Σε κάθε ουρά ξεχωριστά, η εξυπηρέτηση γίνεται με FIFO αλγόριθμο. Όπως ο FIFO, και αυτός ο αλγόριθμος είναι work – conserving και προσφέρεται για απλή υλοποίηση σε υλικό.

Ως πλεονεκτήματα του αλγορίθμου μπορούμε να θεωρήσουμε τα εξής :

- Με την ανάθεση απαιτητικών ροών κίνησης (π.χ. πραγματικού χρόνου) στην ουρά υψηλής προτεραιότητας, μπορούμε να επιτύχουμε γι' αυτές εξαιρετική ποιότητα υπηρεσίας.
- Σε περιόδους συμφόρησης, τα απαραίτητα μηνύματα ελέγχου μπορούν να έχουν ανατεθεί στην ουρά υψηλής προτεραιότητας για εξασφαλισμένη γρήγορη μετάδοση.

Παρ' όλα αυτά, το priority queueing παρουσιάζει κάποια πολύ σημαντικά μειονεκτήματα:

- Ο αλγόριθμος δεν είναι δίκαιος, ούτε προσφέρει απομόνωση ροών. Αν οι ροές υψηλής προτεραιότητας στέλνουν συνεχώς, η καθυστέρηση για τις

5.7 SCFQ – Self – Clocked Fair Queueing

Ο αλγόριθμος SCFQ προσπαθεί να κρατήσει τα πλεονεκτήματα του WFQ, αποφεύγοντας τα κύρια αρνητικά χαρακτηριστικά του, που είναι η εξομοίωση ενός υποθετικού GPS συστήματος. Τα βήματα του αλγορίθμου μοιάζουν πολύ με αυτά του WFQ:

1. Μάρκαρε με μία τιμή κάθε πακέτο που έρχεται.
2. Εξυπρέτησε τα πακέτα με αύξουσα σειρά των τιμών αυτών.

Η διαφορά του SCFQ σε σχέση με τον WFQ, είναι στο πώς ακριβώς γίνεται το μαρκάρισμα των πακέτων. Αν ονομάσουμε F_i^k την τιμή με την οποία μαρκάρεται το πακέτο k της ουράς i , και A_i^k τον (πραγματικό) χρόνο άφιξης του πακέτου k στην ουρά i , τότε έχουμε :

$$F_i^k = \max (F_i^{k-1}, v(A_i^k)) + L_i^k / r_i \quad (1.13)$$

Η νέα προσθήκη του SCFQ είναι η συνάρτηση $v(t)$, η οποία με μία έννοια υποκαθιστά τον εικονικό χρόνο. Η συνάρτηση αυτή, δίνει την τιμή με την οποία είναι μαρκαρισμένο το πακέτο το οποίο εξυπηρετείται κατά τη χρονική στιγμή t . Έτσι, παρακάμπτεται το πρόβλημα της ύπαρξης ενός καθολικού χρόνου που θα ανανεώνεται συνεχώς. Η συνάρτηση $v(t)$ αυξάνει μόνο όποτε ένα πακέτο επιλέγεται για εξυπρέτηση από κάποια ουρά. Όποτε όλες οι ουρές αδειάσουν, ο αλγόριθμος αρχικοποιείται ξανά θέτοντας στην τιμή 0 τη συνάρτηση $v(t)$ και τους μετρητές πακέτων k .

Επίσης, έχει προταθεί τρόπος με τον οποίο το μαρκάρισμα ενός πακέτου μπορεί να αναβληθεί μέχρι αυτό να φτάσει στην κεφαλή της ουράς. Αυτό απλοποιεί πολύ την υλοποίηση του αλγορίθμου, αφού μπορεί να διατηρείται μία μόνο F τιμή ανά ουρά, αντί για μία ανά πακέτο.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι τα πλεονεκτήματα του SCFQ είναι :

- Προσφέρει απομόνωση μεταξύ των χρηστών.
- Εμφανίζει πολύ μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα από τον WFQ, ενώ διατηρεί αρκετά από τα πλεονεκτήματα του τελευταίου.

Τα μειονεκτήματα που μπορούμε να αναφέρουμε είναι :

- Εμφανίζει ακόμα χειρότερη συμπεριφορά από τον WFQ όσον αφορά την καθυστέρηση.
- Είναι «άδικος» αλγόριθμος, για μικρά χρονικά διαστήματα

5.8 GPS – Generalized Processor Sharing

Ο αλγόριθμος αυτός είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να προσφέρει ιδανική απομόνωση ροών και την απαιτούμενη δικαιοσύνη. Οι ροές (ή ομάδες ροών) χωρίζονται σε διακριτές ουρές. Κάθε ουρά λαμβάνει εξασφαλισμένα ένα προσυμφωνημένο ποσοστό από τη συνολική χωρητικότητα της γραμμής εξόδου, ενώ οι χρήστες που δεν τηρούν τα συμφωνηθέντα δεν επηρεάζουν τους υπόλοιπους (απλά επιβαρύνουν τις ουρές τους).

Η βασική αρχή του GPS είναι ότι «στέλνει ένα απειροελάχιστα μικρό ποσό δεδομένων από κάθε ουρά, έτσι ώστε σε κάθε πεπερασμένο διάστημα να έχει επισκεφθεί κάθε ουρά τουλάχιστον μία φορά» [28]. Όλες οι ουρές δηλαδή εξυπηρετούνται ταυτόχρονα. Ο αλγόριθμος είναι προφανώς work – conserving. Η χωρητικότητα της γραμμής μοιράζεται στις ουρές που έχουν τουλάχιστον ένα πακέτο για μετάδοση (μπορούμε να τις ονομάσουμε ενεργές), αναλογικά με τους ρυθμούς που έχουν συμφωνηθεί για κάθε μία. Έτσι, σε κάθε ουρά έχουμε τον εξασφαλισμένο ρυθμό :

$$g_i = \frac{r_i}{\sum_B r_j} \cdot C \quad (1.14)$$

, όπου C η χωρητικότητα της γραμμής εξόδου.

, όπου C η χωρητικότητα της γραμμής εξόδου.

Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι κάθε ουρά εξυπηρετείται με ρυθμό τουλάχιστον ίσο με αυτόν που έχει συμφωνηθεί. Επίσης, η αναλογία των πραγματικών ρυθμών μεταξύ των διάφορων ενεργών ουρών, σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, ισούται με την αντίστοιχη αναλογία των δεσμευμένων ρυθμών τους. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει λοιπόν ο GPS είναι τα εξής :

- Μπορούμε να έχουμε εγγυήσεις διέλευσης για κάθε ουρά.
- Η καθυστέρηση κάθε ουράς φράζεται μόνο από το μήκος της και τον συμφωνηθέντα ρυθμό για αυτήν ($\leq l / r_i$, αν l το μέγιστο μήκος της ουράς) και δεν εξαρτάται από τα μήκη των υπολοίπων ουρών και τις αφίξεις σε αυτές.
- Οι διαθέσιμοι πόροι μοιράζονται ανάμεσα στις ουρές με προκαθορισμένο τρόπο.

Ωστόσο, όπως έχει ήδη φανεί, ο GPS προϋποθέτει δύο βασικές παραδοχές:

- Πολλές ουρές μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα
- Η κίνηση μπορεί να προσφέρεται σε απειροελάχιστα μικρές ποσότητες

Είναι προφανές ότι καμία από τις συνθήκες που ο GPS προϋποθέτει δεν ικανοποιείται στα πραγματικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Συνεπώς ο αλγόριθμος δεν είναι υλοποιήσιμος. Με αυτή την έννοια, ο GPS μπορεί να θεωρηθεί ως ένας «αλγόριθμος αναφοράς», βάσει του οποίου μπορούν να σχεδιαστούν άλλοι αλγόριθμοι και να αξιολογηθούν σε σχέση με αυτόν.

5.9 WRR – Weighted Round – Robin

Γενικά, η λογική πίσω από τους round – robin αλγόριθμους χρονοδρομολόγησης, είναι ότι ο χρονοδρομολογητής επισκέπτεται κυκλικά όλες τις ουρές και εξυπηρετεί ένα ποσό δεδομένων από καθεμία. Αν κάποια ουρά είναι άδεια, την παρακάμπτει και

προχωρά στην επόμενη. Όταν από κάθε ουρά εξυπηρετούνται διαφορετικές ποσότητες δεδομένων (δηλαδή έχουμε διαφορετικούς εγγυημένους ρυθμούς για κάθε ουρά) σε έναν κύκλο του δρομολογητή, τότε αναφερόμαστε σε round – robin με βάρη, ή απλά WRR. Οι ποσότητες αυτές μπορεί να ορίζονται σε πακέτα (packet – WRR) ή σε bytes (byte – WRR).

Θα τον συναντήσουμε αλλιώς και ως αλγόριθμο Custom Queueing, όπου τα βάρη ρυθμίζονται ως bytes (bytecount) τα οποία εξυπηρετεί ο χρονοδρομολογητής από κάθε ουρά, σε έναν κύκλο. Αν κατά τη διάρκεια της αποστολής ενός πακέτου ξεπεραστεί το bytecount, τότε η αποστολή του τρέχοντος πακέτου θα ολοκληρωθεί, πριν μετακινηθούμε στην επόμενη ουρά.

Τα πλεονεκτήματα του WRR είναι τα παρακάτω :

- Είναι πολύ εύκολος στην υλοποίηση.
- Προσφέρει ένα στοιχειώδες μοίρασμα της χωρητικότητας μεταξύ των ουρών.
- Εξασφαλίζει ότι καμία ουρά δε θα «λιμοκτονήσει» (εφόσον σίγουρα εξυπηρετείται κάποιο ποσό δεδομένων από κάθε ουρά), κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιόδους συμφόρησης.
- Είναι πολύ καλή προσέγγιση του GPS, όταν οι ουρές έχουν ίδια βάρη και ίδια μεγέθη πακέτων (στην περίπτωση του packet – WRR).

Βέβαια, υπάρχουν και τα μειονεκτήματα :

- Στην πράξη, τα μεγέθη των πακέτων είναι απρόβλεπτα, κάτι που δυσκολεύει τη δίκαιη δέσμευση χωρητικότητας για τις ουρές.
- Σε μικρές χρονικές περιόδους ο αλγόριθμος δεν είναι δίκαιος (κάποιες ουρές μπορεί να εξυπηρετηθούν περισσότερο σε έναν κύκλο).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Χαρακτηριστικά ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων για τη μοντελοποίηση προβλημάτων διάδοσης

A.1 Χάρτες βροχής (rainmaps)

Ο διεθνής τηλεπικοινωνιακός οργανισμός ITU-R πρότεινε ένα μοντέλο για να μπορεί να παράγει κανείς το ρυθμό βροχόπτωσης που υπερβαίνεται για ένα δεδομένο ποσοστό του συνολικού χρόνου για μια δεδομένη τοποθεσία. Ως εκ τούτου προτάθηκαν οι λεγόμενοι χάρτες βροχής (rainmaps), στους οποίους θεωρείται ότι η Γη έχει χωριστεί σε τετραγωνάκια με εμβαδόν $1.5^\circ \times 1.5^\circ$. Το πλέγμα του γεωγραφικού πλάτους (latitude) είναι από $+90^\circ$ Βόρεια έως -90° Νότια με βήμα 1.5° ενώ το πλέγμα του γεωγραφικού μήκους (longitude) είναι 0° έως 360° με το ίδιο βήμα. Για κάθε ένα από αυτά τα σημεία παρουσιάζονται τιμές για ορισμένες παραμέτρους οι οποίες αναφέρονται σε 15 χρόνια δεδομένων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μέσης Κλίμακας Πρόγνωσης Καιρικών Συνθηκών (European Center of Medium-range Weather Forecast, ECMWF) και παρέχονται με μορφή αρχείων κειμένου. Οι παράμετροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι:

$P_{r,0}$ (%): πιθανότητα υπέρβασης εξάωρων βροχερών περιόδων

M_C (mm): ετήσιο ποσό βροχόπτωσης τύπου συνεκτικών βροχοπυρήνων (convective-type rain)

M_S (mm): ετήσιο ποσό βροχόπτωσης στρωσιγενούς τύπου (stratiform-type rain)

Τα αρχεία αυτά παρέχονται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Ένωση- ESA (European Space Agency) και έχουν τις παρακάτω ονομασίες ESARAINPR6.TXT, ESARAIN_MC.TXT και ESARAIN_MS.TXT.

Ο υπολογισμός του ρυθμού βροχόπτωσης που υπερβαίνεται για ένα δεδομένο ποσοστό του συνολικού χρόνου για μια δεδομένη τοποθεσία γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός των παραμέτρων P_{r6} , M_C και M_S για τέσσερα σημεία των οποίων οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι οι πιο κοντινές στις γεωγραφικές συντεταγμένες της επιθυμητής τοποθεσίας.

Βήμα 2: Από τις παραπάνω τιμές στα τέσσερα σημεία του πλέγματος με διγραμμική παρεμβολή (bi-linear interpolation) υπολογίζονται οι τιμές $P_{r6}(Lat, Lon)$, $M_C(Lat, Lon)$ και $M_S(Lat, Lon)$.

Βήμα 3: Υπολογίζεται η πιθανότητα ύπαρξης βροχής P_0 από τον παρακάτω τύπο:

$$P_0(Lat, Lon) = P_{r6}(Lat, Lon) \cdot \left(1 - e^{-0.0117 \cdot M_S(Lat, Lon) / P_{r6}(Lat, Lon)}\right) \quad (A.1)$$

Εάν το αποτέλεσμα της διαδικασίας δεν προσδιορίζεται, η πιθανότητα ύπαρξης βροχής $P_0(Lat, Lon)$ είναι ισοδύναμη με το μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση ολοκληρώνεται η διαδικασία.

Βήμα 4: Υπολογίζεται ο ρυθμός βροχόπτωσης R_p χρησιμοποιώντας την πιθανότητα ύπαρξης βροχής P_0 από τον παραπάνω τύπο

$$R_p(Lat, Lon) = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (A.2)$$

όπου

$$A = ab \quad (A.3)$$

$$B = a + c \cdot \ln(p / (P_0(Lat, Lon))) \quad (A.4)$$

$$C = \ln \left\{ \left(p / (P_0(Lat, Lon)) \right) \right\} \quad (A.5)$$

$$b = \left. \begin{array}{l} a = 1.11 \\ (M_C(Lat, Lon) + M_S(Lat, Lon)) \\ 22932 \cdot P \\ c = 31.5b \end{array} \right\} \quad (A.6)$$

$$b = \frac{\left. \begin{array}{l} a = 1.11 \\ (M_c(Lat, Lon) + M_s(Lat, Lon)) \\ 22932 \cdot P \\ c = 31.5b \end{array} \right\}}{\quad} \quad (A.6)$$

Σημειώνεται ότι η τιμή R_p αντιπροσωπεύει εκείνο το ρυθμό βροχόπτωσης ο οποίος υπερβαίνεται με πιθανότητα $p\%$ του ολικού χρόνου αναφοράς.

A.2 Υπολογισμός παραμέτρων λογαριθμοκανονικής κατανομής από πειραματικά δεδομένα

Τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα για τις κατανομές των στοχαστικών μεγεθών R (ρυθμός βροχόπτωσης) ή A (απόσβεση λόγω βροχής ενός συστήματος απλής λήψης) βρίσκονται υπό μορφή αντιστοιχών ζευγών x_i, P_i ($i = 1, 2, \dots, n$), όπου x_i η τιμή του μεγέθους και P_i η πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής. Στην περίπτωση του ρυθμού βροχόπτωσης, με την βοήθεια των χαρτών βροχής έχουμε για κάθε πιθανότητα υπέρβασης μια στάθμη ρυθμού βροχόπτωσης, για κάθε επιθυμητή περιοχή. Αυτό το γεγονός αντικαθιστά την ανάγκη τοπικών πειραματικών δεδομένων, που φυσικά αν είναι διαθέσιμα είναι πιο αξιόπιστα. Στη συνέχεια θα περιγραφτούν διαδικασίες με την οποία υπολογίζονται οι παράμετροι της κατανομής της υπέρβασης της απόσβεσης λόγω βροχής ή του ρυθμού βροχόπτωσης για την περίπτωση της λογαριθμοκανονικής κατανομής.

Στην λογαριθμοκανονική κατανομή αυτή για κάθε τιμή της πιθανότητας P_i υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή u_i της ανοιγμένης κανονικής μεταβλητής U από την σχέση

$$u_i = \sqrt{2} \cdot \operatorname{erfc}^{-1}(2 \cdot P_i) \quad (A.7)$$

Ισχύει όμως

$$u_i = \frac{\ln(x_i) - \ln(X_m)}{S_x} \quad (A.8)$$

ή

$$u_i = A \cdot z_i + B \quad (A.9)$$

όπου

$$z_i = \ln x_i \quad (\text{A.10})$$

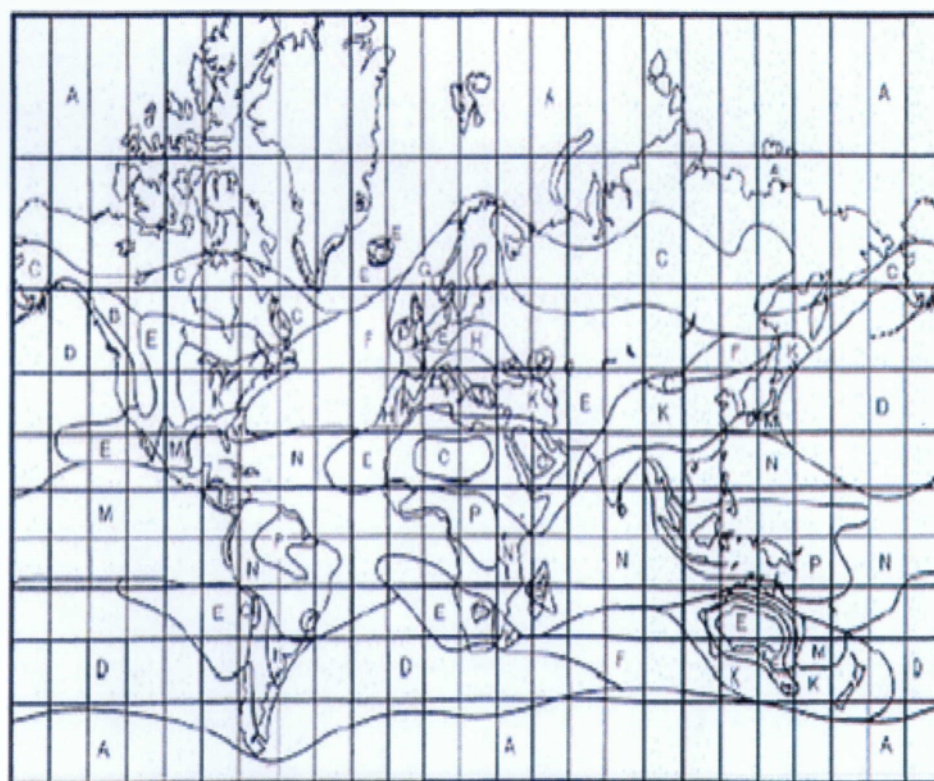
$$A = 1/S_X \quad (\text{A.11})$$

$$B = -\ln X_m / S_X \quad (\text{A.12})$$

δηλαδή τα u_i και z_i συνδέονται με γραμμική σχέση. Επομένως με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίζονται εύκολα οι συντελεστές γραμμικής παλινδρόμησης A και B και από αυτούς οι παράμετροι S_X και X_m .

A.3 Κλιματικές ζώνες

Σε προηγούμενο στάδιο, ο ITU-R είχε προτείνει τις Κλιματικές Ζώνες, όπως φαίνεται στο σχήμα A.1, όπου ανάλογα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής η Γη χωρίζεται σε κλιματικές περιοχές, στο εύρος των οποίων η βροχή παρουσιάζει όμοια στατιστική συμπεριφορά.



Σχήμα A.1: Κλιματικές Ζώνες ανά τον κόσμο

Στο παρακάτω πίνακα Α.1 δίνεται ο κατά ITU-R διαχωρισμός της Γης σε κλιματικές ζώνες, καθώς και οι αντίστοιχοι παράμετροι της λογαριθμοκανονικής κατανομής της έντασης R που τις χαρακτηρίζουν.

Κλιματική Ζώνη	R_m	S_r
A	2.1830E-03	2.096000
B	1.5650E-02	1,694000
C	2.0460E-02	1.712000
D	6.9270E-02	1.467000
E	8.4000E-03	2.040000
F	2.7200E-02	1.810000
G	6.8400E-02	1.596000
H	2,8490E-02	1.825000
K	1.6740E-02	2.020000
L	1.7630E-02	2.113500
M	4.9650E-02	1.867755
N	4.3900E-02	2.018000
P	8.1330E-02	2.000500
Q	1.3415E-01	1.856800

Πίνακας Α.1: Παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής για τις κλιματικές ζώνες.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

AF	Assured Forwarding
AP	Access Point
ATM	Asynchronous Time Mode
BA	Behavior Aggregate
BER	Bit Error Rate
dB	Decibel
DC	Direct Current
DiffServ	Differentiated Services
DSCP	DiffServ CodePoint
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ECN	Explicit Congestion Notification
EF	Expedited Forwarding
EHF	Extremely High Frequency
FTP	File Transfer Protocol
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial Scientific Medical radio Bands
ISP	Internet Service Provider
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
OSI	Open System Interconnection
PCM	Pulse Code Modulation
PEPL	Plane Earth Path Loss
PHB	Per Hop Behavior
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependent
PMP	Point-to-Multipoint
PTP	Point-to-Point
QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RET	Radiative Energy Transfer
RSVP	Resource Reservation Protocol
SHF	Super High Frequency
SLA	Service Level Agreement

SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SONET	Synchronous Optical Networking
TCP	Transmission Control Protocol
ToS	Type of Service
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Το Αλφαβητάρι της Ασύρματης Δικτύωσης, Γιαννακός Νικήτας, Κοσσιφίδης Νικόλαος, Πανουσιού Σωκράτης, Πεϊκίδης Ιωάννης.
2. Δίκτυα Η/Υ, Ασύρματα Δίκτυα Ενότητα Δ', Δρ. Ε. Μάγκος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο.
3. Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα, Stallings Williams.
4. Ασύρματες Επικοινωνίες Αρχές και Πρακτική, Rappaport.
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service
6. <http://ngia.rootforge.org/content/Tutorials/PlugMeIn/>
7. <http://www.awmn.net/wiki/index.php/%CE%95%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C:Allpages>
8. Wireless Mesh Networks Architectures and Protocols, Ekram Hossain –Kin Leung.
9. <http://www.adslgr.com/forum/showthread.php?t=33661>
10. <http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/QoS.html#wp1020550>
11. Βαρβάρας Δημήτριος, «Υλοποίηση εφαρμογής παρακολούθησης της κινητικότητας των χρηστών σε ένα Ασύρματο Wi-Fi δίκτυο τοπικού εύρους ζώνης με σκοπό την περισυλλογή πληροφοριών θέσης και ανταλλαγή δεδομένων», διπλωματική εργασία, Οκτώβριος 2008, Πάτρα.
12. http://www.mikrotik.com/pdf/what_is_routeros.pdf
13. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ-Υ.Π.Ε.Π.Θ.
14. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/PUBLICATIONS/SCIENTIFIC_PUBLICATIONS/S_EIRA_III/ETOS_%202002/3arapoglou.pdf
15. Διδακτορική διατριβή, Ιωάννη Α. Πικραμμένου, «Αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα δικτύων πρόσβασης για ανοιχτή παροχή υπηρεσιών».
16. ITU-R Recommendation P.530-11, 'Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems', 2005.
17. ITU-R Recommendation P.837-4, "Characteristics of precipitation for propagation modeling", 2003.

18. ITU-R Recommendation P.838-3, "Specific attenuation model for use in prediction methods", 2005.
19. Propagation handbook for wireless communication system design (Electrical engineering and applied signal processing series) / Robert K. Crane. 2003 CRC Press LLC.
20. Έλλη Καρτσακλή, "Επίδοση Διαφορικής Λήψης Κελιού σε Ασύρματα Κυψελωτά Συστήματα LMDS", διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2003.
21. Παναγιωτόπουλος Αθανάσιος, «Ανάπτυξη Υπολογιστικού Εργαλείου Για Την Σχεδίαση Επίγειων Επικοινωνιών», διπλωματική εργασία, Οκτώβριος 2003.
22. A Generic Model of 1-60 GHz Radio Propagation through Vegetation - Final Report, NC Rogers, A Seville, J Richter, D Ndzi, N Savage, RFS Caldeirinha AK Shukla, MO Al-Nuaimi, K Craig, E Vilar and J Austin
23. Σοφράς Ν. Βασίλειος, Τσόπελας Π. Ανδρέας, «Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών σε δίκτυα στρατοσφαιρικών πλατφόρμων μελέτη προτύπου DVB-S2», διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2008.
24. Tanenbaum A.S. (2000). *Δίκτυα Υπολογιστών (4^{τη} έκδοση)*. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
25. Demers A., Keshav S., Shenker S. (1989). *Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm*.
26. CISCO White Paper. *DiffServ: The Scalable End-to-End QoS Model*.
27. Hui-Lan Lu, Faynberg I. (2003). An Architectural Framework for Support of Quality of Service in Packet Networks.
28. Keshav S. (1998). *An Engineering Approach to Computer Networking*
29. Empirical Near Ground Path Loss Modeling in a Forest at VHF and UHF Bands, Yu Song Meng, *Student Member, IEEE*, Yee Hui Lee, *Member, IEEE*, and Boon Chong Ng, *Senior Member, IEEE*
30. Μελέτες – Εφαρμογές & Υλοποίηση Δικτύων Η/Υ, Γ. Μπάρδης, Β. Νικολόπουλος, Ι. Μπράττος