

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ Μ.Μ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΕΞΕΛΙΞΗ, ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ADSL**

**ΑΒΡΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

## ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η πτυχιακή εργασία με θέμα :

« Εξέλιξη Εφαρμογών και Έλεγχος και Τεχνολογία ADSL »

Της/Των φοιτητριών του Τμήματος ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΜΕΣΩΝ ΜΑΖΙΚΗΣ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΑΡΙΘ.ΜΗΤΡΟΥ

1. ΑΒΡΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

415

2.

3.

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο τμήμα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΜΜΕ στις

22/10/2018

Ο ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Δρ. ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΥΓΙΑΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

### ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Βεβαιώνω/~~ουμε~~ ότι είμαι/~~είμαστε~~ ο/~~οι~~ συγγραφέας/~~εις~~ αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα/~~είχαμε~~ για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία.

Επίσης, έχω/~~έχουμε~~ αναφέρει τις οποίες πηγές από τις οποίες έκανα /~~κάνουμε~~ χρήση δεδομένων, ιδιών η λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες.

Ακόμη δηλώνω/~~ουμε~~ ότι αυτή η γραπτή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα/~~εμάς~~ προσωπικά και αποκλειστικά και ειδικά για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ότι θα αναλάβω/~~ουμε~~ πλήρως τις συνέπειες εάν η εργασία αυτή αποδειχτεί ότι δεν μου/~~μας~~ ανήκει.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 1

ΑΡΙΘ.ΜΗΤΡΩΟΥ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΑΒΡΑΜΗΣ ΑΥΑΣΤΑΞΙΟΣ

415



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 2

ΑΡΙΘ.ΜΗΤΡΩΟΥ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 3

ΑΡΙΘ.ΜΗΤΡΩΟΥ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

## Πρόλογος

Ο τίτλος της παρούσας εργασίας είναι «Εξέλιξη, εφαρμογή και έλεγχος της τεχνολογίας ADSL», και η εκπόνηση του γίνεται για την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών και την κατάκτηση του πτυχίου από το Α.Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος, της σχολής Διοίκησης και οικονομίας, του τμήματος Πληροφορικής και Μ.Μ.Ε., με έδρα τον Πύργο. Η εργασία υλοποιήθηκε με βάση τους προβλεπόμενους κανονισμούς του Α.Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος, και εντός των χρονικών ορίων τον Οκτώβριο του 2018.

Στα πλαίσια της συγγραφής της εργασίας ο σκοπός ήταν να μελετηθεί και να αναλυθεί το θέμα με ορθότητα και πληρότητα, στοχεύοντας, παράλληλα, σε ένα κατανοητό αλλά και σαφές περιεχόμενο. Για την καλύτερη ανάλυση του θέματος, αλλά και για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, εκτός από τη θεωρητική προσέγγιση του θέματος, πραγματοποιήθηκε και πρακτική εφαρμογή με την χρήση κατάλληλου εργαλείου. Έτσι, για την ανάπτυξη ενός κατανοητού περιεχομένου χρησιμοποιήθηκε πληθώρα από εικόνες αναπαράστασης, αλλά και στιγμιότυπα από τη διαδικασία της πρακτικής υλοποίησης.

## Περίληψη

Το Διαδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα μεγαλύτερα τεχνολογικά επιτεύγματα λόγω του αντίκτυπου που έχει στην καθημερινή ζωή των χρηστών. Αποτελεί τον γρηγορότερο τρόπο παροχής πληροφοριών αλλά ταυτόχρονα είναι σε θέση να εξυπηρετήσει την ανθρωπότητα με μια μεγάλη γκάμα παρεχόμενων υπηρεσιών. Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη που απολαμβάνουν οι χρήστες του Διαδικτύου είναι η επικοινωνία. Άνθρωποι που ζουν σε διαφορετικά μέρη του κόσμου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Εξοπλισμένο με διαρκώς αναβαθμισμένα διαδραστικά εργαλεία, όπως email, chat, social media και cloud, το Διαδίκτυο παρέχει ταχύτερη και χωρίς προβλήματα επικοινωνία, όντας προσβάσιμο από όλες τις γωνίες του κόσμου. Είναι επίσης αξιοσημείωτη η συμβολή του Διαδικτύου στην ευημερία και την ανάπτυξη εκατομμυρίων επιχειρήσεων παγκοσμίως.

Μια μέθοδο πρόσβασης μεγάλης ταχύτητας στο Διαδίκτυο αποτελεί η ευρυζωνική (broadband) πρόσβαση. Αφορά μια μέθοδο σηματοδότησης που περιλαμβάνει ένα σχετικά ευρύ φάσμα συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να διαιρεθεί σε κανάλια ή ομάδες συχνοτήτων. Η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, τόσο μέσω σταθερών όσο και μέσω ασύρματων υποδομών, είναι σαφώς ένας από τους βασικούς τομείς ανάπτυξης των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνίας (ΤΠΕ) για τη χώρα μας.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας θα γίνει μια μελέτη πάνω στα δίκτυα ευρυζωνικής πρόσβασης και ειδικότερα στην τεχνολογία Ασύμμετρης Ψηφιακής Συνδρομητικής Γραμμής (Asymmetric Digital Subscriber Line – ADSL). Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση της εξέλιξης, της εφαρμογής και του ελέγχου της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Τα θέματα που θα αναπτυχθούν και θα μελετηθούν για το σκοπό αυτό είναι η ιστορία και η αρχιτεκτονική του ADSL, οι τεχνικές προδιαγραφές και οι προϋποθέσεις παροχής ευρυζωνικής πρόσβασης, η αρχιτεκτονική DSLAM, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για αύξηση της ταχύτητας πρόσβασης, οι υπηρεσίες που βασίζονται στη τεχνολογία ADSL, οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων ταχύτητας πρόσβασης και τέλος ο έλεγχος απόδοσης της τεχνολογίας.

## Λέξεις κλειδιά

Δίκτυα Ευρυζωνικής Πρόσβασης, Ασύμμετρη Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή, ADSL, DMT.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	5
Λέξεις κλειδιά.....	5
<b>1 Εισαγωγή.....</b>	<b>8</b>
1.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): Ιστορική αναδρομή .....	8
1.2 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας .....	9
1.3 Δομή της πτυχιακής εργασίας .....	9
<b>2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες - ADSL .....</b>	<b>11</b>
2.1 Διαδίκτυο και ευρυζωνικότητα .....	11
2.2 Ευρυζωνικές τεχνολογίες .....	12
2.2.1 Τεχνολογίες σταθερής γραμμής .....	13
2.2.2 Η τεχνολογία xDSL .....	13
2.3 Η τεχνολογία ADSL.....	16
2.4 Πρότυπα του ADSL.....	20
2.5 Σηματοδότηση .....	21
2.6 Κατανομή συχνοτήτων .....	22
2.7 Εξέλιξη των διαφορετικών τεχνολογιών xDSL.....	23
2.7.1 ADSL2.....	25
2.7.2 ADSL2+.....	25
2.7.3 ADSL2++.....	26
2.7.4 HDSL / SHDSL .....	26
2.7.5 VDSL.....	27
2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ADSL .....	27
<b>3 Υλοποίηση του ADSL .....</b>	<b>29</b>
3.1 Τερματικός εξοπλισμός .....	29
3.2 Φυσικό δίκτυο .....	31
3.3 Το DSLAM.....	32
3.3.1 Εξέλιξη της λειτουργικότητας των DSLAM .....	33
3.3.2 Αρχιτεκτονική DSLAM.....	35
3.3.3 Χαρακτηριστικά του DSLAM.....	36
3.3.4 DSLAM και οπτικά δίκτυα.....	37
3.4 Εξοπλισμός παρόχου ISP .....	38
3.4.1 Μέθοδοι πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (Authentication, Authorization, Accounting - AAA).....	38
3.4.2 Απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευσης χρήστη διεπιλογής εισόδου (RADIUS) .....	41
3.4.3 Ευρυζωνικός εξυπηρετητής απομακρυσμένης πρόσβασης (B-RAS).....	42
3.4.4 Το πρωτόκολλο DHCP .....	43
3.4.5 Το πρωτόκολλο PPP .....	44
<b>4 Υπηρεσίες μέσω ADSL.....</b>	<b>48</b>
4.1 Υπηρεσίες Διαδικτύου .....	48
4.2 Υπηρεσία VoIP.....	50
4.3 MPLS VPN .....	52
4.4 IPSec.....	54

4.5 Υπηρεσία IPTV .....	55
<b>5 Ανάλυση Απόδοσης.....</b>	<b>56</b>
5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του ADSL.....	56
5.1.1 Κατάσταση θρόγχου .....	57
5.1.2 Περιβάλλον μετάδοσης .....	59
5.2 Βασικά χαρακτηριστικά απόδοσης του ADSL.....	62
5.2.1 Εξασθένηση της γραμμής ADSL.....	63
5.2.2 SNR Margin και SNR .....	64
5.3 Έλεγχος απόδοσης του ADSL .....	64
5.4 Το DMT (DSL - Modem freeware Tool) .....	65
5.4.1 Κατέβασμα, αρχικές ρυθμίσεις και εκτέλεση προγράμματος .....	66
5.4.2 Στοιχεία γραμμής.....	68
5.4.3 Γράφημα εξασθένησης .....	69
5.4.4 Γράφημα SNR / SNRM .....	70
5.4.5 Γράφημα καναλιών συχνοτήτων .....	71
5.4.6 SNR - Monitoring .....	71
5.4.7 DSL – Monitoring .....	72
<b>6 Μετρήσεις με το DMT.....</b>	<b>74</b>
6.1 Thomson TG585V6.....	74
6.2 Siemens SL2-141 .....	77
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>83</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>85</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....</b>	<b>92</b>

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): Ιστορική αναδρομή

Δεν είναι πολλές οι δεκαετίες που έχουν περάσει, από τότε που το Διαδίκτυο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μόνο ως αποκύημα της φαντασίας κάποιου. Πλέον είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς έναν κόσμο χωρίς Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας σε κάθε κατοικία. Η τεχνολογία xDSL δεν είχε εξαρχής τη μορφή που έχει σήμερα [1]. Χωρίς ίχνος υπερβολής, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η ιστορία της ξεκινάει από τα 1800, όταν ο Alexander Graham Bell εφηύρε το τηλέφωνο. Για πρώτη φορά, οι άνθρωποι ήταν σε θέση να μεταδώσουν φωνητικά δεδομένα μέσω ενός καλωδίου χαλκού. Φυσικά, ο εφευρέτης, εκείνη τη στιγμή, δεν ήταν σε θέση να γνωρίζει την ισχύ και την επιρροή της εφευρέσής του και το τι θα μπορούσε να επιτευχθεί από τη χρήση της ιδέας του.

Αρχικά, οι χρήστες του Διαδικτύου ήταν ικανοποιημένοι να βλέπουν απλές μονόχρωμες οθόνες χωρίς γραφικά. Αλλά, καθώς η τεχνολογία εξελισσόταν και το Διαδίκτυο άρχισε να παρουσιάζει ιστοσελίδες πλήρεις σε χρώμα και εικόνες, έγινε επιτακτική η κάλυψη της ανάγκης των χρηστών να μεταδίδουν μεγάλο όγκο δεδομένων και με ικανοποιητική ταχύτητα. Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές οδηγήθηκαν στην μελέτη του τρόπου με τον οποίο μεγάλος όγκος πληροφοριών θα μπορούσε να μεταφερθεί σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο μέσω τηλεφωνικών γραμμών.

Για πολλά χρόνια, υπήρχε η πεποίθηση ότι το ανώτατο όριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση δεδομένων ήταν τα 56kbps (για αναλογικές τηλεφωνικές γραμμές). Η υπηρεσία μετάδοσης φωνητικών δεδομένων μέσω τηλεφωνικών γραμμών χαλκού χρησιμοποιεί μόνο τις χαμηλές συχνότητες με εύρος 4 KHz του φάσματος, με αποτέλεσμα το υπόλοιπο 1MHz που είναι διαθέσιμο, παρέμενε ανεκμετάλλευτο [2]. Θα μπορούσε επομένως να υπάρξει κάποια τεχνολογία που θα χρησιμοποιεί τις ανώτερες συχνότητες για υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων. Η ιδέα ήταν, στην τεχνολογία αυτή, τα δεδομένα πληροφοριών και φωνής να μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα στον ίδιο αγωγό χαλκού χωρίς να παρεμβάλλονται μεταξύ τους.

Η βασική έννοια της παροχής ψηφιακών υπηρεσιών αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1987, όταν ο Joseph Lechleider της Bellcore πρότεινε τη μετάδοση πληροφοριών τηλεφωνίας και τηλεόρασης μέσω των υπαρχουσών παλιών τηλεφωνικών γραμμών χαλκού [3]. Η ιδέα του βασίστηκε στο διαχωρισμό του εύρους ζώνης του καναλιού μεταφοράς πληροφοριών και στη δημιουργία δύο με διαφορετική χωρητικότητα: ένα ευρύτερου εύρους ζώνης για λήψη πληροφοριών (downstream) και ενός μικρότερου εύρους ζώνης για αποστολή πληροφοριών (upstream). Με τον τρόπο αυτό οι τηλεοπτικές πληροφορίες κάποιου βίντεο θα μπορούσαν να μεταφερθούν μέσω των τηλεφωνικών γραμμών γρηγορότερα. Έτσι, η μεταφορά πληροφοριών μέσω τηλεφωνικών γραμμών χαλκού μεταπήδησε από την εποχή του ψηφιακού δικτύου ενοποιημένων υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network – ISDN), το οποίο μπορούσε να μεταφέρει, στην καλύτερη περίπτωση, 144 kbps δεδομένων και φωνής, στην εποχή του ADSL [4]. Στην τεχνολογία ADSL, το ευρείας ζώνης ψηφιακό σήμα τοποθετήθηκε (όσον αφορά τη συχνότητα) πάνω από το αναλογικό σήμα φωνής.

Το 1993 το Διαδίκτυο έγινε πραγματικότητα και από το 1998 άρχισε να αναπτύσσεται και να διαδίδεται σε όλο τον κόσμο. Το ADSL αρχικά δοκιμάστηκε για παροχή υπηρεσιών Video on Demand (VoD) και διαδραστικής τηλεόρασης, αλλά ο ανταγωνισμός που υπήρξε από την καλωδιακή τηλεόραση εμπόδισε, τότε, την χρήση του σε υπηρεσίες τέτοιου είδους [5]. Αντ' αυτού, άρχισε να χρησιμοποιείται για την παροχή τηλεφωνικών και Διαδικτυακών υπηρεσιών. Με την πάροδο των ετών η τεχνολογία εξελίχθηκε σε ADSL2 και στη συνέχεια



σε ADSL2+, με την τελευταία να είναι ο πιο κοινός χρησιμοποιούμενος τύπος ADSL τα τελευταία χρόνια.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας DSL ήταν μέρος του ISDN, τα πρώτα πρότυπα της οποίας δημοσιεύθηκαν το 1984 από την CCITT (Consultative Committee on International telephone and Telegraph) [6]. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν και άλλες τεχνολογίες xDSL, όπως οι HDSL και SHDSL, με σκοπό την παροχή καλύτερων υπηρεσιών μέσω του υπάρχοντος δικτύου χαλκού. Με την πάροδο των ετών, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές τεχνολογικές εξελίξεις και έχουν δημοσιευθεί πολλά νέα πρότυπα. Στην πραγματικότητα, το ADSL είναι μια τεχνολογία που κατάφερε μέσα σε μια δεκαετία να περάσει από μια απλή ιδέα στο στάδιο της ανάπτυξης [5].

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα γίνει μελέτη μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας xDSL και πιο συγκεκριμένα της Ασύμμετρης Ψηφιακής Συνδρομητικής Γραμμής (Asymmetric Digital Subscriber Line – ADSL) η οποία δίνει τη δυνατότητα συνδυασμού ρυθμών μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας με χαμηλό κόστος χρήσης.

Παρόλο που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά για την παροχή υπηρεσιών τηλεόρασης, η τεχνολογία ADSL τελικά μπορεί να υποστηρίξει τόσο υπηρεσίες δεδομένων όσο και φωνής. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η απόδοση του ADSL εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μήκος και η διάμετρος του καλωδίου σύνδεσης, οι γεφυρώσεις ή συνδέσεις bridged taps καθώς και οι τυχόν παρεμβολές στο συνεστραμμένο ζεύγος [7]. Για τη βέλτιστη απόδοση απαιτείται η μείωση του μήκους της γραμμής και των παρεμβολών του συνεστραμμένου ζεύγους, η αύξηση της διαμέτρου του καλωδίου σύνδεσης και η αποφυγή ύπαρξης γεφυρώσεων ή συνδέσεων bridged taps [8]. Ορισμένες εφαρμογές που χρειάζονται ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) και καλή απόδοση της γραμμής σύνδεσης είναι το Voice-over DSL (VoDSL) [58], η φιλοξενία ιστοσελίδων (web hosting), η τηλεδιάσκεψη (videoconferencing), οι υπηρεσίες VPN (Virtual Private Network), η απομακρυσμένη πρόσβαση δικτύων LAN, το διαδικτυακό gaming και οι υπηρεσίες peer-to-peer.

## 1.2 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της τεχνολογίας ADSL όσον αφορά την εξέλιξη, την εφαρμογή και τον έλεγχό της. Τα θέματα που θα αναπτυχθούν και θα μελετηθούν για το σκοπό αυτό είναι:

- η ιστορία και η αρχιτεκτονική του ADSL,
- οι τεχνικές προδιαγραφές και οι προϋποθέσεις παροχής ευρυζωνικής πρόσβασης,
- η αρχιτεκτονική DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer),
- οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για αύξηση της ταχύτητας πρόσβασης,
- οι υπηρεσίες που βασίζονται στη τεχνολογία ADSL,
- οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων ταχύτητας πρόσβασης και
- ο έλεγχος απόδοσης της τεχνολογίας.

## 1.3 Δομή της πτυχιακής εργασίας

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, για τη μελέτη της τεχνολογίας ADSL επιλέχθηκε η ακόλουθη δομή.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η ιστορία του ADSL και η τρέχουσα κατάστασή του. Αρχικά, συζητείται η εξέλιξη των τεχνολογιών xDSL σε βάθος χρόνου. Στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η τεχνολογία ADSL καθώς και τα πρότυπα και οι οργανισμοί που βοήθησαν την εξέλιξή της. Επίσης, γίνεται μια αναφορά στην κατανομή συχνοτήτων και καναλιών, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο η φωνή, το downstream και το upstream χωρίζονται στην ίδια γραμμή χαλκού χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ τους. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της τεχνολογίας ADSL.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η τρέχουσα εφαρμογή του ADSL. Το κεφάλαιο ξεκινά με την πλευρά του συνδρομητή παρουσιάζοντας τον εξοπλισμό που θα πρέπει να υφίσταται. Στη συνέχεια περιγράφεται το φυσικό δίκτυο από τον πελάτη στον πάροχο υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Provider – ISP) και ο τρόπος υλοποίησης του ADSL από έναν ISP. Τα θέματα που περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες είναι: το DSLAM, οι μέθοδοι πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (Authentication, Authorization, Accounting – AAA), η απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευσης χρήστη διεπιλογής εισόδου (Remote Authentication Dial-In User Service – RADIUS), ο ευρυζωνικός διακομιστής απομακρυσμένης πρόσβασης (Broadband Remote Access Server – BRAS), και τα πρωτόκολλα DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) και PPP (Point to Point Protocol). Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια γενική εικόνα της λειτουργίας μιας end-to-end ADSL σύνδεσης.

Το κεφάλαιο 4 περιέχει τις πιο σημαντικές υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το ADSL. Τέτοιες υπηρεσίες είναι: η υπηρεσία του Διαδικτύου, η υπηρεσία VoIP, η υπηρεσία MPLS (Multiprotocol Label Switching) VPN, η υπηρεσία IPsec και, τέλος, το IPTV. Όλες αυτές οι υπηρεσίες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοση του ADSL.

Στο κεφάλαιο 5 ουσιαστικά γίνεται ο έλεγχος της απόδοσης του ADSL με βάση μια μελέτη πάνω στις επιδόσεις των εφαρμογών που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4. Στη μελέτη αυτή αναφέρονται και αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του ADSL. Εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το πρόγραμμα monitoring DMT (DSL - Modem freeware Tool).

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με κάποια συμπέρασμα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της μελέτης που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5.

Η δομή για τη θεωρητική προσέγγιση της παρούσας εργασίας βασίστηκε στην εργασία με θέμα “Performance study of the adsl mechanisms”, της Κατερίνας Σκιαδά [24], λόγω της αρτιότητας της. Η κύρια διαφοροποίηση εντοπίζεται στην πρακτική προσέγγιση του θέματος. Σημαντικές προσθήκες και επεκτάσεις έγιναν σχεδόν σε όλες τις ενότητες για να γίνει κατανοητή η τεχνολογία ADSL. Για την κατανόηση του ψηφιακού πολυπλέκτη πρόσβασης γραμμής συνδρομητών (digital subscriber line access multiplexer – DSLAM), αλλά και του απομακρυσμένου διακομιστή ευρυζωνικής πρόσβασης (Broadband Remote Access Server – B-RAS), η άντληση πληροφοριών προήλθε κυρίως από το White Paper “ Understanding DSLAM and BRAS Access Devices”, της Agilent Technologies (2006) [36]. Η ανάλυση της απόδοσης του ADSL βασίστηκε στο επιστημονικό άρθρο των Toni Anwar και Teoh Siew Yong, με τίτλο “Performance Analysis of ADSL” [78]. Τέλος, η κατανόηση για την τεχνολογία Point to Point Protocol (PPP) στηρίχθηκε στο κείμενο παρουσίασης των Pranesh Kulkarni και Shantala Patil (2012), με τίτλο “An Overview of Point to Point Protocol Architectures in Broadband Access Networks” [47].

Για την παρουσίαση της λειτουργίας και επεξήγησης του εργαλείου DMT, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το πρακτικό μέρος αντλήθηκαν πληροφορίες αλλά και εικόνες από οδηγό της σελίδας Kitz.co.uk [89].

## 2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες - ADSL

Στις μέρες μας, το Διαδίκτυο έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων και αποτελεί βασική διευκόλυνση για κάθε νοικοκυριό, επιχείρηση ή οργανισμό. Μια από τις σημαντικότερες υπηρεσίες του είναι η ανά πάσα στιγμή γρήγορη παροχή πληροφοριών, μια υπηρεσία που για τους περισσότερους είναι εξίσου σημαντική με την δυνατότητα επικοινωνίας που παρέχει το Διαδίκτυο μέσω των πολυάριθμων εφαρμογών που διαθέτει. Ο λόγος αυτής της άποψης έγκειται στο γεγονός ότι η ανάπτυξη πολλών επικοινωνιακών εφαρμογών των τελευταίων ετών βασίζεται εξολοκλήρου στο Διαδίκτυο. Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη έχει οδηγήσει στην αναζήτηση ολοένα και ταχύτερης πρόσβασης στο Διαδίκτυο με ταυτόχρονη μείωση του κόστους χρήσης του.

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της ιστορίας του ADSL και της παρούσας κατάστασής του. Αρχικά, συζητείται η εξέλιξη των τεχνολογιών xDSL σε βάθος χρόνου. Στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η τεχνολογία ADSL καθώς και τα πρότυπα και οι οργανισμοί που βοήθησαν την εξέλιξή της. Επίσης, γίνεται μια αναφορά στην κατανομή συχνοτήτων και καναλιών, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο η φωνή, το downstream και το upstream χωρίζονται στην ίδια γραμμή χαλκού χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ τους. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της τεχνολογίας ADSL.

### 2.1 Διαδίκτυο και ευρυζωνικότητα

Οι εξελίξεις και η πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της τεχνολογίας του Διαδικτύου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό σχεδόν κάθε πτυχή της καθημερινότητας. Στις μέρες μας, η ευρυζωνικότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως η «τέταρτη ανάγκη» παγκοσμίως, μετά το νερό, τη θέρμανση και το ηλεκτρικό ρεύμα [9]. Η δύναμη της ευρυζωνικότητας έχει επιβεβαιωθεί από πρόσφατες έρευνες, οι οποίες δείχνουν ότι ευνοεί την αύξηση του ΑΕΠ, δημιουργεί θέσεις εργασίας και τονώνει την καινοτομία, ενώ, παράλληλα, επιτρέπει βελτιώσεις στην εκπαίδευση, την υγειονομική περίθαλψη και άλλες κοινωνικές υπηρεσίες. Πιο συγκεκριμένα: *«Η ευρυζωνικότητα δεν είναι απλώς μια υποδομή. Πρόκειται για μια τεχνολογία γενικής χρήσης που μπορεί να αναδιαρθρώσει ριζικά την οικονομία»* [9].

Για την εκμετάλλευση των πολλών οφελών της ευρυζωνικότητας, εφαρμόζονται παγκοσμίως ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια, καθώς και πιο αυστηρά επικεντρωμένα ευρυζωνικά προγράμματα. Ο συνδυασμός των προσπαθειών αυτών με στρατηγικές που διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα και την προσιτότητα των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνίας (ΤΠΕ), βοηθάει στην ταχύτερη αποκομιδή των οφελών της ευρυζωνικότητας και στην παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε περισσότερους πολίτες και σε πιο προσιτή τιμή σε εθνικό επίπεδο [9].

Η ευρυζωνικότητα μπορεί να οριστεί με πολλούς τρόπους, αλλά γενικότερα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια υπηρεσία που επιτρέπει την αξιόπιστη και με υψηλή ταχύτητα μεταφορά δεδομένων, φωνής και βίντεο μέσω του Διαδικτύου [10]. Η συνδεσιμότητα που παρέχεται από τις ευρυζωνικές υπηρεσίες αποτελεί σημαντικότατο και αναπόσπαστο κομμάτι μιας ευρύτερης προσπάθειας διάθεσης των πόρων ΤΠΕ σε ιδιώτες και επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία και οικονομική προσιτότητα.

Οι ευρυζωνικές ταχύτητες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με την τεχνολογία, την τοποθεσία, τις εφαρμογές και πολλούς άλλους παράγοντες. Για το λόγο αυτό, η μέτρηση της

ταχύτητας αυτής εστιάζεται στις «αποδεκτές» τιμές, οι οποίες είναι οι απαραίτητες τιμές για την κάλυψη των ιδιαίτερων απαιτήσεων κάθε συγκεκριμένου μέρους της αγοράς, όπως τα σχολεία, τα σπίτια, τις επιχειρήσεις, κ.ο.κ. Στις αναδυόμενες αγορές, οι ταχύτητες λήψης κατά τις ώρες αιχμής κυμαίνονται στα 15 Megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps), ανάλογα με τον τύπο του ευρυζωνικού δικτύου που χρησιμοποιείται [11].

Τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορεί να προσεγγιστούν μέσα από μια ποικιλία ενσύρματων και ασύρματων υπηρεσιών, καθένα από τα οποία προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ταχύτητα, την αξιοπιστία και το προσιτό κόστος. Οι ενσύρματες (ή σταθερές) ευρυζωνικές υπηρεσίες (π.χ. ADSL) τείνουν να είναι πιο γρήγορες από αντίστοιχες ασύρματες εναλλακτικές λύσεις, αλλά συχνά δεν μπορούν να φθάσουν σε γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές. Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα, στα οποία η πρόσβαση μπορεί να γίνει μέσω δικτύου κινητών τηλεφώνων, δορυφόρων ή WiMAX και Wi-Fi σημάτων, παρέχουν πλεονεκτήματα όσον αφορά την φορητότητα και την ευκολία χρήσης. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω μιας σειράς συσκευών, όπως οι επιτραπέζιοι υπολογιστές, οι φορητοί υπολογιστές, τα netbook, τα tablet, τα κινητά τηλέφωνα και τα smartphone. Οι ταχύτητες πρόσβασης για τις φορητές συσκευές (άρα μέσω ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων) ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό, με ταχύτητες λήψης οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες ταχύτητες που ισχύουν για τα ενσύρματα ευρυζωνικά δίκτυα.

Σε γενικές γραμμές, οι λύσεις σταθερής γραμμής επικοινωνούν μέσω ενός φυσικού δικτύου που παρέχει μια άμεση «ενσύρματη» σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του παρόχου της υπηρεσίας. Το καλύτερο παράδειγμα μιας τέτοιας σύνδεσης αποτελεί το κλασικό τηλεφωνικό δίκτυο (Plain Old Telephone System - POTS), όπου ο χρήστης συνδέεται φυσικά με τον χειριστή μέσω ενός ζεύγους συνεστραμμένων αγωγών χαλκού. Οι ασύρματες λύσεις χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες ή μικροκυματικές συχνότητες για την πραγματοποίηση σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και του παρόχου υπηρεσιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ασύρματης ευρυζωνικής λύσης αποτελεί η συνδεσιμότητα του κινητού τηλεφώνου [13].

## 2.2 Ευρυζωνικές τεχνολογίες

Οι απαιτήσεις για ολοένα και μεγαλύτερο χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης αυξάνονται, καθώς η αγορά ευρυζωνικών υπηρεσιών προσφέρει σχέδια «triple play» υπηρεσιών στις οποίες φωνή, δεδομένα και βίντεο παρέχονται μέσω μιας και μόνο σύνδεσης. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, με την εξέλιξη του Διαδικτύου και των ενδοδικτύων (intranet), οι αυξανόμενες απαιτήσεις εφαρμογών με μεγάλο εύρος ζώνης, όπως η peer-to-peer (P2P) ανταλλαγή αρχείων και οι τηλε-συσκευές, έχουν οδηγήσει σε αδυσώπητα αυξανόμενη ζήτηση για παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Επιπρόσθετα, οι υπηρεσίες τηλεόρασης και βίντεο των τελευταίων ετών που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, όπως το video-on-demand (VoD) και, πιο σημαντικά, η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV), έχουν αρχίσει να ασκούν μεγαλύτερες πιέσεις για παροχή εύρους ζώνης στα ευρυζωνικά δίκτυα. Ακόμη και με τις πιο πρόσφατες τεχνικές συμπίεσης δεδομένων, μόνο η HDTV απαιτεί ένα ρυθμό μετάδοσης κατερχόμενης ζεύξης (downlink) της τάξης των 15 με 20 Mbps, γεγονός που δοκιμάζει τις δυνατότητες ενός αριθμού ευρυζωνικών τεχνολογιών [12].

Υπάρχουν πολλαπλές ανταγωνιστικές ευρυζωνικές τεχνολογίες που είναι σε θέση να παρέχουν το απαραίτητο εύρος ζώνης για την αποτελεσματική υποστήριξη των πλέον απαιτητικών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα οι εφαρμογές τηλεϊατρικής, αλλά κάθε τεχνολογία έχει τα όριά της όσον αφορά την αξιοπιστία, το κόστος ή την κάλυψη. Η οπτική

ίνα, για παράδειγμα, προσφέρει σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες εύρους ζώνης, είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και γίνεται ολοένα και πιο οικονομική όσον αφορά την εγκατάσταση. Κατά συνέπεια, η συγκεκριμένη τεχνολογία φαίνεται να είναι ασυναγώνιστη σε σύγκριση με τις άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες. Ωστόσο, πολλές άλλες ασύρματες ή ενσύρματες τεχνολογίες αναπτύσσονται με ταχύ ρυθμό και ορισμένες από αυτές έχουν μέχρι στιγμής καταφέρει να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις εύρους ζώνης των απαιτητικών εφαρμογών.

### 2.2.1 Τεχνολογίες σταθερής γραμμής

Οι ευρυζωνικές τεχνολογίες σταθερής γραμμής βασίζονται στην άμεση φυσική σύνδεση με την κατοικία ή την επιχείρησή του χρήστη (συνδρομητή). Πολλές ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπως το καλωδιακό modem, η τεχνολογία xDSL (ψηφιακή συνδρομητική γραμμή) και η ευρυζωνική γραμμή ηλεκτρικής ισχύος (powerline) έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν ως μέσο επικοινωνίας μια υπάρχουσα μορφή σύνδεσης του συνδρομητή. Τα συστήματα καλωδιακού modem χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα υβριδικά δίκτυα οπτικών ινών και ομοαξονικού καλωδίου (Hybrid Fiber Coaxial - HFC). Τα συστήματα xDSL χρησιμοποιούν το συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για φωνητικές υπηρεσίες από τα POTS. Η ευρυζωνική τεχνολογία powerline χρησιμοποιεί τα ηλεκτροφόρα καλώδια που τροφοδοτούν με ρεύμα την κατοικία του συνδρομητή για τη μεταφορά ευρυζωνικών σημάτων. Σε γενικές γραμμές, οι τρεις προαναφερθείσες τεχνολογίες προσπαθούν να αποφύγουν τυχόν αναβαθμίσεις στο υπάρχον δίκτυο λόγω εγγενών συνεπειών που αφορούν δαπάνες αναβάθμισης [14].

Αντίθετα, τα δίκτυα οπτικής ίνας μέχρι την κατοικία (Fiber to the Home - FTTH) ή οπτικής ίνας μέχρι την καμπίνα (Fiber to the Cabinet - FTTC) απαιτούν την εγκατάσταση μιας νέας σύνδεσης (οπτικής ίνας) από το αστικό κέντρο (local exchange) (κεντρική υπηρεσία), άμεσα ή όσο τα δυνατόν πλησιέστερα στον χρήστη. Κατά συνέπεια, αν και οι οπτικές ίνες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν το μέγιστο δυνατόν, όσον αφορά το εύρος ζώνης, το κόστος εγκατάστασης των δικτύων αυτών ήταν, μέχρι πρόσφατα, απαγορευτικά υψηλό.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα γίνει μελέτη μόνο της ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (xDSL).

### 2.2.2 Η τεχνολογία xDSL

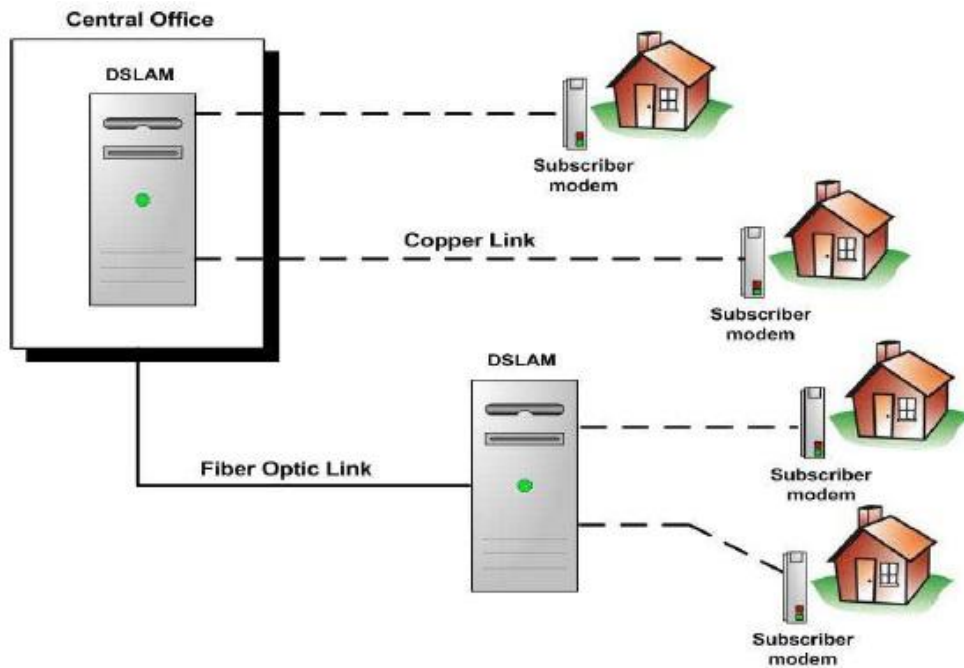
Μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας είναι η τεχνολογία xDSL. Ο όρος DSL (Digital Subscriber Line – Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) περιγράφει διάφορες τεχνολογίες και υπηρεσίες. Το γράμμα "x" στον όρο xDSL μπορεί να αντικατασταθεί με πολλά διαφορετικά γράμματα δημιουργώντας έτσι τα διάφορα είδη των υπηρεσιών DSL, όπως [8], [15]:

- **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line):** Ονομάζεται ασύμμετρη διότι η ταχύτητα της κατεύθυνσης επικοινωνίας από το κέντρο προς τον συνδρομητή (downstream) είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της κατεύθυνσης επικοινωνίας από τον συνδρομητή προς το κέντρο (upstream). Η λειτουργία αυτή έγκειται στο μεγαλύτερο ποσό πληροφοριών που λαμβάνουν («κατεβάζουν») οι περισσότεροι χρήστες από το Διαδίκτυο σε σύγκριση με το ποσό που στέλνουν («ανεβάζουν»).
- **HDSL (High-Data-Rate Digital Subscriber Line):** Δίνει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων εφάμιλλους με εκείνους που δίνει η T1 γραμμή (1,5 Mbps). Στέλνει και λαμβάνει δεδομένα στην ίδια ταχύτητα, αλλά απαιτεί δύο γραμμές διαφορετικές από την κανονική τηλεφωνική γραμμή

- **IDSL (ISDN Digital Subscriber Line )**: Τεχνολογία κυρίως για τους χρήστες του ISDN. Είναι πιο αργή από τις υπόλοιπες τεχνολογίες DSL και λειτουργεί στα 144Kbps και για τις δύο κατευθύνσεις. Το πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιείται ο εξοπλισμός της ISDN, αλλά το κέρδος είναι μόλις 16 Kbps (αφού η ISDN λειτουργεί στα 128 Kbps)
- **SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)**: Λαμβάνει και στέλνει δεδομένα στην ίδια ταχύτητα. Χρειάζεται ξεχωριστή γραμμή από το τηλέφωνο όπως η HDSL, αλλά χρησιμοποιεί μία γραμμή αντί για δύο
- **VDSL (Very High-Speed Digital Subscriber Line)**: Ασύμμετρη DSL η οποία δουλεύει σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιώντας απλές τηλεφωνικές γραμμές
- **RADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line)**: Αποτελεί παραλλαγή της DSL η οποία επιτρέπει το modem να ρυθμίσει την ταχύτητα της σύνδεσης ανάλογα με το μήκος και την ποιότητα της γραμμής

Σήμερα η τεχνολογία xDSL προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες σε περισσότερους ανθρώπους από οποιαδήποτε άλλη. Περίπου τα δύο τρίτα του συνόλου των ευρυζωνικών συνδρομητών είναι συνδρομητές DSL, ενώ κάθε μήνα οι νέοι συνδρομητές DSL είναι περισσότεροι από τους νέους συνδρομητές όλων των άλλων τεχνολογιών ευρυζωνικής πρόσβασης συνολικά.

Η τεχνολογία xDSL παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων μέσω καλωδίων χαλκού. Αρχικά, για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια καλώδια που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν τις παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεφωνίας. Αυτά τα καλώδια συνδέουν τα κεντρικά γραφεία της τηλεφωνικής εταιρείας, ο τόπος όπου πραγματοποιείται η μεταγωγή της φωνής και άλλες παραδοσιακές λειτουργίες τηλεφωνίας, με την κατοικία ή την επιχείρησή του χρήστη. Πλέον, η xDSL χρησιμοποιεί οπτικές ίνες από το αστικό κέντρο μέχρι το ΚΑΦΑΟ, τον κύριο κατανεμητή ή υπαίθριο κατανεμητή που βρίσκεται κοντά στην κατοικία ή την επιχείρηση του χρήστη και στη συνέχεια η σύνδεση του χρήστη με το ΚΑΦΑΟ γίνεται μέσω καλωδίων χαλκού. Σε όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο, η τεχνολογία προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω ήδη υφιστάμενων γραμμών χαλκού στις κατοικίες και τις επιχειρήσεις σε όλα τα μήκη και πλάτη του αναπτυσσόμενου ή αναπτυγμένου κόσμου.



**Εικόνα 1: Βασική αρχιτεκτονικά του xDSL [2]**

Αυτή η αρχιτεκτονική απεικονίζεται στην εικόνα 1. Στο αστικό κέντρο, ή σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία που είναι συνδεδεμένη με αυτό μέσω οπτικών ινών, υπάρχει ένας πολυπλέκτης πρόσβασης DSL (DSL Access Multiplexer - DSLAM), που στέλνει (και λαμβάνει) ευρυζωνικά δεδομένα σε (και από) πολλούς χρήστες μέσω της τεχνολογίας DSL. Στην τοποθεσία του κάθε χρήστη, υπάρχει ένα modem ή router, που λειτουργεί ως διαμορφωτής-αποδιαμορφωτής και επικοινωνεί με το DSLAM για να στέλνει και να λαμβάνει τα ευρυζωνικά δεδομένα του χρήστη από και προς το Διαδίκτυο και άλλα δίκτυα. Ένα DSLAM έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με περισσότερα από ένα modem / router. Αντίθετα, κάθε modem / router αντιστοιχεί σε μία και μόνο ευρυζωνική σύνδεση του εκάστοτε συνδρομητή.

Οι υπηρεσίες φωνής χρησιμοποιούν μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής χωρητικότητας μεταφερόμενης πληροφορίας (εύρος ζώνης) από τους αγωγούς χαλκού. Όμοια με την τεχνολογία Ethernet, η οποία μπορεί να μεταδίδει ένα Gigabit ανά δευτερόλεπτο δεδομένων μέσω των συνδέσεων χαλκού ή ισοδύναμα δεκάδες χιλιάδες ταυτόχρονες τηλεφωνικές συνομιλίες, η τεχνολογία xDSL εκμεταλλεύεται την χωρητικότητα μεταφερόμενης πληροφορίας των γραμμών χαλκού για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε μεγάλες αποστάσεις.

Εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, η τεχνολογία xDSL είναι η μοναδική μεταξύ των τεχνολογιών ευρυζωνικής πρόσβασης που οι συνδρομητές δεν ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την πρόσβαση αυτή. Λόγω του γεγονότος ότι κάθε συνδρομητής έχει τη δική του αποκλειστική σύνδεση χαλκού με το DSLAM, όλοι οι συνδρομητές μπορούν να επιτύχουν μέγιστες τιμές ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων, εφόσον η σύνδεση από το DSLAM με το Διαδίκτυο ή με άλλα δίκτυα έχει επαρκή χωρητικότητα. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της xDSL σε σχέση με άλλες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης, όπου οι συνδρομητές μοιράζονται μια ενιαία φυσική σύνδεση, όπως σε ένα καλωδιακό δίκτυο, ή μια περιορισμένη κατανομή ραδιοσυχνοτήτων, όπως σε ένα ασύρματο δίκτυο 3G ή 4G [16].

## 2.3 Η τεχνολογία ADSL

Η τεχνολογία ADSL είναι η πιο πολλά υποσχόμενη από κάθε άλλη τεχνολογία xDSL. Η ασυμμετρία που την χαρακτηρίζει επιτρέπει την ύπαρξη μεγαλύτερου εύρους ζώνης κατά το downstream από ότι κατά το upstream [3]. Η ύπαρξη μεγαλύτερου εύρους ζώνης κατά το downstream έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του προβλήματος του ηλεκτρικού θορύβου που παρατηρείται όταν, από κακή γαλβανική μόνωση ή από ανεπιθύμητη επαγωγική ζεύξη, δύο ή περισσότερα σήματα ίδιου πλάτους (στην περίπτωση του downstream) που ταξιδεύουν ταυτόχρονα παρεμβάλλονται μεταξύ τους [2]. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με την ονομασία crosstalk και δεν παρατηρείται κατά το upstream, καθώς σε αυτή την περίπτωση το πλάτος των σημάτων είναι μικρότερο αλλά και διαφορετικό επειδή τα σήματα αυτά μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές αποστάσεις. Εκτός από την ελαχιστοποίηση του φαινομένου crosstalk, η τεχνολογία ADSL είναι πάντα προσβάσιμη, γεγονός που την καθιστά ιδανική για πολλές εφαρμογές, όπως το Video on Demand (VoD), διαδικτυακές εφαρμογές και απομακρυσμένη πρόσβαση.

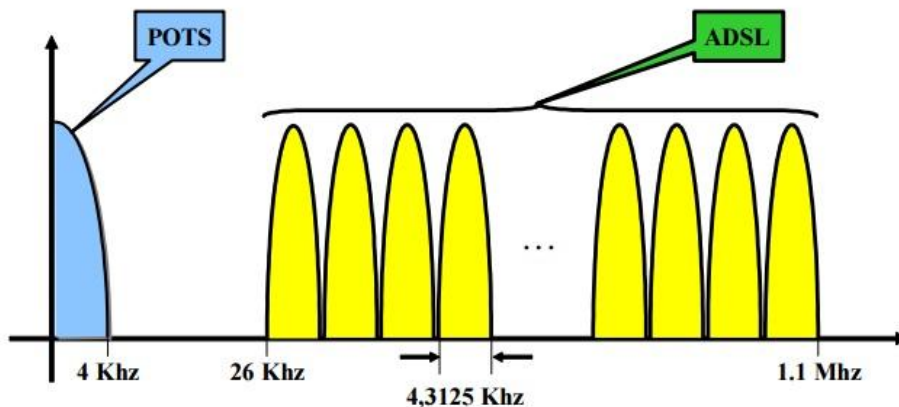
Η ζώνη συχνοτήτων για μετάδοση φωνής μέσω της τηλεφωνικής γραμμής καταλαμβάνει περίπου 3 KHz (200 Hz έως 3300 Hz), ενώ το πραγματικό εύρος ζώνης των συνεστραμμένων ζευγών των καλωδίων χαλκού που αποτελεί την τηλεφωνική γραμμή ξεπερνάει το 1 MHz [17]. Η τεχνολογία ADSL αξιοποιεί το αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης για τη μετάδοση πληροφοριών σε υψηλούς ρυθμούς. Η χρήση υψηλών συχνοτήτων επιτρέπει τη μετάδοση περισσότερων πληροφοριών με ταχύτερους ρυθμούς, όμως παράλληλα τα υψίσυχνα σήματα υφίστανται εξασθένηση με την απόσταση, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα της τεχνολογίας καθώς με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η εμβέλεια του ADSL.

Η τεχνολογία ADSL υλοποιείται μέσω τεσσάρων βασικών διαδικασιών, οι οποίες θα περιγραφούν στη συνέχεια.

### *1) Διαμόρφωση σήματος*

Διαμόρφωση ονομάζεται η διαδικασία αποστολής πληροφοριών μέσω ενός τηλεφωνικού καλωδίου, αφού πρώτα έχει κωδικοποιηθεί ηλεκτρικά. Μερικές πρώιμες υλοποιήσεις του ADSL χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση πλάτους και φάσης άνευ φέρονσας (Carrierless Amplitude and Phase modulation - CAP) προκειμένου να χωρίζουν τη γραμμή σε τρία κανάλια: φωνή, upstream και downstream [5]. Η διαμόρφωση CAP είναι σχετικά οικονομικά υλοποιήσιμη. Παρόλα αυτά, η κλιμάκωσή της σε συστήματα υψηλών ταχυτήτων είναι δύσκολη επειδή είναι τεχνική διαμόρφωσης ενός μόνο φέροντος και επομένως ευάλωτη σε παρεμβολές στενής ζώνης (narrowband interference). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε σε ADSL με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 2Mbps. Στη συνέχεια, όταν οι ρυθμοί μετάδοσης αυξήθηκαν άρχισε να χρησιμοποιείται η διακριτών πολλαπλών τόνων διαμόρφωση (Discrete Multitone Modulation - DMT) (Εικ. 2) [18].





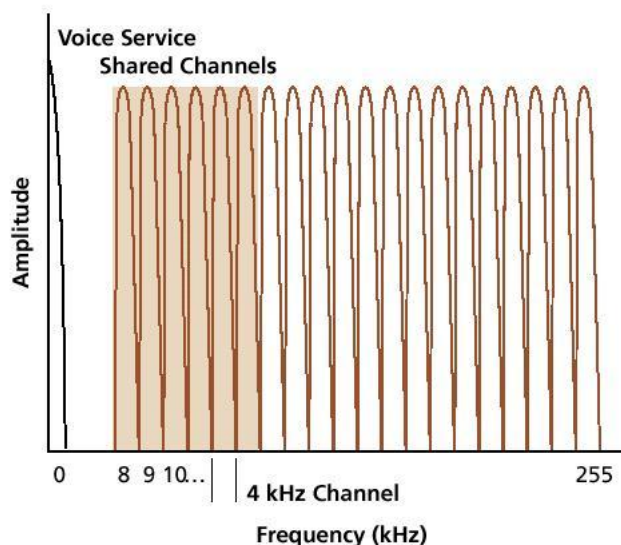
Εικόνα 2: Η τεχνική μετάδοσης DMT [18]

Η διαμόρφωση DMT είναι μια τεχνική κωδικοποίησης σήματος που εφευρέθηκε από τον John Cioffi του Πανεπιστημίου του Stanford, ο οποίος απέδειξε τη χρήση της μεταδίδοντας 8 megabyte πληροφοριών μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής μήκους 1,6 χιλιομέτρων μέσα σε ένα δευτερόλεπτο [17]. Πρόκειται για μια τεχνική κωδικοποίησης σημάτων που είναι ταχύτερη και πιο αποτελεσματική όσον αφορά την κατανομή εύρους ζώνης από την διαμόρφωση CAP. Ταυτόχρονα όμως, όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος υλοποίησης, υστερεί τις διαμορφώσεις CAP καθώς εμπεριέχει πολύπλοκες τεχνικές επεξεργασίας σήματος που αποτελούνται από εξελιγμένους αλγόριθμους και απαιτούν το σχεδιασμό πολύπλοκου hardware υλικού. Παρόλα αυτά, τα πλεονεκτήματα της DMT αποτέλεσαν βασικούς παράγοντες για την ευρεία υιοθέτηση της από τις τηλεφωνικές εταιρίες.

## II) Διαχωρισμός καναλιών

Το ADSL χρησιμοποιεί το φάσμα συχνοτήτων με σκοπό την ταυτόχρονη παροχή υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό, το διαθέσιμο εύρος ζώνης μιας τηλεφωνικής γραμμής θα πρέπει να διαιρεθεί σε πολλά κανάλια. Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται για την διαίρεση του φάσματος συχνοτήτων είναι οι εξής δύο [19]:

- πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)
- μέθοδος με ακύρωση της ηχούς (echo cancellation)

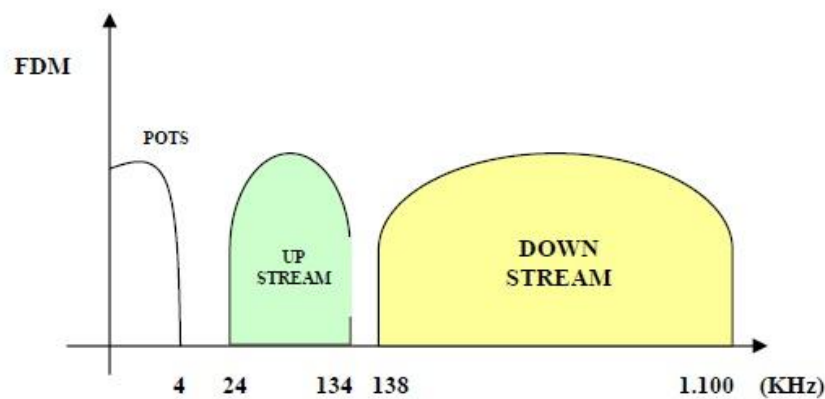


Εικόνα 3: Διαχωρισμός καναλιών στην τεχνική μετάδοσης DMT [19]

Η διαμόρφωση DMT διαιρεί ολόκληρο το φάσμα σε 256 υπο-κανάλια (bins), των οποίων το πλήθος είναι αποτέλεσμα ενός συνδυασμού αποδεκτής πολυπλοκότητας του συστήματος και βέλτιστης απόδοσης του. Από αυτά, 24 (7-31) χρησιμοποιούνται για upstream και 224 (32-255) για downstream. Κάθε υποκανάλι έχει εύρος 4,3125 KHz κι έτσι το συνολικό εύρος ζώνης είναι 1,024GHz. Το βασικό εύρος ζώνης του καναλιού της φωνής (0 - 4kHz) διαχωρίζεται επαρκώς από τα υποκανάλια αυτά και μπορεί να προσπελαστεί με τη χρήση μιας απλής συσκευής διαχωριστή (splitter). Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι παρόμοιο με την παράλληλη λειτουργία μιας τυπικής φωνητικής γραμμής και δύο πρότυπων modem, με τη μόνη διαφορά ότι η παροχή αυτής της υψηλής απόδοσης υπηρεσίας εύρους ζώνης γίνεται μέσω ενός συνεστραμμένου ζεύγους.

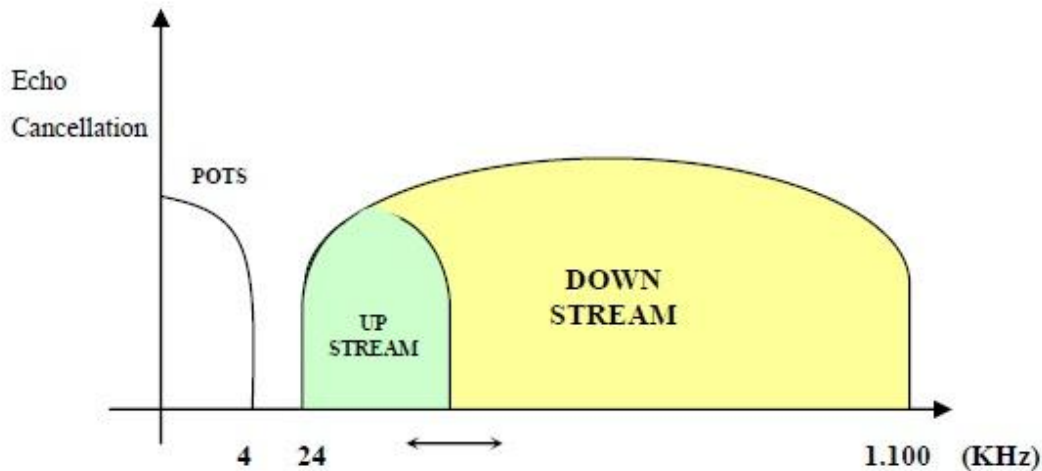
Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι ακόλουθοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων [17]:

- Upstream πρόσβαση: 20 φορές  $x8 \text{ bits} \times 4 \text{ KHz} = 640 \text{ Kbps}$
- Downstream πρόσβαση: 256 φορές  $x8 \text{ bits} \times 4 \text{ KHz} = 8,1 \text{ Mbps}$



**Εικόνα 4: Διαχωρισμός του φάσματος με την μέθοδο FDM [18]**

Κατά την τεχνική FDM, δημιουργούνται δύο ανεξάρτητες περιοχές του φάσματος: μία για την downstream και μία για την upstream μετάδοση του σήματος (Εικόνα 4). Μεταξύ των περιοχών αυτών διατηρείται μια αχρησιμοποίητη περιοχή για το σαφή διαχωρισμό τους αλλά και για την εξάλειψη ή έστω ελαχιστοποίηση περιπτώσεων πιθανών παρεμβολών [20]. Στη συνέχεια, η περιοχή του downstream διαχωρίζεται σε υποκανάλια χαμηλής και υψηλής ταχύτητας μέσω πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM). Με τον ίδιο τρόπο, η περιοχή του upstream διαχωρίζεται σε αντίστοιχα υποκανάλια χαμηλής ταχύτητας. Αν και η τεχνική αυτή δεν εκμεταλλεύεται πλήρως το διαθέσιμο φάσμα, παρουσιάζει πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την αποφυγή του πολύ σοβαρού προβλήματος της αλληλεπίδρασης (Far End CrossTalk - FEXT) του δέκτη του συνδρομητή με έναν κοντινό πομπό, καθώς και με την αποτροπή αλληλεπίδρασης μεταξύ πομπού και δέκτη του ίδιου συνδρομητή (Near End CrossTalk - NEXT) [21].



Εικόνα 5: Διαχωρισμός του φάσματος με χρήση της μεθόδου echo cancellation [18]

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η διαίρεση του φάσματος συχνοτήτων με τη μέθοδο ακύρωσης της ηχούς. Κατά τη μέθοδο αυτή η περιοχή του downstream περιλαμβάνει την περιοχή του upstream. Πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η κοινή χρήση των σχετικά χαμηλών συχνοτήτων τόσο για το downstream όσο και για το upstream, καθώς οι συγκεκριμένες συχνότητες μπορούν να μεταφέρουν μεγάλο όγκο πληροφορίας λόγω της μειωμένης απόσβεσης που υφίστανται κατά τη διάδοσή τους στη γραμμή. Αυτή η κοινή χρήση τους μπορεί επομένως να αυξήσει τη συνολική ταχύτητα του ADSL, χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει σε μέγιστο βαθμό τους χρήστες της τεχνολογίας. Ορισμένα από αυτά τα υποκανάλια χρησιμοποιούνται για αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων και για το λόγο αυτό απαιτούν ακύρωση της ηχούς (echo cancellation) για την πρόληψη αλλοίωσης, ενώ το υπόλοιπο των καναλιών χρησιμοποιούνται μόνο για μεταφορά δεδομένων από το κέντρο προς τον συνδρομητή (Εικόνα 5). Μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου αποτελούν η μεγάλη αλληλεπίδραση του δέκτη με τον πομπό του ίδιου του συνδρομητή αλλά και με παρακείμενους πομπούς καθώς και το σχετικά υψηλό κόστος των απαιτούμενων διατάξεων ακύρωσης ηχούς.

### **III) Κωδικοποίηση και διόρθωση σφαλμάτων**

Η ακεραιότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται μέσω των τηλεφωνικών γραμμών εξαρτάται από την σωστή κωδικοποίηση και ορθή αποκωδικοποίησή τους στο σημείο προορισμού (τερματικό συνδρομητή) ακόμα και στην περίπτωση που κάποια bit δεδομένων χαθούν κατά τη μεταφορά. Η επίτευξη αυτής της ακεραιότητας συνήθως πραγματοποιείται μέσω των τεχνικών κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης στο διάγραμμα χώρου σημάτων QAM (constellation encoding and decoding techniques). Για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου του θορύβου στα μεταφερόμενα δεδομένα, χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση Trellis των δεδομένων πριν την κατάληψή τους στα σημεία αστερισμού [22]. Προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία στην ακεραιότητα των δεδομένων και να ενδυναμωθεί η αντίσταση του συστήματος σε θόρυβο, χρησιμοποιείται η τεχνική αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων (Forward Error Correction FEC), στην οποία συμπεριλαμβάνονται πρόσθετα bit διόρθωσης σφαλμάτων, σύμφωνα με τον κώδικα Trellis. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιείται η ανάγκη επαναμετάδοσης των δεδομένων [22].

### **IV) Πλαισίωση και αναδιάταξη**

Η αποτελεσματικότητα της κωδικοποίησης και της διόρθωσης σφαλμάτων ενισχύεται με την σταδιακή αναδιάταξη (scrambling) των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, το τηλεφωνικό

κέντρο μεταδίδει 68 πλαίσια (frames) δεδομένων κάθε 17msec. Καθένα από τα πλαίσια αυτά λαμβάνει πληροφορίες από δύο διαφορετικούς data buffer [22].

## 2.4 Πρότυπα του ADSL

Η εξέλιξη του ADSL οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη προτύπων που ορίστηκαν από διεθνείς οργανισμούς. Τα πρότυπα αυτά δείχνουν τη λειτουργία του ADSL και έχουν οριστεί λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες από τους παρόχους ISP, τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς και τους συνδρομητές. Επιπλέον, αυτά τα πρότυπα περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τα πρωτόκολλα σύνδεσης, τον εξοπλισμό και τις μετρήσεις μετάδοσης.

Το 1994, έκανε την εμφάνισή του το φόρουμ ADSL, το οποίο σήμερα ονομάζεται Broadband Forum (και φιλοξενείται στη διεύθυνση <https://www.broadband-forum.org>), με σκοπό να βοηθήσει περισσότερο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και στη δημιουργία πρωτοκόλλων και διεπαφών για τις εφαρμογές της. Στα πολυάριθμα μέλη του συμπεριλαμβάνονταν και εκπρόσωποι αρκετών ISP και κατασκευαστών εξοπλισμού. Σήμερα, αυτό το φόρουμ είναι πολύ χρήσιμο και η επίσημη τεχνική εργασία του χωρίζεται σε πολλούς τομείς.

Το 1995, το Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων (American National Standards Institute - ANSI) ενέκρινε το πρώτο πρότυπο ADSL, το οποίο υποστήριζε μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα έως 6,1 Mbps (πρότυπο ANSI T1.413) [23]. Το πρότυπο T1.413 εξαρτάται από τη διαμόρφωση DMT και μπορεί να επιτύχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 8 Mbps και 1,5 Mbps για downstream και upstream, αντίστοιχα. Η ωφέλιμη εμβέλεια του αμερικανικού προτύπου για τις ταχύτητες αυτές είναι της τάξης των 3 με 3,5 km.

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τεχνικών Προτύπων (European Technical Standards Institute - ETSI) με τη σειρά του, δημιούργησε ειδικό συμπλήρωμα στο πρότυπο ANSI T1.413 προκειμένου να γίνει μια συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις. Έτσι, το 2001, το πρότυπο αυτό διευρύνθηκε, συμπεριλαμβάνοντας ειδικές προδιαγραφές, πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύων και άλλες βελτιώσεις. Αργότερα, όλες αυτές οι προσθήκες ενσωματώθηκαν στα διεθνή πρότυπα για το ADSL (πρότυπα G.dmt (G.992.1) και G.lite (G.992.2)), που εκπονεί η Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU). Το πρότυπο G.dmt αφορά την πρώτη έκδοση του ADSL και είναι επίσης γνωστό ως full-rate ADSL (G992.1). Το πρότυπο G.Lite (γνωστό και ως G.992.2) είναι μια μέθοδος για την εγκατάσταση του ADSL χωρίς διαχωριστή (splitter). Επιτρέπει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 1,5Mbps (downstream) και 512Kbps (upstream) με ωφέλιμη εμβέλεια της τάξης των 5,5 km.

Τον Ιούλιο του 2002 η ITU ολοκλήρωσε δύο νέα πρότυπα ADSL, τα G.992.3 και G.992.4, τα οποία αφορούν την τεχνολογία ADSL2. Στην έκδοση αυτή προστέθηκαν νέα χαρακτηριστικά και λειτουργίες με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της διασυνδεσιμότητας. Παράλληλα, το ADSL είναι πλέον δυνατόν να υποστηρίξει νέες εφαρμογές και υπηρεσίες. Με τη χρήση ειδικών τεχνικών, μεθόδων και αλγορίθμων, στο ADSL2, τα δεδομένα μπορούν να μεταφέρονται με ταχύτητα έως 12 Mbps (downstream) και 1 Mbps (upstream). Αν και η νέα αυτή ταχύτητα εξακολουθεί να επηρεάζεται από ορισμένους παράγοντες, το ADSL2 είναι σε θέση να εγγυηθεί υψηλότερη απόδοση για όλες τις πιστοποιημένες συσκευές.

Λίγους μήνες αργότερα, τον Ιανουάριο του 2003, η ITU θέσπισε ένα νέο πρότυπο, το G.992.5, που αφορά την έκδοση ADSL2plus (ADSL2+). Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων διπλασιάζεται. Έτσι, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων γίνεται πλέον 24Mbps (downstream) και 3,5Mbps (upstream) εξαρτώμενη πάντα από την απόσταση

του συνδρομητή από το DSLAM [19]. Αν και στα δύο πρώτα πρότυπα του ADSL2+, η μπάνα συχνοτήτων έφθανε τα 1,1 MHz (downstream) και 552 kHz (upstream), το ADSL2+ υποστηρίζει συχνότητες έως 2,2 MHz και 1,1 MHz, αντίστοιχα.

Η εξέλιξη των διάφορων εκδόσεων της τεχνολογίας ADSL αποτελεί επίσης αποτύπωση των τεχνολογικών βελτιώσεων που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αντιμετώπιση του ολοένα αυξανόμενου αριθμού συνδρομητών.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται μια σύνοψη των προτύπων του ADSL που αναφέρθηκαν παραπάνω.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύνοψη του προτύπων του ADSL**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΠΡΟΤΥΠΟ	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ DOWNSTREAM	ΤΑΧΥΤΗΤΑ UPSTREAM
ADSL	ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	8.0 Mbps	1.0 Mbps
ADSL	ITU G.992.2	ADSL Lite (G.lite)	1.5 Mbps	0.5 Mbps
ADSL	ITU G.992.1	ADSL (G.dmt)	8.0 Mbps	1.3 Mbps
ADSL	ITU G.992.1 Annex A	ADSL over POTS	12.0 Mbps	1.3 Mbps
ADSL	ITU G.992.1 Annex B	ADSL over ISDN	12.0 Mbps	1.8 Mbps
ADSL2	ITU G.992.3 Annex L	RE-ADSL2	5.0 Mbps	0.8 Mbps
ADSL2	ITU G.992.3	ADSL2	12.0 Mbps	1.3 Mbps
ADSL2	ITU G.992.3 Annex J	ADSL2	12.0 Mbps	3.5 Mbps
ADSL2	ITU G.992.4	splitterless ADSL2	1.5 Mbps	0.5 Mbps
ADSL2+	ITU G.992.5	ADSL2+	24.0 Mbps	1.4 Mbps
ADSL2+	ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+M	24.0 Mbps	3.3 Mbps
ADSL2++	(μέχρι 4,4 MHz)	ADSL4	52.0 Mbps	5.0 Mbps

## 2.5 Σηματοδότηση

Στην τηλεφωνία, η σηματοδότηση είναι η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ εμπλεκόμενων σημείων στο δίκτυο που ρυθμίζει, ελέγχει και τερματίζει κάθε τηλεφωνική κλήση. Στην σηματοδότηση εντός της ζώνης, η σηματοδότηση βρίσκεται στο ίδιο κανάλι με την τηλεφωνική κλήση. Σε σηματοδότηση εκτός ζώνης, η σηματοδότηση είναι σε ξεχωριστά κανάλια ειδικά για το σκοπό αυτό [67].

Στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN), η σηματοδότηση εντός ζώνης είναι η ανταλλαγή πληροφοριών σηματοδότησης (ελέγχου κλήσεων) στο ίδιο κανάλι που χρησιμοποιεί η ίδια η τηλεφωνική κλήση. Σήμερα, η επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιεί σηματοδότηση εκτός ζώνης όπως ορίζεται σε διάφορα πρότυπα σημάτων συστήματος (Signaling System - SS7) [60].

Η εκτός ζώνης σηματοδότηση είναι η τηλεπικοινωνιακή σηματοδότηση (ανταλλαγή πληροφοριών για τον έλεγχο μιας τηλεφωνικής κλήσης) που πραγματοποιείται σε ένα κανάλι που είναι αφιερωμένο για το σκοπό αυτό και ξεχωριστό από τα κανάλια που χρησιμοποιούνται για την τηλεφωνική κλήση. Η σηματοδότηση εκτός ζώνης χρησιμοποιείται

στο Signaling System 7 (SS7), το πιο πρόσφατο πρότυπο για τη σηματοδότηση που ελέγχει τις τηλεφωνικές κλήσεις του κόσμου [61].

Στις τηλεπικοινωνίες γενικά, ένα κανάλι είναι μια ξεχωριστή διαδρομή μέσω της οποίας μπορούν να ρέουν σήματα. Στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN), ένα κανάλι είναι μία από τις πολλαπλές διαδρομές μετάδοσης μέσα σε έναν ενιαίο σύνδεσμο μεταξύ σημείων δικτύου [59].

## 2.6 Κατανομή συχνοτήτων

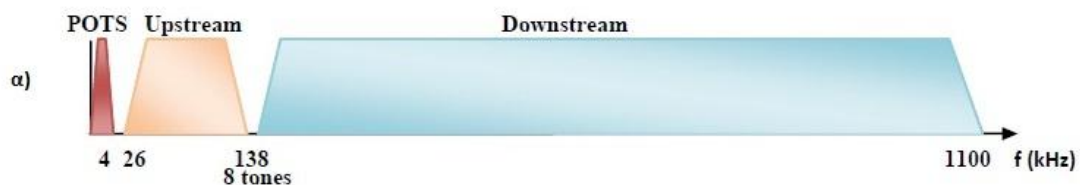
Η τεχνολογία ADSL είναι συμβατή με τις προϋπάρχουσες τεχνολογίες και κυρίως με τη μετάδοση φωνής από τις κλασικές τηλεφωνικές υπηρεσίες (POTS). Η συμβατότητα αυτή επιτυγχάνεται μέσω του διαχωρισμού του φάσματος στα εξής τμήματα [20]:

- την περιοχή (0 - 4 kHz), η οποία χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της φωνής στις υπηρεσίες τηλεφωνίας
- την περιοχή (4-26 kHz), δεν χρησιμοποιείται
- την περιοχή (26-138 kHz), που αποτελείται από 25 υποκανάλια (7-31) και χρησιμοποιείται για upstream
- την περιοχή (138-1100 kHz), που αποτελείται από 224 υποκανάλια (32-255) και χρησιμοποιείται για downstream

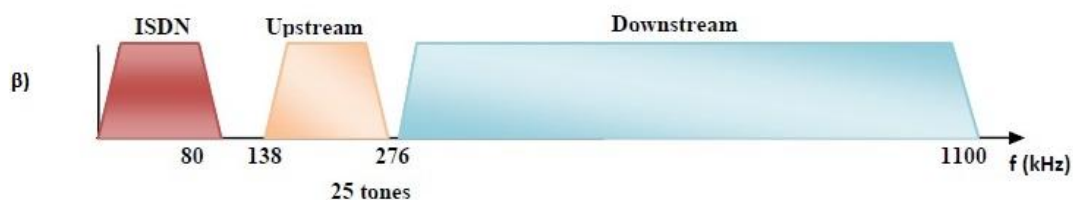
Η επόμενη περιοχή του φάσματος συχνοτήτων που είναι 110 kHz (26 - 138 kHz) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων από το ADSL modem/router προς το τηλεφωνικό κέντρο. Η τελευταία περιοχή του 1MHz (138 - 1100kHz) χρησιμοποιείται για κατέβασμα (download) δεδομένων.

Η παραπάνω κατανομή συχνοτήτων ισχύει για ADSL μέσω PSTN τηλεφωνικής γραμμής (POTS) (Εικ. 6α). Στην περίπτωση της ISDN τεχνολογίας η κατανομή αυτή αλλάζει. Η πρώτη περιοχή είναι 0-80 kHz και χρησιμοποιείται για την υπηρεσία ISDN. Η επόμενη περιοχή είναι 140 kHz (138-276 kHz) και χρησιμοποιείται για upload δεδομένων. Η τελευταία περιοχή, που χρησιμοποιείται για μεταφορά δεδομένων από το τηλεφωνικό κέντρο προς τον συνδρομητή γίνεται πλέον 800 kHz (276-1100 kHz) (Εικ. 6β).

ADSL spectrum for POTS :  
(Total bandwidth = 1.1 MHz = 255 tones)



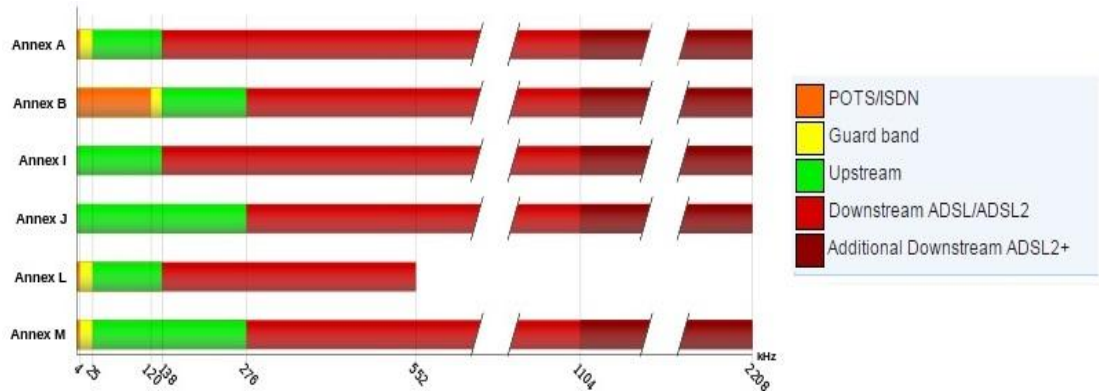
Modified ADSL spectrum for ISDN:



Εικόνα 6: Κατανομή συχνοτήτων τεχνολογίας ADSL α) στην περίπτωση του POTS (PSTN) και β) η τροποποίησή της στην περίπτωση του ISDN [24]

Και στις δυο περιπτώσεις, συνήθως, λίγα υποκανάλια, γύρω στο 31ο-32ο bin, δε χρησιμοποιούνται ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ του upstream και του downstream δεξιά και αριστερά της συχνότητας 138kHz. Αυτά τα μη χρησιμοποιούμενα υποκανάλια σχηματίζουν μια περιοχή ασφαλείας [25].

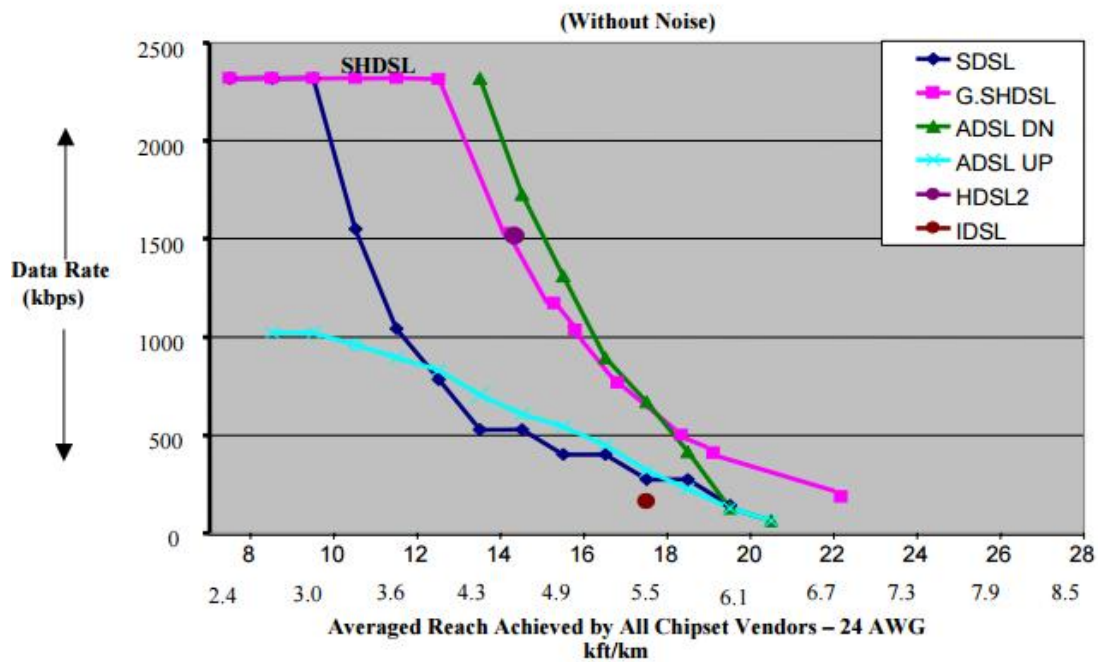
Η ίδια φιλοσοφία διατηρείται για όλες τις εκδόσεις και τα πρότυπα της τεχνολογίας ADSL. Αποτέλεσμα αυτής της φιλοσοφίας είναι η κατανομή συχνοτήτων που φαίνεται στην εικόνα 7.



Εικόνα 7: Κατανομή συχνοτήτων όλων των εκδόσεων και προτύπων του ADSL [26]

## 2.7 Εξέλιξη των διαφορετικών τεχνολογιών xDSL

Με βάση το παραδοσιακό αναλογικό σύστημα που αποτέλεσε το βασικό τηλεφωνικό δίκτυο, το ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN) ήταν η πρώτη ψηφιακή τεχνολογία μεταγωγής δικτύου που βελτίωσε την ποιότητα και την ταχύτητα της μετάδοσης του φωνητικού σήματος αλλά και της ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων και εικόνων [27]. Σε σύγκριση με την σημαντική αναβάθμιση που παρείχε το ISDN στις παραδοσιακές τηλεφωνικές γραμμές χαλκού, οι τεχνολογίες ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (xDSL) είναι περισσότερο εξελιγμένες τεχνολογικά και αυξάνουν την ταχύτητα μετάδοσης των πληροφοριών ακόμη περισσότερο. Ένα βασικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών xDSL είναι ότι χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα καλώδια χαλκού συνεστραμμένου ζεύγους και δεν απαιτούν νέα καλωδίωση όπως για παράδειγμα, οπτικές ίνες. Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 2.3, οι τεχνολογίες αυτές διαχωρίζουν τις υπηρεσίες φωνής και δεδομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες και φυσικά εκμεταλλεύονται μεγαλύτερο μέρος του φάσματος συχνοτήτων του καναλιών, γεγονός που αποτελεί μεγάλο τους πλεονέκτημα. Οι ταχύτητες DSL επηρεάζονται από την απόσταση του συνδρομητή από το τηλεφωνικό κέντρο, τα χαρακτηριστικά του τηλεφωνικού σύρματος και το είδος της τεχνολογίας xDSL.



Εικόνα 8: Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και απόσταση κάλυψης τεχνολογιών xDSL [29]

Ένα βασικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών xDSL είναι η παροχή ενός συγκεκριμένου μέρους του εύρους ζώνης που δεν ποικίλλει ανάλογα με τον αριθμό των συνδρομητών σε μια περιοχή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε γραμμή λειτουργεί ως αυτόνομο κύκλωμα του τηλεφωνικού κέντρου. Αυτή η λειτουργία διαφοροποιείται από την αντίστοιχη λειτουργία των καλωδιακών και ασύρματων τεχνολογιών που μπορεί να υπόκεινται σε συμφόρηση μεταφοράς δεδομένων, όταν όλο και περισσότεροι χρήστες αρχίζουν να χρησιμοποιούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης της εκάστοτε περιοχής. Το γεγονός αυτό καθιστά τις τεχνολογίες xDSL ιδανικές για οικιακή και επαγγελματική χρήση, που απαιτούν τη διαθεσιμότητα ορισμένου εύρους ζώνης ανά πάσα στιγμή. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία xDSL, ανεξαρτήτου μορφής και έκδοσης, είναι η πιο δημοφιλής ευρυζωνική τεχνολογία στον κόσμο. Σημαντικός παράγοντας του ρυθμού ανάπτυξης των τεχνολογιών xDSL αποτελεί συχνά η προθυμία του εκάστοτε φορέα εκμετάλλευσης να ανοίξει τον τοπικό βρόχο σε ανταγωνιστές. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως αποδέσμευση του τοπικού βρόχου (Local Loop Unbundling - LLU).

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο έγινε μια απλή αναφορά των διάφορων τεχνολογιών xDSL. Στη συνέχεια γίνεται μια παρουσίαση των τεχνολογιών αυτών με περισσότερες λεπτομέρειες. Πριν από την παρουσίαση αυτή όμως, στην εικόνα 8 φαίνεται μια σύγκριση των τεχνολογιών αυτών όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την απόσταση κάλυψης της κάθε τεχνολογίας. Τα δεδομένα σύγκρισης που φαίνονται στην εικόνα αυτή είναι μια οπτικοποίηση των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών xDSL του πίνακα 2.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Σύγκριση των τεχνολογιών xDSL**

xDSL	TAXYTHTA DOWNSTREAM	TAXYTHTA UPSTREAM	ΕΥΡΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ	ΓΡΑΜΜΗ (ΖΕΥΓΟΣ ΣΥΝΕΣ/ΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ)	ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ
ADSL	1.5 – 12 Mbps	0.5 – 1.8 Mbps	5.5 km	1	Ασυμμετρία
HDSL	1.544 Mbps	1.544 Mbps	3.5 km	2	Συμμετρία
SDSL	1.544 Mbps	1.544 Mbps	3 km	1	Συμμετρία
VDSL		13 – 52 Mbps	<1.5 km	1	Και τα δύο

### 2.7.1 ADSL2

Το ADSL2 μοιάζει στον τρόπο λειτουργίας του με το ADSL, αλλά χρησιμοποιεί βελτιωμένη τεχνολογία, προκειμένου να επιτευχθούν υψηλότερες ταχύτητες. Όπως αναφέρθηκε και στην ιστορική αναδρομή του ADSL (ενότητα 4.2), η τεχνολογία ADSL2 είναι επίσης γνωστή και ως πρότυπο G.992.3 και G.992.4 (όπως καθορίστηκε από την ITU, τον Ιούλιο του 2002) [27]. Η δεύτερη αυτή έκδοση του ADSL έχει επιπρόσθετα χαρακτηριστικά και λειτουργίες σε σύγκριση με το ADSL. Υποστηρίζει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 12 Mbps για downstream και 1 Mbps για upstream. Φυσικά, ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων εξαρτάται από την ποιότητα της γραμμής. Το ADSL2 έχει καλύτερη αντίσταση στο θόρυβο και δυναμική προσαρμογή ρυθμού μεταφοράς δεδομένων. Επιπλέον, έχει μια λειτουργία stand-by για εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος, μειώνει το χρόνο αρχικοποίησης (initialization) σε λιγότερο από 3 δευτερόλεπτα (σε σύγκριση με τα πάνω από 10 δευτερόλεπτα του ADSL).

Επιπρόσθετα, το ADSL2 αυξάνει την περιοχή της ζώνης συχνοτήτων από 552 kHz σε 1,1MHz. Οι διαμορφώσεις QAM και TDM παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρυθμό απόδοσης (throughput) σε βρόχους μεγάλων αποστάσεων και θορύβου (χαμηλού SNR). Επιπλέον, επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών πακέτου (Ethernet), λόγω της επιπρόσθετης δυνατότητας λειτουργίας πακέτου.

### 2.7.2 ADSL2+

Το ADSL2+ είναι επίσης γνωστό ως G.992.5 και G.992.4 (όπως καθορίστηκε από την ITU τον Ιανουάριο του 2003) [25]. Διπλασιάζει το ρυθμό δεδομένων του downstream σε 24,5Mbps για απόσταση 1.500 μέτρων. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του upstream παραμένει ο ίδιος (1Mbps). Για να επιτευχθεί αυτό, στο ADSL2+ το εύρος συχνοτήτων του downstream αυξήθηκε σε 2,2MHz και ο αριθμός των υποκαναλιών σε 512 (Εικ. 9). Το upstream του καναλιού δεδομένων παρέμεινε στα 140 kHz [28].



Εικόνα 9: Συχνότητες των ADSL2 & ADSL2+ [93]

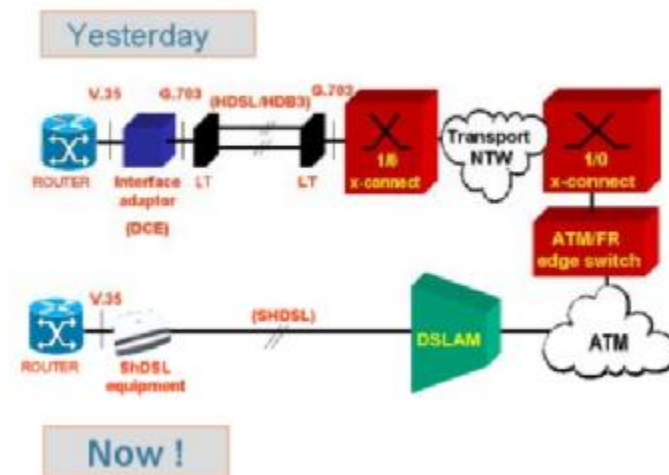
### 2.7.3 ADSL2++

Η τεχνολογία του ADSL2++ είναι η νεότερη έκδοση του ADSL. Τα χαρακτηριστικά της βελτίωσαν το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων έως και 48 Mbit/s [94], τη διαλειτουργικότητα (interoperability), ενώ εφοδιάστηκε και με νέα διαγνωστικά λειτουργικότητας. Επιπλέον, αναπτύχθηκε με τη δυνατότητα διακοπής λειτουργίας (power down mode) και με προσαρμογή ρυθμού μεταφοράς δεδομένων. Τέλος, μπορεί να υποστηρίξει εύρος ζώνης έως και 4,4MHz.

### 2.7.4 HDSL / SHDSL

Το HDSL μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 1,544 Mbps μέσω γραμμής χαλκού συνεστραμμένου ζεύγους (όμοια με σύνδεση T1) [2]. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες μπορεί καλύψουν απόσταση μέχρι 3,7 km χωρίς τη χρήση επαναληπτών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται για την απευθείας σύνδεση διακομιστών στο Διαδίκτυο και για την ανάπτυξη συνδέσεων PBX. Ένα PBX (private branch exchange) είναι ένα τηλεφωνικό σύστημα μέσα σε μια επιχείρηση που μετατρέπει τις κλήσεις μεταξύ επιχειρησιακών χρηστών σε τοπικές γραμμές επιτρέποντας ταυτόχρονα σε όλους τους χρήστες να μοιράζονται έναν ορισμένο αριθμό εξωτερικών τηλεφωνικών γραμμών. Ο κύριος σκοπός ενός PBX είναι να εξοικονομήσει το κόστος της απαίτησης μιας γραμμής για κάθε χρήστη στο κεντρικό γραφείο της τηλεφωνικής εταιρείας [90]. Επιπλέον, το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται καλύπτει την περιοχή 80 - 240 KHz. Τέλος, μπορεί να υποστηρίξει μόνο υπηρεσίες δεδομένων και όχι φωνητικές υπηρεσίες ή και τα δύο.

Το SHDSL ορίστηκε από την ITU ως πρότυπο G.991.2 και βασίστηκε στο HDSL. Μπορεί να επιτύχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από 192kbps έως 2,312Mbps σε δισύρματες γραμμές (two wire mode) και 384kbps έως 4,624Mbps σε τετρασύρματες γραμμές (four wire mode). Επιπλέον, είναι συμβατό με τις άλλες τεχνολογίες DSL χρησιμοποιώντας TC-PAM κωδικοποίηση, ενώ παρέχει βελτιωμένο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) [29].



Εικόνα 10: Απλοποίηση ενός δικτύου μισθωμένων γραμμών με χρήση του SHDSL [29]

Το SHDSL έχει πολλά οφέλη, ιδίως κατά την ανάπτυξη προηγμένων υπηρεσιών, όπως [29]:

- Μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν υψηλή απόδοση και στις δύο διαδρομές (downstream / upstream), λόγω της συμμετρικότητας που παρουσιάζει στο εύρος ζώνης του

- Εξαλείφει την ανάγκη για αναμεταδότες E1 ή T1 για αποστάσεις μικρότερες από 5,5 km (Εικ. 10)
- Μπορεί να παρέχει συνεπή εξυπηρέτηση σε περισσότερους πελάτες
- Κοστίζει λιγότερο από μισθωμένες (leased line) ή ιδιωτικές γραμμές (private lines)

Η τεχνολογία είναι κατάλληλη για φωνητικές εφαρμογές και εφαρμογές δεδομένων όταν απαιτείται υψηλή ταχύτητα downstream και upstream, όπως το Voice-over DSL (VoDSL), η φιλοξενία ιστοσελίδων (web hosting), η τηλεδιάσκεψη (videoconferencing), οι υπηρεσίες VPN, η απομακρυσμένη πρόσβαση δικτύων LAN, το διαδικτυακό gaming, οι υπηρεσίες peer-to-peer, κλπ.

### 2.7.5 VDSL

Το VDSL είναι μια τεχνολογία που επίσης λειτουργεί με ασύμμετρη μεταφορά δεδομένων, αλλά διαφέρει από το ADSL λόγω των υψηλότερων ρυθμών μεταφοράς δεδομένων και των μικρών αποστάσεων που υποστηρίζει [2]. Οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων κυμαίνονται από 13Mbps έως 52Mbps και απαιτεί την παρουσία ενός μόνο συνεστραμμένου ζεύγους χαλκού. Μπορεί να λειτουργήσει σε απόσταση από 300 μέτρα έως 1500 μέτρα και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση των συνδρομητών με μονάδες οπτικών δικτύων (Optical Network Unit - ONU).

Μπορεί επίσης να υποστηρίξει φωνητικές υπηρεσίες και να αναπτυχθεί σε υπερπλήρεις περιοχές. Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα της απόστασης, ο εξοπλισμός από το DSLAM μπορεί να μεταφερθεί από το τηλεφωνικό κέντρο στον κεντρικό καταναμητή που είναι πλησιέστερος στο χρήστη.

Στους πίνακες 3 και 4 παρουσιάζονται οι προτεινόμενοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων και τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας VDSL αντίστοιχα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Προτεινόμενοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του VDSL**

ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΕΥΡΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ
12.96 – 13.8 Mbps	1.5 km
25.92 – 27.6 Mbps	1 km
51.84 – 55.2 Mbps	0.3 km

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Χαρακτηριστικά του VDSL**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΣΥΜΜΕΤΡΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	52 Mbps
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	CAP/DMT
ΓΡΑΜΜΗ	Ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	Ναι

## 2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ADSL

Καμιά τεχνολογία δεν μπορεί να θεωρηθεί τέλεια από τη στιγμή που υπάρχουν περιορισμοί που οριοθετούν την βέλτιστη χρήση της [17]. Όλοι αυτοί οι περιορισμοί πρέπει να αντιμετωπίζονται με την συνεχή έρευνα και εξέλιξη. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με το

ADSL, το οποίο παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια από τα πλεονεκτήματα του ADSL:

- Παρουσιάζει πολύ υψηλότερες ταχύτητες σύνδεσης και πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε σχέση με τις τεχνολογίες dial-up και ISDN
- Δεν απαιτείται η ύπαρξη δεύτερης τηλεφωνικής γραμμής, καθώς οι συνδρομητές μπορούν να σερφάρουν στο Διαδίκτυο και να μιλάνε στο τηλέφωνο ταυτόχρονα
- Χρησιμοποιεί τις υφιστάμενες υποδομές (το βασικό τηλεφωνικό δίκτυο) και επομένως το κόστος και ο χρόνος που χρειάζεται για την εγκατάστασή της είναι μικρότερα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, όπως για παράδειγμα την τεχνολογία οπτικών ινών, που απαιτούν την κατασκευή νέων υποδομών αλλά και σημαντικό χρόνο εγκατάστασης στο χώρο του συνδρομητή
- Το χαρακτηριστικό της αποκλειστικής σύνδεσης μεταξύ συνδρομητή και τηλεφωνικού κέντρου διασφαλίζει τη μεταφορά δεδομένων σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες όπως αυτή που χρησιμοποιείται στο καλωδιακό modem
- Η σύνδεση είναι πάντα ενεργή, γεγονός που αποκλείει την ύπαρξη επιπλέον χρεώσεων κλήσεων από το συνδρομητή προς το τηλεφωνικό κέντρο για την ενεργοποίησή της
- Η αξιοπιστία των υπηρεσιών που παρέχει είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με τις τεχνολογίες dial-up και ISDN

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά της, το ADSL παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία όμως αντιμετωπίστηκαν σε μεγάλο βαθμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την δημιουργία βελτιωμένων εκδόσεων και προτύπων (ADSL2, ADSL2+, ADSL2++). Τα μειονεκτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

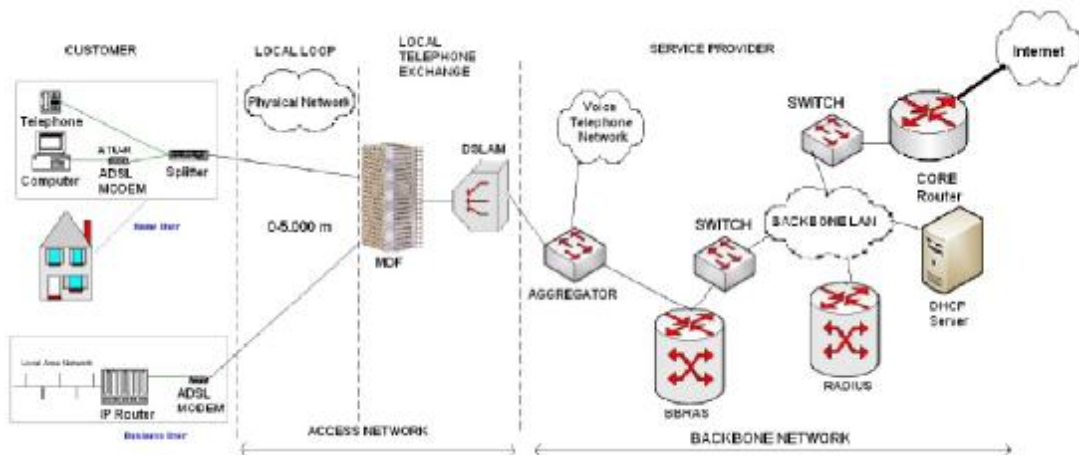
- Η απόσταση του συνδρομητή από το τηλεφωνικό κέντρο δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 5km. Οποιαδήποτε απόσταση πέραν αυτού του ορίου μειώνει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από και προς τον συνδρομητή
- Από τη στιγμή που η τεχνολογία βασίζεται στις υφιστάμενες τηλεφωνικές γραμμές συνεστραμένων αγωγών χαλκού, η ποιότητά τους δεν είναι εξασφαλισμένη. Όσο πιο παλιές είναι αυτές οι γραμμές τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες διάβρωσής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση επίδραση στις παρεχόμενες υπηρεσίες (ύπαρξη θορύβου, αλλοιώσεων, παρεμβολών, κλπ.)

Παρόλα αυτά τα πλεονεκτήματα του ADSL αντισταθμίζουν κατά πολύ τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας. Αυτός, άλλωστε, είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους το ADSL χρησιμοποιείται ευρέως στις περισσότερες χώρες για ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

### 3 Υλοποίηση του ADSL

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια γενική επισκόπηση της τεχνολογίας ADSL αλλά αναφέρθηκε επίσης ότι η τεχνολογία xDSL χρησιμοποιείται ευρέως με διαφορετικές παραλλαγές, όπως το VDSL ή το SHDSL, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της γενικής υποδομής που απαιτείται για την υλοποίηση της τεχνολογίας καθώς και των διεργασιών που πραγματοποιούνται σε όλο το μήκος σύνδεσης τηλεφωνικού κέντρου – συνδρομητή για τη σύνδεση του τελευταίου στο Διαδίκτυο. Η βασική αρχιτεκτονική της υπηρεσίας ADSL, που περιλαμβάνει την συνολική σύνδεση ενός συνδρομητή με έναν πάροχο ISP, φαίνεται στην εικόνα 11 [24]. Αρχικά παρουσιάζεται ο τερματικός εξοπλισμός (Customer Premises Equipment – CPE), ο οποίος συνδέεται στην πλευρά του συνδρομητή. Στη συνέχεια, δίνεται μια αναλυτική περιγραφή του φυσικού δικτύου σύνδεσης συνδρομητή – τηλεφωνικού κέντρου. Τέλος, δίνεται μια περιγραφή της πιο πολύπλοκης πλευράς μιας τέτοιας σύνδεσης, αυτής των ISP. Τα DSLAM είναι τα στοιχεία του δικτύου που πρόκειται να περιγραφούν και να αναλυθούν με περισσότερες λεπτομέρειες.



Εικόνα 11: Βασική αρχιτεκτονική ADSL

#### 3.1 Τερματικός εξοπλισμός

Ο τερματικός εξοπλισμός (CPE) αποτελείται από όλες τις συσκευές που απαιτούνται για την υλοποίηση της τεχνολογίας ADSL στην πλευρά των συνδρομητών. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να αποτελείται από ένα διαχωριστή (splitter) και το ATU-R (ADSL Terminal Unit-Remote) το οποίο στην πραγματικότητα είναι το DSL modem / router του κάθε συνδρομητή.

Στο χώρο του συνδρομητή, πάνω στο διαχωριστή συνδέονται απευθείας αναλογικά τηλέφωνα (και σε ορισμένες περιπτώσεις τηλέφωνα ISDN) για την υποστήριξη τηλεφωνικών υπηρεσιών. Για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο, οι υπολογιστές ή άλλες ψηφιακές συσκευές συνδέονται με τον διαχωριστή μέσω της μονάδας ATU-R. Από την άλλη μεριά, ο διαχωριστής συνδέεται με πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης (Add / Drop Multiplexers - ADM) και στη συνέχεια με το DSLAM μέσω τηλεφωνικής γραμμής χαλκού. Στη συνέχεια, ο συλλέκτης (aggregator) συλλέγει την κυκλοφορία δεδομένων από διαφορετικά DSLAM την οποία και προωθεί στο δίκτυο κορμού (backbone network).

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των CPE επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών DSL modem / router, υπολογιστών και τηλεφώνων. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 11, μια τυπική

τοπολογία εξοπλισμού της πλευράς του συνδρομητή αποτελείται από έναν υπολογιστή, ένα modem / router και ένα διαχωριστή. Τα modem / router μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες υπηρεσίες, όπως το VoIP.

Ο διαχωριστής έχει τη δυνατότητα να συνδυάσει το φωνητικό σήμα και τα δεδομένα που περνάνε μέσω του ADSL σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Έχει φίλτρα που μπορεί να διαιρέσουν το διαθέσιμο ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων της γραμμής χαλκού σε δύο περιοχές. Με τον τρόπο αυτό, τα POTS ή ISDN φωνητικά σήματα μεταδίδονται ξεχωριστά από τα δεδομένα DSL. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλοπερατά (Low Pass Filter - LPF), τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση των φωνητικών συχνοτήτων (0 - 4KHz) προς την τηλεφωνική συσκευή του συνδρομητή. Οι υπόλοιπες συχνότητες αποκόπτονται.

Οι κατασκευαστές του εξοπλισμού CPE αναζητούν συνεχώς καλύτερες firmware και hardware λύσεις [30]. Η εξέλιξη του ευρυζωνικού εξοπλισμού CPE εξαρτάται από την αντίστοιχη εξέλιξη των τεχνολογιών ευρυζωνικής πρόσβασης, έτσι ώστε να αντεπεξέρχεται στη διαφοροποίηση της μεταφοράς δεδομένων που απαιτείται από τις διαφορετικές παρεχόμενες υπηρεσίες (φωνή, δεδομένα, βίντεο) από διαφορετικούς παρόχους ISP. Ως εκ τούτου, για την υποστήριξη περισσότερων διαφορετικών τύπων μεταφοράς δεδομένων, είναι επιτακτική η ανάγκη μιας τυποποιημένης αξιολόγησης του ADSL εξοπλισμού όσον αφορά τη διαλειτουργικότητα και τη συμμόρφωση με τα πρότυπα της εκάστοτε έκδοσης της τεχνολογίας.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας ADSL απέφερε και την αντίστοιχη εξέλιξη στον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό CPE. Αρχικά έγινε ευρεία χρήση του ITU -T G.992.1 / ANSI T1 -413. Στη συνέχεια η αγορά κατακλύστηκε από εξοπλισμό ADSL με ITU-T G.992.3 ADSL2, ο οποίος παρουσίαζε βελτιώσεις όσον αφορά την ισχύ, τη δυναμική διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων και τη διάγνωση προβλημάτων της τηλεφωνικής γραμμής. Στα χαρακτηριστικά αυτά, ο νεώτερος εξοπλισμός ITU -T G992.5 ADSL2+ είχε να παρουσιάσει επιπλέον την υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας (20Mbps για βρόχους μικρότερης απόστασης από 1,5 km). Η διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού αυτού είναι πολύ σημαντική για το τοπικό δίκτυο (Local Exchange Carrier - LEC) ενός τηλεπικοινωνιακού φορέα, καθότι εξασφαλίζει πως ο εξοπλισμός CPE και ο εξοπλισμός του δικτύου έχουν κοινές και συμβατές επιλογές, χαρακτηριστικά και λειτουργίες [30]. Τα οφέλη από το χαρακτηριστικό αυτό είναι πολλά, όπως:

- Αυξάνεται η επέκταση του εξοπλισμού Διαδικτύωσης
- Βοηθιέται η μετατροπή της κατανομής του εξοπλισμού CPE
- Αυξάνεται η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας ADSL
- Αυξάνεται η δυνατότητα φορητότητας του εξοπλισμού CPE μέσω πολλαπλών ευρυζωνικών LEC

Στο αριστερό μέρος της εικόνας 11 παρουσιάζεται η τοπολογία ADSL σύνδεσης ενός οικιακού ή επιχειρηματικού συνδρομητή. Οι πληροφορίες που μεταφέρονται μέσω της τηλεφωνικής γραμμής περνάνε μέσα από έναν διαχωριστή για διαχωριστούν σε δύο διαφορετικές υπηρεσίες (τηλεφωνική επικοινωνία και πρόσβαση στο Διαδίκτυο). Στη συνέχεια, κάθε υπηρεσία προωθείται προς την τηλεφωνική συσκευή ή το ADSL modem / router, αντίστοιχα. Όταν ένας χρήστης επιθυμεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο, το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι η ενεργοποίηση της σύνδεσης ADSL. Για το λόγο αυτό, αρχικά, το ADSL modem / router θα πρέπει να συγχρονιστεί με το DSLAM και, στη συνέχεια, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση PPP. Η διαδικασία της σύνδεσης θα συζητηθεί με περισσότερες λεπτομέρειες στις επόμενες ενότητες αφού πρώτα περιγραφούν κάποια βασικά τηλεπικοινωνιακά στοιχεία και όροι.

## 3.2 Φυσικό δίκτυο

Το τηλεφωνικό δίκτυο αρχικά αναπτύχθηκε από τους επιβεβλημένους τοπικούς μεταφορείς ανταλλαγής (Incumbent Local Exchange Carriers - ILEC), οι οποίοι στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως υφιστάμενοι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών [7]. Ένας υφιστάμενος τοπικός φορέας ανταλλαγής είναι μια τοπική τηλεφωνική εταιρεία η οποία κατέχει το περιφερειακό μονοπώλιο επίγειας εξυπηρέτησης, πριν το άνοιγμα της αγοράς σε ανταγωνιστικούς τοπικούς φορείς ανταλλαγής (Competitive Local Exchange Carriers - CLEC). Για τη χώρα μας, ILEC αποτελεί ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδας (OTE). Στη συνέχεια, με το άνοιγμα της αγοράς οι CLEC άρχισαν να προσφέρουν καλύτερες και πιο ανταγωνιστικές υπηρεσίες σε καλύτερες τιμές. Για την Ελλάδα, CLEC αποτελούν εταιρείες τηλεφωνίας όπως η Hol-Vodafone, η Forthnet, η Wind, κ.α.

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι γραμμές μεταξύ του τηλεφωνικού κέντρου και των ΚΑΦΑΟ της περιοχής του συνδρομητή ονομάζονται γραμμές συνδρομητή (subscriber lines) ή τοπικοί βρόγχοι (local loops) [31]. Η ιστορία τους ξεκίνησε με την επέκταση των φωνητικών υπηρεσιών στις αρχές του 20ου αιώνα με την εγκατάσταση δισύρματων ή τετρασύρματων καλωδίων χαλκού. Εναλλακτικά, το δίκτυο πρόσβασης μπορεί να είναι ασύρματο, ομοαξονικό ή οπτικής ίνας.

Ο όρος δίκτυο πρόσβασης αναφέρεται στο τμήμα του δικτύου από το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο μέχρι τον συνδρομητή [32]. Το τμήμα αυτό, γνωστό και ως «last mile», χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τον τοπικό βρόγχο, όμως σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνει και τον εξοπλισμό CPE. Όπως φαίνεται και στο κέντρο της εικόνας 11, τα κύρια μέρη του δικτύου πρόσβασης είναι τα εξής:

- Οι γραμμές των συνδρομητών
- Το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο όπου οι γραμμές των συνδρομητών ή τοπικοί βρόγχοι τερματίζονται στον κεντρικό κατανομητή μικτονόμησης ή κύριο πλαίσιο τερματισμού (Main Distribution Frame - MDF) και η μεταγωγή φωνής (voice switching) στο δίκτυο κορμού
- Ο MDF είναι ένας ενδιάμεσος κόμβος μεταξύ του τηλεφωνικού κέντρου και των εγκαταστάσεων του συνδρομητή [33]. Πρόκειται για ένα παθητικό εξοπλισμό που λειτουργεί ως πλαίσιο διανομής σήματος και χρησιμοποιείται για τον τερματισμό των καλωδίων χαλκού του κυρίως δικτύου δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα ελεύθερης διασύνδεσης των τερματιζόμενων αυτών καλωδίων μέσω κατάλληλων καλωδίων γεφύρωσης (jumper wires). Τα MDF παρέχουν ευελιξία σε συνδυασμό με χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σύγκριση με αντίστοιχα patch-panel μικτονόμησης
- Το DSLAM είναι μια συσκευή δικτύου που χρησιμοποιεί τεχνικές πολυπλεξίας με σκοπό τη διασύνδεση διαφορετικών γραμμών στις υψηλές ταχύτητες του Διαδικτύου [34]. Αναλυτικότερη περιγραφή του DSLAM θα δοθεί στην επόμενη ενότητα

Σε γενικές γραμμές, οι λειτουργίες του φυσικού δικτύου για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών είναι οι εξής:

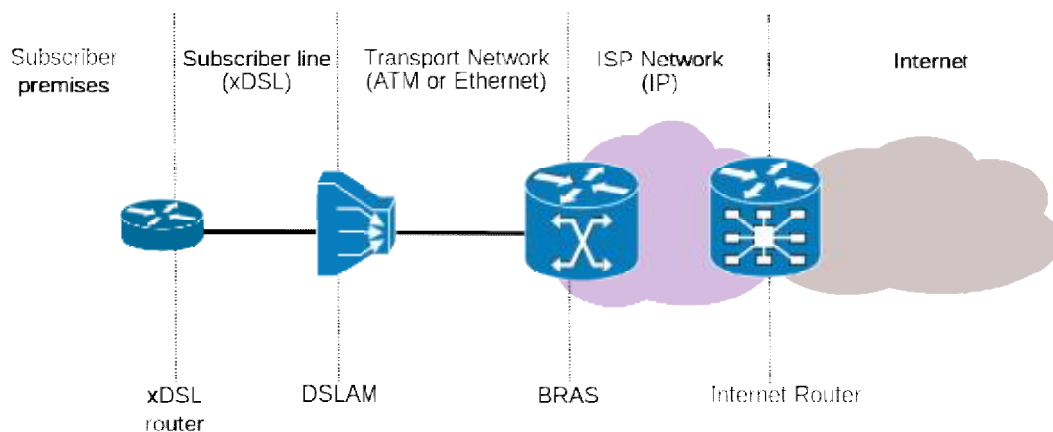
- Συγκέντρωση της κίνησης δεδομένων από τους συνδρομητές
- Σύνδεση των συνδρομητών στον τοπικό βρόγχο πρόσβασης μέσω του εξοπλισμού CPE
- Σύνδεση του δικτύου πρόσβασης με το δίκτυο κορμού

### 3.3 Το DSLAM

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, όλοι οι τοπικοί βρόγχοι τερματίζονται σε ένα τοπικό τηλεφωνικό κέντρο και πιο συγκεκριμένα στον κεντρικό κατανεμητή μικτονόμησης (MDF), όπου και πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των μεταφερόμενων πληροφοριών. Επομένως ο κατανεμητής αποτελεί σημείο διασύνδεσης των καλωδίων προερχόμενων από τους τοπικούς βρόγχους και από τα φωνητικά switch.

Στην περίπτωση που ο πάροχος ISP παρέχει μόνο το ADSL, τότε οι εισερχόμενες φωνητικές πληροφορίες μεταφέρονται απευθείας στο διαχωριστή (switch) και στη συνέχεια στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (Public Switched Telephone Network - PSTN). Το υπόλοιπο των μεταφερόμενων δεδομένων (δηλαδή, τα ψηφιακά δεδομένα) αποστέλλονται στο DSLAM μέσω ενός DSL μόντεμ [35]. Στη συνέχεια, το DSLAM προωθεί τα δεδομένα στο δίκτυο κορμού, αφού πρώτα κάνει χρήση διαδικασιών πολυπλεξίας.

Στην περίπτωση που ο πάροχος ISP παρέχει ολοκληρωμένο πακέτο υπηρεσιών δεδομένων και φωνής, όλες οι πληροφορίες διαβιβάζονται προς το DSLAM σε κάρτες φωνής και δεδομένων, αντίστοιχα, και στη συνέχεια στο δίκτυο κορμού του ISP (Εικ. 12).



Εικόνα 12: Μπλοκ διάγραμμα σύνδεσης συνδρομητή στο Διαδίκτυο [39]

Ένας πάροχος ISP μπορεί να υλοποιήσει τη σύνδεση μεταξύ των MDF, διαχωριστών και DSLAM με δύο τρόπους:

- Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, οι διαχωριστές βρίσκονται εντός του MDF. Σε αυτήν την περίπτωση, οι διαχωριστές ενσωματώνονται στο πλαίσιο του MDF και ως εκ τούτου, η επίδραση στις φωνητικές υπηρεσίες είναι η ελάχιστη δυνατή
- Στην περίπτωση που η ενσωμάτωση των διαχωριστών στον MDF δεν είναι εφικτή, τότε οι διαχωριστές τοποθετούνται κοντά στο DSLAM. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιστροφή των πληροφοριών φωνής στον MDF από τον οποίο θα διαβιβαστούν στο δίκτυο μεταγωγής της φωνής

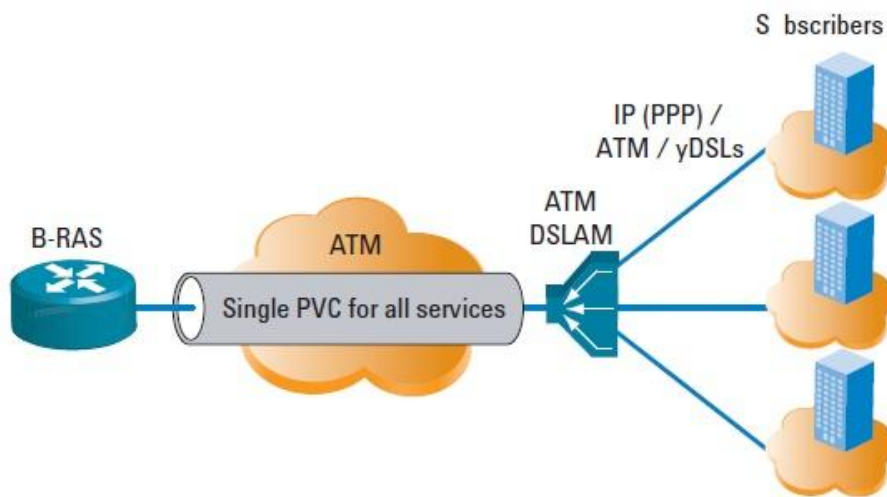
Κάθε DSLAM που έχει σχεδιαστεί για το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο περιορίζεται στα 482mm (19 inches) μήκος και τοποθετείται σε rack με ύψος 2m [24]. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 48VDC, που προέρχεται από ανορθωτική διάταξη ή από δύο μπαταρίες των 24VDC συνδεδεμένες σε σειρά. Σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές, η μέγιστη ισχύς εκπομπής του δεν ξεπερνά τα 430W. Στην Ευρώπη, τα πρότυπα που ακολουθούνται κατά την ανάπτυξη ενός DSLAM προβλέπονται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI).



### 3.3.1 Εξέλιξη της λειτουργικότητας των DSLAM

#### I) ATM DSLAM

Κατά την αρχική υλοποίηση του ADSL, στις αρχές του 21ου αιώνα, ο ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM) αποτελούσε τον κύριο τρόπο μετάδοσης δεδομένων στα υψηλής ταχύτητας δίκτυα κορμού [36]. Για το λόγο αυτό η αρχιτεκτονική των τυπικών DSL δικτύων πρόσβασης της εποχής εκείνης χρησιμοποίησε ATM μόνιμα λογικά κανάλια (Permanent Virtual Circuits – PVC) για τη σύνδεση του συνδρομητή στον απομακρυσμένο διακομιστή ευρυζωνικής πρόσβασης (Broadband Remote Access Server B-RAS) μέσω του DSLAM (Εικ. 13). Στον διακομιστή B-RAS συνδέεται ο πάροχος ISP για να παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω του ADSL. Ο διακομιστής B-RAS θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα. Σε αυτή την αρχιτεκτονική τα DSLAM πρώτης γενιάς με ATM θύρα uplink, γνωστά και ως ATM DSLAM, είχαν σχεδιαστεί ως απλοί ATM πολυπλέκτες Layer-2 με σκοπό τον απρόσκοπτο τερματισμό «τελευταίου μιλίου» των ATM μέσω DSL (ATM over DSL) συνδέσεων στο δίκτυο πρόσβασης ATM.



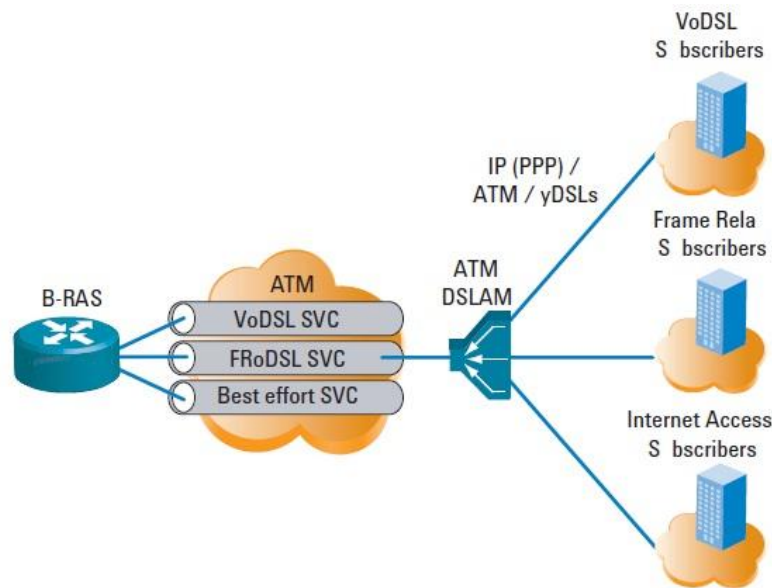
Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική ADSL με χρήση ATM DSLAM [36]

#### II) ATM DSLAM δεύτερης γενιάς

Τα ATM DSLAM πρώτης γενιάς ήταν απολύτως επαρκή για τη συγκέντρωση απλών διαδικτυακών υπηρεσιών (συνήθως σερφάρισμα στο Διαδίκτυο) και χρησιμοποιούσαν ποιότητα υπηρεσιών (QoS) μέσω των PVC συνδέσεών τους [36]. Καθώς τα ADSL δίκτυα επεκτάθηκαν και προς εταιρικούς συνδρομητές, οι πάροχοι υπηρεσιών άρχισαν να προσφέρουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (Value Added Services –VAS) βάσει συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreements - SLA), όπως FRoDSL (Frame Relay πάνω από DSL), VPN (Virtual Private Networks) και VoDSL (Voice over DSL), με αποτέλεσμα το επίπεδο της ποιότητας QoS των ATM DSLAM πρώτης γενιάς να καταστεί ανεπαρκές.

Για το λόγο αυτό, έκαναν την εμφάνισή τους τα ATM DSLAM δεύτερης γενιάς, τα οποία είχαν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της ATM μεταγωγής και της πλήρους αξιοποίησης των προσωρινά εικονικών κυκλωμάτων (Switched Virtual Circuit - SVC) αλλά και του συνόλου των υπηρεσιών, της διαμόρφωσης της κυκλοφορίας δεδομένων και της ιεράρχησης των δυνατοτήτων της. Ως εκ τούτου, τα ATM DSLAM με δυνατότητα μεταγωγής ATM, έδωσαν τη δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσιών να προσφέρουν στους εταιρικούς πελάτες τους SVC υψηλής προτεραιότητας για μεταφορά φωνής, αναμετάδοση πλαισίου (frame relay) ή

υπηρεσίες VPN και SVC χαμηλής προτεραιότητας για σερφάρισμα στο Διαδίκτυο για οικιακούς χρήστες (Εικ.14).

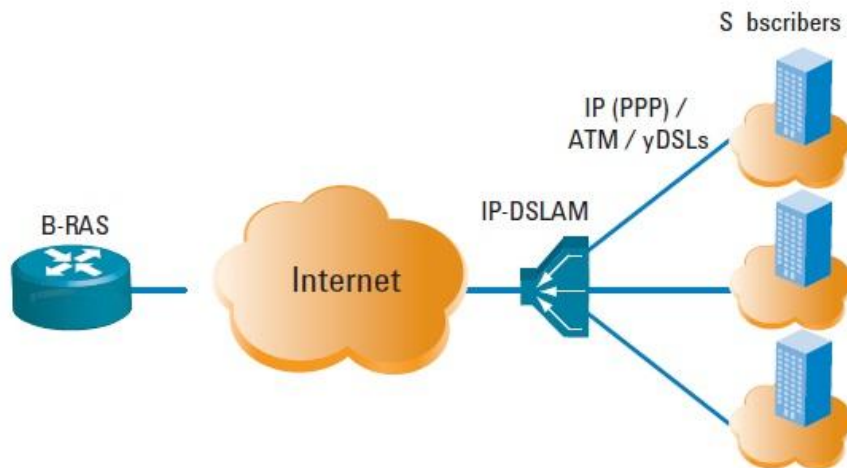


Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική ADSL με χρήση ATM DSLAM δεύτερης γενιάς [36]

### III) Ethernet ή IP-DSLAM

Η περαιτέρω αναζήτηση για παροχή πιο επικερδών υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, όπως VoIP, IPTV, VoD και HDTV, σε συνδυασμό με πρόσβαση υψηλής ταχύτητας στο Διαδίκτυο (συνδυασμός γνωστός ως Triple-Play), δημιούργησε νέες απαιτήσεις εύρους ζώνης, επεκτασιμότητας και QoS [36]. Παρόλο που τα υπάρχοντα δίκτυα ATM είχαν τις απαιτούμενες δυνατότητες QoS, ο δύσκολος σχεδιασμός για την κάλυψη παροχής όλων αυτών των υπηρεσιών καθώς και το υψηλό κόστος συντήρησης του δικτύου ανάγκασαν τους παρόχους του δικτύου DSL να στραφούν προς τις Ethernet και IP-based αρχιτεκτονικές ως εναλλακτική λύση του ATM δικτύου κορμού. Η εξέλιξη των προτύπων του Ethernet, όπως το Metro Ethernet, δίνει τη δυνατότητα παροχής της απαιτούμενης αντοχής και ποιότητας για την ραχοκοκαλιά (backbone) του δικτύου μεταφοράς [37]. Επίσης η έλευση των προτύπων Gigabit και 10 Gigabit Ethernet έδωσε τη δυνατότητα για παροχή κατά πολύ μεγαλύτερου εύρους ζώνης απ' ό τι το ATM [35]. Για τους λόγους αυτούς το Ethernet αποτελεί πλέον μια φθηνότερη και πιο δημοφιλή επιλογή ως πρωτόκολλο μεταφοράς στα μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Area Networks MAN). Σε εγκαταστάσεις όπου οι συνδρομητές χρησιμοποιούν το ADSL για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ένα MAN, είναι λογική η χρήση DSLAM με Ethernet θύρα uplink, τα οποία είναι γνωστά και ως IP-DSLAM. Η αγορά κινήθηκε ραγδαία προς την κατεύθυνση των IP-DSLAM επειδή είναι φθηνότερα στην εφαρμογή τους, παρουσιάζουν μεγαλύτερη κλιμάκωση και είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα από τα ATM DSLAM [35].

Στην πιο απλή εφαρμογή του ένα IP-DSLAM λειτουργεί ως ένα switch Layer-2 που προωθεί την κυκλοφορία των δεδομένων του συνδρομητή σε μητροπολιτικά B-RAS ή σε πύλες ευρυζωνικού δικτύου (Broadband Network Gateways - BNG) μέσω Ethernet VLAN κάνοντας χρήση των δυνατοτήτων Ethernet πολλαπλής διανομής [36] (Εικ. 15).

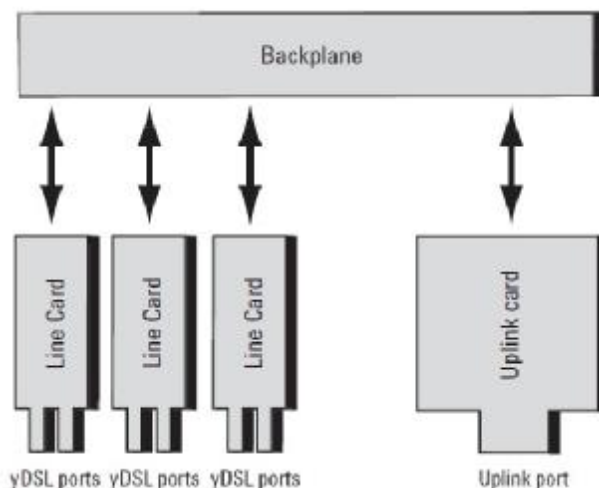


Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική ADSL με χρήση Ethernet ή IP-DSLAM [36]

### 3.3.2 Αρχιτεκτονική DSLAM

Εξετάζοντας την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου, ένα DSLAM, ανεξαρτήτως είδους (ATM ή Ethernet / IP), τυπικά περιλαμβάνει έναν αριθμό καρτών γραμμής xDSL που τερματίζουν τους τοπικούς βρόγχους των συνδρομητών και μία ή περισσότερες ATM OC-3/12/48 ή Ethernet / Gigabit Ethernet κάρτες uplink για την μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο κορμού (Εικ.16). Οι κάρτες αυτές (γραμμής και uplink) αλληλοσυνδέονται με έναν εσωτερικό διάυλο επικοινωνίας συγκέντρωσης (aggregation backplane) υψηλής χωρητικότητας που μπορεί να περιλαμβάνει ATM ή Ethernet bridge ή switch [36]. Η πλειοψηφία των σύγχρονων DSLAM είναι πολλαπλών υπηρεσιών και μπορούν να υποστηρίξουν πλήθος τεχνολογιών xDSL (ADSL, ADSL2, ADSL2+, ADSL2++, SDSL, VDSL, κλπ) και ως εκ τούτου, υποστηρίζουν αντίστοιχους τύπους καρτών γραμμής xDSL.

Εξετάζοντας την επεξεργασία της κυκλοφορίας δεδομένων, προκύπτουν δύο ξεχωριστά μοντέλα αρχιτεκτονικής DSLAM: το συγκεντρωτικό και το κατανεμημένο [39].



Εικόνα 16: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής DSLAM υψηλού επιπέδου [36]

Στο συγκεντρωτικό μοντέλο (centralized model) όλη η διαδικασία της πολύπλοκης επεξεργασίας της μεταφοράς δεδομένων (π.χ. ταξινόμηση, φιλτράρισμα, QoS, κλπ) εκτελείται σε μία μόνο κεντρική κάρτα uplink. Οι κάρτες γραμμής στο συγκεντρωτικό μοντέλο είναι φθηνές, δεν παίζουν κανένα απολύτως ρόλο και περιέχουν μόνο τα βασικά

στοιχεία που απαιτούνται για τη μεταβίβαση της κυκλοφορίας των δεδομένων στις κάρτες uplink. Η συγκεντρωτική αρχιτεκτονική θεωρείται καταλληλότερη για υψηλής πυκνότητας, μεγάλης κλίμακας και συγκεντρωτικής συσσωμάτωσης DSLAM με μέτρια πολύπλοκες απαιτήσεις επεξεργασίας της κυκλοφορίας. Παράδειγμα της συγκεντρωτικής υλοποίησης DSLAM αποτελούν τα προϊόντα που βασίστηκαν στον Intel IXP2400 NP σχεδιασμό.

Στο καταναμημένο μοντέλο (distributed model) μέρος ή ακόμα και το σύνολο της διαδικασίας της πολύπλοκης επεξεργασίας της μεταφοράς δεδομένων γίνεται από έξυπνες κάρτες γραμμής οι οποίες βασίζονται σε προγραμματιζόμενους επεξεργαστές δικτύου (Linecard Traffic Processors - LTP). Οι κάρτες uplink σε μια τέτοια αρχιτεκτονική μπορεί να είναι τόσο απλές όσο ένα Ethernet switch (στην περίπτωση του Ethernet δικτύου κορμού), ή να απαιτούν ένα πλήρως εξοπλισμένο επεξεργαστή δικτύου για πιο σύνθετα σενάρια, όπως το δίκτυο κορμού IP/MPLS [38].

Το καταναμημένο μοντέλο είναι διαδεδομένο σε DSLAM με δυνατότητες πολύπλοκης επεξεργασίας της μεταφοράς δεδομένων, όπως τα IP-DSLAM με Layer-3 IP λειτουργία, μεθόδους πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (AAA), ποιότητα QoS και επιβολή ασφάλειας.

Το καταναμημένο μοντέλο αρχιτεκτονικής DSLAM παρουσιάζει έναν αριθμό σημαντικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με το συγκεντρωτικό μοντέλο, όπως:

- την δυνατότητα επεξεργασίας της τοπικής κυκλοφορίας δεδομένων στις κάρτες γραμμής (τοπικό multicasting και μεταγωγή της τοπικής peer-to-peer κυκλοφορίας δεδομένων)
- το γραμμικό κόστος επεκτασιμότητας του DSLAM, με άλλα λόγια, ένα DSLAM αρχικά μπορεί να περιλαμβάνει λίγες και φθηνές κάρτες uplink, όμως υπάρχει η δυνατότητα επέκτασής του με επιπρόσθετες κάρτες γραμμής, με αποτέλεσμα το κόστος του DSLAM να αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των εγκατεστημένων καρτών

### **3.3.3 Χαρακτηριστικά του DSLAM**

Αν και τα χαρακτηριστικά των επιδόσεων και η ανάλυση των επιδόσεων των DSLAM είναι σύνθετα ζητήματα, αξίζει να γίνει μια αναφορά στις βασικές μετρήσεις που συνήθως τα χαρακτηρίζουν και αφορούν την απόδοση και την επεκτασιμότητά τους [39].

#### ***I) Χωρητικότητα συνδρομητών***

Από τη στιγμή που τα DSLAM παρέχουν υπηρεσίες για πολλούς συνδρομητές μέσω των DSL θυρών τους, οι πιο βασικές μετρήσεις χωρητικότητας ενός DSLAM είναι η πυκνότητα γραμμής καθώς και η χωρητικότητα συνδρομητών και συνεδριών (session). Ανάλογα με τον τύπο των DSLAM και την λειτουργικότητά τους, αυτές οι μετρήσεις μπορεί να έχουν λόγο ένα-προς-ένα (one to one ratio) ή ένα-προς-πολλά (one to many ratio). Λόγω της διαφορετικής φιλοσοφίας της αρχιτεκτονικής τους, οι διάφοροι τύποι DSLAM μπορεί να έχουν χωρητικότητα γραμμών, συνδρομητών και συνεδριών που κυμαίνονται από μονοψήφιους αριθμούς για αυτόνομες συσκευές έως δεκάδες χιλιάδες για DSLAM κεντρικών κόμβων με υψηλή χωρητικότητα.

Μαζί με τις μετρήσεις μέγιστης χωρητικότητας, η επεκτασιμότητα και οι παράμετροι απόδοσης, όπως οι ρυθμοί εκκίνησης και τερματισμού μιας γραμμής ή μιας συνεδρίας είναι εξαιρετικά σημαντικά στοιχεία που καθορίζουν την αξιολόγηση των επιδόσεων ενός DSLAM.

#### ***II) Ρυθμός απόδοσης***

Από τη στιγμή που τα DSLAM πρέπει να δεσμεύουν το εύρος ζώνης στις υπηρεσίες που παρέχουν σε όλους τους συνδρομητές, τα χαρακτηριστικά του εύρους ζώνης ή του ρυθμού απόδοσης (throughput) ενός DSLAM παίζουν βασικό ρόλο στην ανάλυση των επιδόσεων του. Τυπικά τα DSLAM μετρώνται για το ρυθμό απόδοσης του συγκεντρωτισμού τους χρησιμοποιώντας όλες τις διεπαφές γραμμής και τους διαφορετικούς τύπους μεταφοράς δεδομένων (μεγέθη πακέτων, όγκοι συνεδριών) για διάφορα σενάρια επεξεργασίας της κυκλοφορίας δεδομένων του συνδρομητή (με IGMP Snooping, QoS, AAA, κλπ - ανάλογα με τις δυνατότητες του DSLAM) [39].

### ***III) Απώλεια πακέτων, καθυστέρηση και διακύμανση καθυστέρησης***

Οι σύγχρονες triple-play υπηρεσίες, όπως οι υπηρεσίες VoDSL, VoIP, IPTV και VoD, που υποστηρίζονται από DSLAM, είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε παραμέτρους δικτύου, όπως απώλεια πακέτων, καθυστέρηση (latency) και διακύμανση καθυστέρησης (jitter) [40]. Τα χαρακτηριστικά αυτά, παρουσιάζονται κατά την διαδικασία της επεξεργασίας της κυκλοφορίας των δεδομένων των συνδρομητών από τα DSLAM και παίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της απόδοσης τους. Τυπικά, οι παράμετροι αυτοί μετρούνται υπό φορτίο κυκλοφορίας δεδομένων σε διάφορους βαθμούς κορεσμού της χωρητικότητας του DSLAM, με διαφορετικούς τύπους κυκλοφορίας δεδομένων και σε διάφορα σενάρια επεξεργασίας της κυκλοφορίας αυτής [39].

### ***IV) Ειδικές μετρήσεις απόδοσης λειτουργικότητας ή υπηρεσιών***

Τα σύγχρονα IP-DSLAM παρέχουν δυνατότητες πέρα από απλή συνάθροιση της κυκλοφορίας δεδομένων, όπως QoS, AAA, μεταφορά δεδομένων σε διακομιστές B-RAS (λήξη συνεδρίας), ασφάλεια, κλπ. [39]. Τα χαρακτηριστικά απόδοσης που σχετίζονται με αυτές τις δυνατότητες (όπως η χωρητικότητα συνεδριών PPP, οι ρυθμοί εκκίνησης και τερματισμού μιας συνεδρίας, οι ρυθμοί ταυτοποίησης συνδρομητών ή η ποιότητα QoS υπό φορτίο) πρέπει να μετρηθούν και να αναλυθούν σε συνδυασμό με τη σχετική αξιολόγηση των επιδόσεων του τύπου του DSLAM.

Επιπλέον, ειδικές μορφές παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως οι VoDSL, VoIP και IPTV, επιβάλλουν σαφή και συγκεκριμένα κριτήρια απόδοσης για τις συσκευές που μεσολαβούν κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς των δεδομένων από τον συνδρομητή και έχουν διαφορετικές τυπικές μετρήσεις απόδοσης για τις υπηρεσίες αυτές, όπως ο βαθμός σαφήνειας της φωνητικής κλήσης ή η καθυστέρηση αλλαγής τηλεοπτικού καναλιού. Σε αυτό το πλαίσιο, τα DSLAM που υποστηρίζουν τις υπηρεσίες αυτές λειτουργικά ή ως μέρος της γραμμής μεταφοράς πληροφοριών, συνήθως αξιολογούνται για την εν λόγω υπηρεσία με συγκεκριμένες μετρήσεις απόδοσης χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένες μεθοδολογίες ελέγχου.

#### **3.3.4 DSLAM και οπτικά δίκτυα**

Τα περισσότερα DSLAM τοποθετούνται μέσα σε τοπικά τηλεφωνικά κέντρα [35]. Παρ' όλα αυτά, μικρότερα και πιο ανθεκτικά DSLAM μπορεί να τοποθετηθούν σε καμπίνες ΚΑΦΑΟ που μοιάζουν με τοπικά τηλεφωνικά κέντρα και έτσι, να βρίσκονται πιο κοντά στους τελικούς χρήστες. Το μοντέλο αυτό επιτρέπει στους παρόχους ISP την αξιοποίηση του δικτύου ADSL, με καλύτερο τρόπο, δεδομένου ότι με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων μέσω οπτικών ινών.

Το DSLAM που τοποθετείται πλησίον των εγκαταστάσεων των συνδρομητών για διασύνδεση με το παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network – PON) έχει διαφορετικές φυσικές προδιαγραφές από το DSLAM του τοπικού τηλεφωνικού κέντρου. Υπάρχουν διαφορές στο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας, στο εύρος της απόστασης

λειτουργίας, στην κατανάλωση ισχύος ανά modem / router καθώς επίσης και διαφορές στη θερμότητα που εκλύεται. Το VDSL ταιριάζει καλύτερα σε τέτοια περιβάλλοντα.

### 3.4 Εξοπλισμός παρόχου ISP

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται κάποια από τα σημαντικότερα στοιχεία του εξοπλισμού ενός παρόχου ISP. Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο υλοποίησης της τεχνολογίας ADSL. Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναφέρονται αυτά που αφορούν την βασική αρχιτεκτονική υλοποίησης του ADSL και φαίνονται στην εικόνα 11.

Τα στοιχεία που θα αναλυθούν είναι τα εξής:

- οι μέθοδοι πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (Authentication, Authorization, Accounting – AAA),
- η απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευσης χρήστη διεπιλογής εισόδου (Remote Authentication Dial-In User Service – RADIUS),
- ο ευρυζωνικός διακομιστής απομακρυσμένης πρόσβασης (Broadband Remote Access Server – B-RAS),
- τα πρωτόκολλα DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) και PPP (Point to Point Protocol).

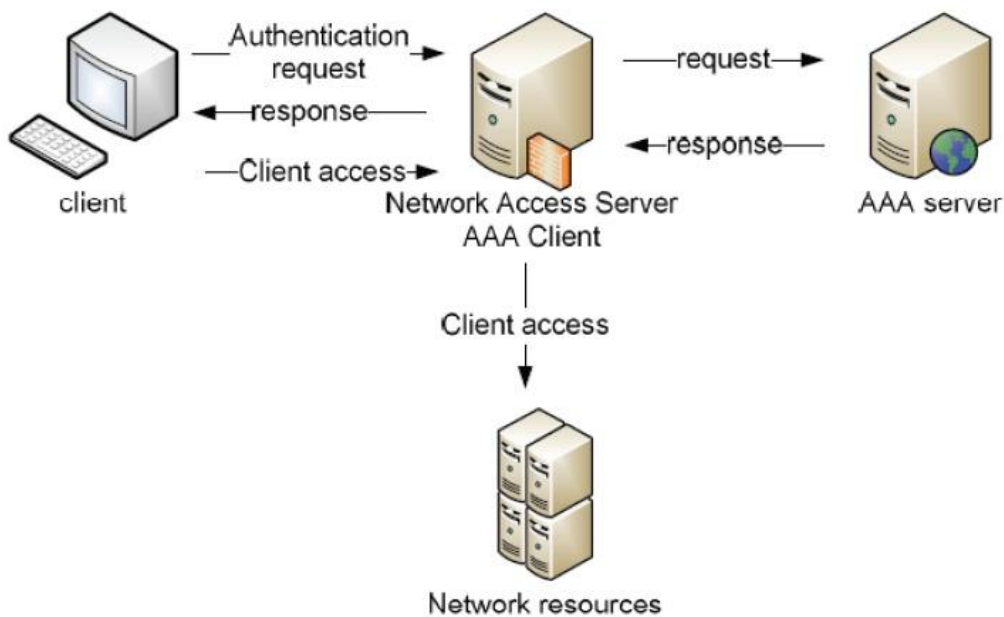
#### 3.4.1 Μέθοδοι πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (Authentication, Authorization, Accounting - AAA)

Οι μέθοδοι πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (Authentication, Authorization, Accounting – AAA) ουσιαστικά αποτελούν ένα σύστημα ελέγχου που αφορά την πρόσβαση των πελατών σε ένα διακομιστή δικτύου ή σε άλλους υπολογιστικούς πόρους [41]. Σκοπός του συστήματος ελέγχου AAA αποτελεί επίσης η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των πελατών μετά την απόκτηση αυτής της πρόσβασης. Οι μέθοδοι αυτές αποτελούν το γνωστό πρωτόκολλο RFC 3127, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο τριών λειτουργιών ασφαλείας:

- την αυθεντικοποίηση ή ταυτοποίηση (authentication)
- την εξουσιοδότηση χρήσης (authorization)
- την διαχείριση λογαριασμού (accounting)

##### ***I) Αυθεντικοποίηση (Authentication)***

Η μέθοδος αυθεντικοποίησης ή ταυτοποίησης αφορά τη διαδικασία κατά την οποία αποδεικνύεται η ταυτότητα του χρήστη [41]. Η ταυτοποίηση αυτή γίνεται μέσω ενός μοναδικού συνόλου διαπιστευτηρίων ελέγχου ταυτότητας (authentication credentials) για κάθε χρήστη που μπορεί να είναι κρυπτογραφημένα. Τα διαπιστευτήρια αυτά είναι τα γνωστά όνομα χρήστη (user name) και κωδικός πρόσβασης (password).

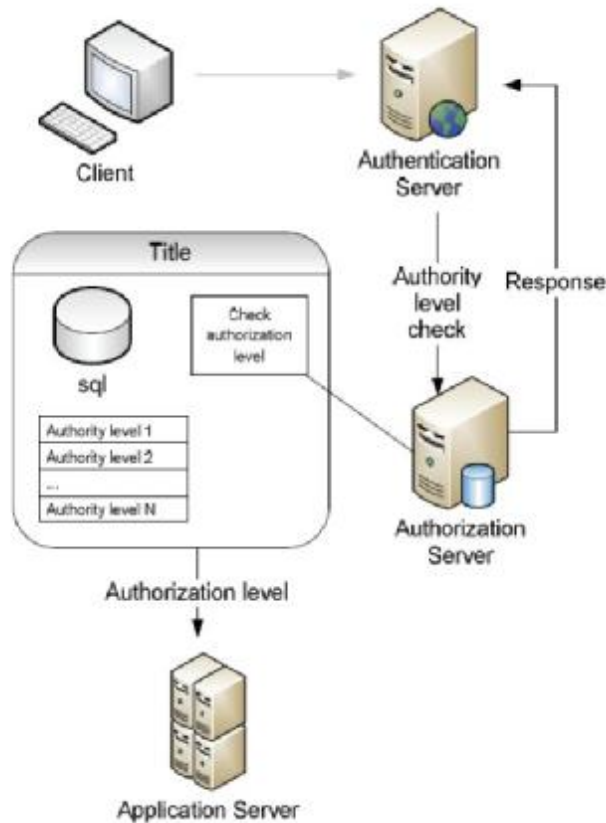


Εικόνα 17: Διαδικασία ελέγχου ταυτότητας χρήστη [42]

Υπάρχουν δύο μέθοδοι ελέγχου ταυτότητας: η μέθοδος client-based και η μέθοδος client-server. Η δεύτερη μέθοδος προτιμάται περισσότερο επειδή είναι πιο ασφαλής. Στη μέθοδο αυτή, ο πελάτης στέλνει ένα αίτημα στο σύστημα πρόσβασης δικτύου (Network Access Server - NAS), στο οποίο περιέχεται το σύνολο των διαπιστευτηρίων ελέγχου ταυτότητας [42]. Όταν το NAS λάβει τα διαπιστευτήρια αυτά, προωθεί την αίτηση ταυτοποίησης στον διακομιστή AAA, ο οποίος ελέγχει την αυθεντικότητα των στοιχείων αυτών [43]. Αν τα διαπιστευτήρια είναι σωστά, ο διακομιστής AAA στέλνει θετική απάντηση στο NAS, το οποίο, στη συνέχεια, δίνει απάντηση πρόσβασης στον πελάτη. Μετά από τη διαδικασία αυτή, ο συνδρομητής μπορεί να έχει πρόσβαση στους πόρους του δικτύου. Στην εικόνα 17 φαίνεται η διαδικασία ελέγχου ταυτότητας.

## ***II) Εξουσιοδότηση χρήσης (authorization)***

Η λειτουργία αυτή καθορίζει αν ένας χρήστης έχει πρόσβαση ή όχι στο δίκτυο πόρων. Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται και το είδος των δραστηριοτήτων που ένας χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να εκτελεί [41].



Εικόνα 18: Διαδικασία εξουσιοδότησης χρήσης ενός συνδρομητή [42]

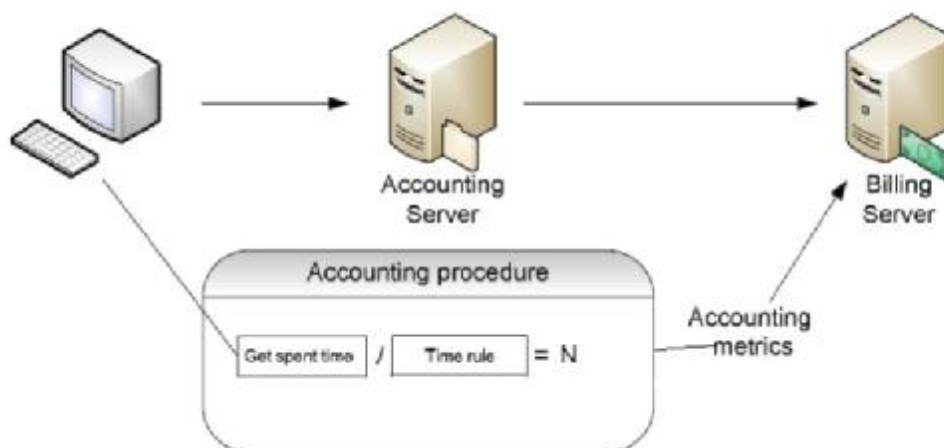
Μετά από έναν επιτυχή έλεγχο ταυτότητας, ο διακομιστής ταυτοποίησης (authentication server) στέλνει ένα αίτημα στο διακομιστή εξουσιοδότησης (authorization server) ώστε να ελεγχθεί το επίπεδο εξουσιοδότησης χρήσης του πελάτη που είναι αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων (δηλαδή SQL). Μετά την διαδικασία εξουσιοδότησης, τα αποτελέσματα αποστέλλονται στο διαχειριστή πόρων (Resource Manager) ο οποίος βρίσκεται στο διακομιστή εφαρμογών (Application Server). Με τον τρόπο αυτό, ο διαχειριστής πόρων ενημερώνεται για τη συναλλαγή των χρηστών με επίπεδα και πόρους [44]. Στην εικόνα 18 παρουσιάζεται η διαδικασία της εξουσιοδότησης χρήσης ενός συνδρομητή.

### III) Διαχείριση λογαριασμού (accounting)

Η λειτουργία διαχείρισης λογαριασμού είναι μια μέθοδος παρακολούθησης της κατανάλωσης των πόρων του δικτύου [41]. Επίσης χρησιμοποιείται για τη συλλογή και την αποστολή κρίσιμων πληροφοριών του διακομιστή, όπως η ταυτότητα κάθε χρήστη, η χρονική περίοδος που βρισκόταν στο δίκτυο, οι υπηρεσίες στις οποίες είχε πρόσβαση κλπ. Τα δεδομένα της διαχείρισης λογαριασμού χρησιμοποιούνται ευρέως στην τιμολόγηση, τη διαχείριση ή τον έλεγχο (auditing).

Η διαδικασία του accounting για τη χρήση των πόρων του δικτύου μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι μέσω υπολογισμού της διάρκειας της συνεδρίας του χρήστη [44]. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα προωθούνται στο διακομιστή χρέωσης (billing server). Η έναρξη του χρόνου συνεδρίας γίνεται με το φόρτωμα μιας σελίδας για την οποία ο συνδρομητής έχει εξουσιοδότηση χρήσης, ενώ η συνεδρία λήγει όταν ο χρήστης κλείνει τον φυλλομετρητή ιστοσελίδων (web browser). Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η διαδικασία της διαχείρισης λογαριασμού ενός χρήστη.



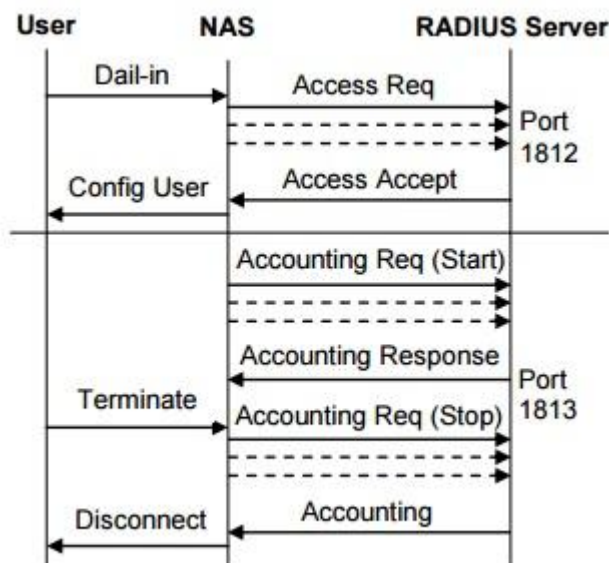


Εικόνα 19: Διαδικασία διαχείρισης λογαριασμού ενός χρήστη [42]

### 3.4.2 Απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευσης χρήστη διεπιλογής εισόδου (RADIUS)

Η απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευσης χρήστη διεπιλογής εισόδου (Remote Authentication Dial-In Service - RADIUS) ουσιαστικά προσφέρει σε έναν πάροχο ISP τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, δηλαδή τις υπηρεσίες AAA [43]. Το πρωτόκολλο RADIUS είναι ένα πρωτόκολλο AAA το οποίο δίνει τη δυνατότητα μιας κεντρικής διαχείρισης των διαπιστευτηρίων ελέγχου ταυτότητας και των λογαριασμών των χρηστών. Επίσης, έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την χρήση ή ακόμα και την κοινή χρήση μιας ταυτότητας σε διαφορετικά πρωτόκολλα διαχείρισης.

Το RADIUS είναι ένα πρωτόκολλο πελάτη-διακομιστή (client-server protocol). Ο RADIUS client (τυπικά το NAS) περνά τις πληροφορίες χρήστη στον RADIUS server και ενεργεί ανάλογα με την απόκριση που θα έχει από αυτόν. Στη συνέχεια, ο RADIUS server λαμβάνει το αίτημα του χρήστη για σύνδεση, κάνει την ταυτοποίηση του χρήστη και επιστρέφει τις κατάλληλες πληροφορίες για την παροχή υπηρεσιών προς το χρήστη. Όλα αυτά τα μηνύματα RADIUS αποστέλλονται ως πρωτόκολλο UDP (User Datagram Protocol) [45]. Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται μια τυπική ακολουθία μηνυμάτων μεταξύ RADIUS client και server που αφορούν τη διαδικασία ταυτοποίησης και εξουσιοδότησης χρήσης.



Εικόνα 20: Διάγραμμα τυπικής ακολουθίας μηνυμάτων RADIUS client και server [45]

Η σύνδεση του χρήστη ξεκινάει με ένα πακέτο αιτήματος πρόσβασης (Access Request) από το διακομιστή NAS. Το πακέτο αυτό περιέχει το όνομα του χρήστη, τον κωδικό πρόσβασης (κρυπτογραφημένο), τη θύρα και τη διεύθυνση IP του NAS. Το πρωτόκολλο RADIUS χρησιμοποιεί το UDP ως πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτων μεταξύ πελάτη και διακομιστή. Αρχικά, η επικοινωνία γινόταν μέσω της UDP θύρας 1645, όμως λόγω κοινής χρήσης της με την υπηρεσία datametrics εγκαταλείφθηκε. Για το λόγο αυτό, το πρότυπο RFC 2865 καθόρισε ως νέα θύρα επικοινωνίας UDP την 1812 [46].

Όταν ο RADIUS server λάβει ένα αίτημα πρόσβασης από ένα χρήστη τότε ψάχνει τα διαπιστευτήριά του στη βάση δεδομένων. Αν το όνομα του χρήστη δεν υπάρχει στη βάση δεδομένων, ο RADIUS στέλνει την απάντηση «Απόρριψη Πρόσβασης», η οποία μπορεί να περιέχει ένα κείμενο που να εξηγεί το λόγο ή τους λόγους της απόρριψης.

Στην περίπτωση που τα διαπιστευτήρια του χρήστη (όνομα χρήστη και κωδικός πρόσβασης) είναι σωστά, ο RADIUS στέλνει την απάντηση «Αποδοχή πρόσβασης», η οποία περιέχει τα ζεύγη χαρακτηριστικών-τιμών (attribute-value pairs) που είναι οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε συνεδρία. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να περιλαμβάνουν τη διεύθυνση IP που πρόκειται να εκχωρηθεί στο χρήστη, το είδος της υπηρεσίας, το είδος πρωτοκόλλου και μια λίστα πρόσβασης.

### 3.4.3 Ευρυζωνικός εξυπηρετητής απομακρυσμένης πρόσβασης (B-RAS)

Ο ευρυζωνικός διακομιστής απομακρυσμένης πρόσβασης (Broadband Remote Access Server – B-RAS) είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση της κίνησης του δικτύου ενός παρόχου από και προς το DSLAM. Ο διακομιστής B-RAS ανήκει στο δίκτυο κορμού ενός ISP και συγκεντρώνει τις συνεδρίες από το δίκτυο πρόσβασης [36]. Πολιτική διαχείρισης και QoS μπορούν να εφαρμοστούν στον B-RAS.

Ο διακομιστής B-RAS είναι υπεύθυνος για τα ακόλουθα καθήκοντα:

- Συγκεντρώνει την έξοδο του DSLAM
- Εφαρμόζει πολιτικές QoS
- Δρομολογεί την κίνηση στο δίκτυο κορμού

Ο διακομιστής B-RAS είναι ένα σημείο τερματισμού PPP. Έτσι, είναι υπεύθυνος για την ανάθεση «παραμέτρων συνεδρίας», όπως τη διεύθυνση IP των χρηστών. Επιπλέον, αποτελεί το πρώτο «IP άλμα» από το χρήστη στο Διαδίκτυο και στη διασύνδεση με τα συστήματα AAA [50].

#### 3.4.4 Το πρωτόκολλο DHCP

Το πρωτόκολλο δυναμικής καταχώρησης IP διευθύνσεων (Dynamic Host Configuration Protocol - DHCP) αυτοματοποιεί την ανάθεση των «παραμέτρων του δικτύου» σε συσκευές που συνδέονται σε αυτό. Όταν μια συσκευή (DHCP client) συνδέεται σε ένα δίκτυο, μεταδίδει ένα ερώτημα αναζήτησης του διακομιστή DHCP. Ο διακομιστής DHCP διαθέτει μια δεξαμενή (pool) με διευθύνσεις IP και παραμέτρους διαμόρφωσης (domain name, προεπιλεγμένη πύλη).

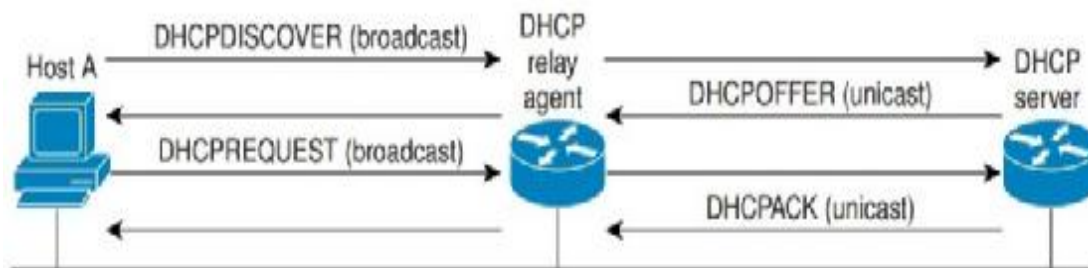
Όταν ο διακομιστής DHCP λαμβάνει μια αίτηση, εκχωρεί μια διεύθυνση IP και παραμέτρους διαμόρφωσης (προεπιλεγμένη πύλη, μάσκα υποδικτύου) στον DHCP client. Συνήθως, το ερώτημα ξεκινά όταν η συσκευή ενεργοποιείται και ολοκληρώνεται πριν από την έναρξη της επικοινωνίας IP με άλλους χρήστες.

Σύμφωνα με την υλοποίηση, υπάρχουν τρεις κοινές μέθοδοι κατανομής διευθύνσεων IP [49]:

- **Δυναμική Κατανομή (Dynamic Allocation):** Ο διακομιστής DHCP διαθέτει μια σειρά από διευθύνσεις IP από τις οποίες εκχωρεί μία για περιορισμένο χρονικό διάστημα στον εκάστοτε DHCP client, κάθε φορά που αυτός συνδέεται στο δίκτυο. Οι διευθύνσεις δεν είναι μόνιμες και μπορούν να επαναεκχωρηθούν
- **Αυτόματη κατανομή (Automatic Allocation):** Ο διακομιστής DHCP διαθέτει μια σειρά από διευθύνσεις IP από τις οποίες εκχωρεί μία μόνιμα στον εκάστοτε DHCP client, κάθε φορά που αυτός συνδέεται στο δίκτυο. Κάθε φορά που ο DHCP client επανασυνδέεται στο δίκτυο χρησιμοποιεί την συγκεκριμένη διεύθυνση. Για το λόγο αυτό ο DHCP server κρατά πίνακα με τις εκχωρημένες διευθύνσεις
- **Στατική Κατανομή (Static Allocation):** Ο διακομιστής DHCP έχει έναν πίνακα στον οποίο διατηρούνται οι διευθύνσεις MAC και IP του εκάστοτε DHCP client. Οι διευθύνσεις IP εκχωρούνται σε αυτή την περίπτωση σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες, ο διακομιστής DHCP δίνει την άδεια στους DHCP client να χρησιμοποιήσουν τις διευθύνσεις IP για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, βάσει μίσθωσης. Πριν από το τέλος του μισθωμένου χρόνου, ο DHCP client ζητά παράταση και έτσι η IP δεν εκχωρείται σε άλλους χρήστες. Τέλος, ο διακομιστής DHCP είναι ένα στοιχείο του δικτύου κορμού και σε πολλές περιπτώσεις ο διακομιστής B-RAS έχει διπλή λειτουργία: και ως διακομιστής B-RAS και ως διακομιστής DHCP.

Στην εικόνα 21 παρουσιάζεται η επικοινωνία DHCP server και client για τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν στην παρούσα υποενότητα.



Εικόνα 21: Επικοινωνία DHCP server & client για εκχώρηση διεύθυνσης IP [49]

### 3.4.5 Το πρωτόκολλο PPP

Η επικοινωνία μέσω του Διαδικτύου μπορεί να επιτευχθεί μόνο στην περίπτωση που κάθε χρήστης ή συσκευή συνοδεύονται από μια μοναδική διεύθυνση IP. Επίσης χρειάζεται ένα πρωτόκολλο από σημείο σε σημείο που να μπορεί να υποστηρίξει την επικοινωνία αυτή. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται από σημείο σε σημείο (Point to Point Protocol – PPP) [47].

Το πρωτόκολλο PPP είχε αρχικά οριστεί για την άμεση σύνδεση μεταξύ συσκευών μέσω μισθωμένης γραμμής. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση συνδέσεων μέσω άλλων αρχιτεκτονικών, όπως μέσω ATM (δημιουργώντας το πρωτόκολλο PPPoA (PPP over ATM)) και μέσω Ethernet (δημιουργώντας το πρωτόκολλο PPPoE (PPP over Ethernet)). Ως εκ τούτου, στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης υλοποιούνται συνήθως αυτές οι δύο διαφορετικές μορφές του πρωτοκόλλου PPP. Υπάρχει επίσης και ένας συνδυασμός των δύο αυτών πρωτοκόλλων που ονομάζεται PPP μέσω Ethernet μέσω ATM ή PPPoEoA. Το PPP είναι ένα συνδεσμολογικό (connection oriented) πρωτόκολλο και προσφέρει όλη την ευελιξία και ευκολία στη χρήση που συνδέεται με τις άλλες αρχιτεκτονικές. Επιπλέον, υποστηρίζει την προώθηση πακέτων μόνο σε συγκεκριμένες διευθύνσεις IP και ως εκ τούτου ενισχύει την ασφάλεια. Για το λόγο αυτό, είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ευρέως από τους περισσότερους παρόχους ευρυζωνικών υπηρεσιών ISP.

#### I) Πρωτόκολλο PPPoA

Οι αρχικές υλοποιήσεις του ADSL βασίστηκαν στην αρχιτεκτονική ATM. Επομένως, το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το PPPoA. Στην αρχιτεκτονική αυτή, χρησιμοποιείται ένας διακομιστής B-RAS για τον τερματισμό μεγάλου αριθμού συνδέσεων PPPoA. Η σύνδεση PPPoA μπορεί να τερματιστεί στο τερματικό του συνδρομητή, όμως αυτό συνήθως απαιτεί την εγκατάσταση επιπρόσθετου πολύπλοκου λογισμικού και μιας ακριβής ATM κάρτας διασύνδεσης δικτύου (Network Interface Card - NIC) στον υπολογιστή του χρήστη ή την ύπαρξη ενός DSL modem (ATU-R) που να υποστηρίζει PPPoA [47]. Έτσι, το πρωτόκολλο PPPoA προέρχεται από το ATU-R του χρήστη και τερματίζει στο διακομιστή B-RAS, στον πάροχο ISP. Η σύνδεση μεταξύ ATU-R και B-RAS γίνεται μέσω καναλιών ATM PVC. Στη συνέχεια, το BRAS συγκεντρώνει όλα τα κανάλια PVC δημιουργώντας μια IP ροή δεδομένων, τα οποία και προωθεί προς τους upstream routers και το Διαδίκτυο.

#### II) Πρωτόκολλο PPPoE

Κατά τη μετάβαση των δικτύων σε Ethernet, έκανε την εμφάνισή του το πρωτόκολλο PPPoE ως εναλλακτική του PPPoA [34]. Τα πλεονεκτήματα του PPPoE έναντι του PPPoA είναι πολλά (δεν απαιτείται κάρτα NIC κάρτα, το PPPoE υποστηρίζει πολλές υπηρεσίες μέσω της ίδιας σύνδεσης), όμως απαιτεί την εγκατάσταση λογισμικού PPPoE στον υπολογιστή του χρήστη [48].

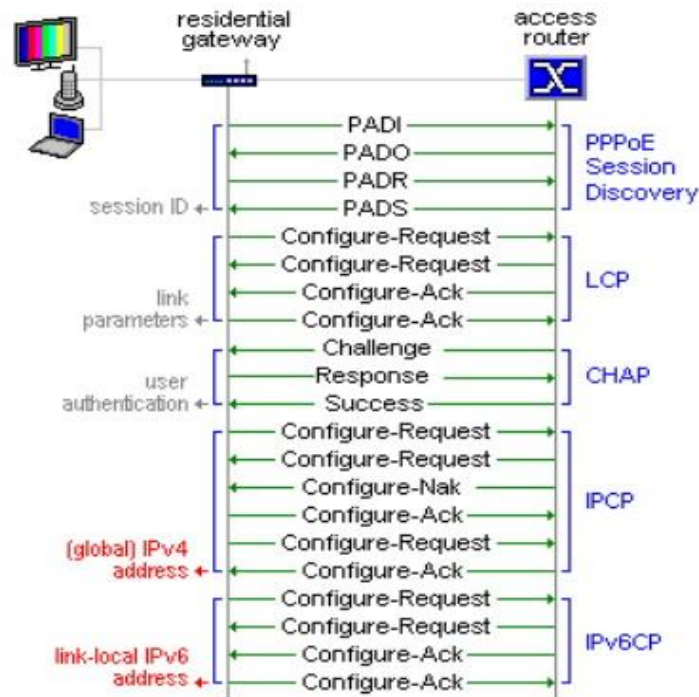
Το PPPoE συνήθως αποτελεί μια τυπική ADSL ευρυζωνική λύση. Δεδομένου ότι ο υπολογιστής του χρήστη είναι συνδεδεμένος με modem / router μέσω καλωδίου Ethernet, δεν υπάρχει καμία ανάγκη μετάφρασης πολλών πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων. Αντ' αυτού, το Ethernet μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλη τη διαδρομή του φυσικού δικτύου, από το modem / router του χρήστη μέχρι το router συγκέντρωσης της κίνησης δεδομένων στο τηλεφωνικό κέντρο. Ως εκ τούτου, είναι λογική η επέκταση του PPP σε ολόκληρο το μήκος της σύνδεσης αυξάνοντας έτσι το εύρος των οφελών που συνδέονται με το πρωτόκολλο και εξαλείφοντας επίσης την απαίτηση για οποιαδήποτε μετάφραση πρωτοκόλλων. Με τον τρόπο αυτό, η εκτέλεση του PPP στο τερματικό του χρήστη και η συνέχιση της συνεδρίας σε όλη τη διαδρομή μέχρι τον router συγκέντρωσης στις εγκαταστάσεις του παρόχου ISP, είναι μια εφικτή διαδικασία.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, οι υπολογιστές ενσωματώνουν πρωτόκολλα μεταφοράς, τα οποία χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο για να μεταφέρουν τις πληροφορίες εφαρμογής, αλλά και να στείλουν διάφορες άλλες πληροφορίες, ώστε να παρέχουν έλεγχο και διόρθωση ή ανάκτηση από σφάλματα. Υπάρχει ένα φάσμα πολυπλοκότητας στα πρωτόκολλα μεταφοράς, ανάλογα με τις απαιτήσεις εφαρμογής. (Τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα μεταφοράς είναι τα UDP, RTB και TCP).

Το μόνο μειονέκτημα της λύσης του PPPoE είναι ότι απαιτεί την εγκατάσταση επιπρόσθετου λογισμικού PPPoE στο τερματικό του χρήστη, κάτι όμως που μπορεί και να χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα για τους παρόχους υπηρεσιών. Οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να διανέμουν CD στους πελάτες τους, που να περιέχει την κατάλληλη στοίβα πρωτοκόλλου PPPoE (που συνήθως ονομάζεται «shim») [47]. Στο CD αυτό μπορούν επίσης να περιλαμβάνονται και άλλα προγράμματα, όπως ένα GUI front-end για την υπηρεσία τους καθώς και άλλα εργαλεία διαχείρισης και διαγνωστικά εργαλεία. Έτσι, το λογισμικό πελάτη PPPoE μπορεί να εγκατασταθεί με διαφάνεια, μαζί με οποιεσδήποτε συνοδευτικές υπηρεσίες utility που επιθυμεί ο πάροχος υπηρεσιών.

### ***III) Δημιουργία συνεδρίας PPPoE***

Το PPPoE περιλαμβάνει έναν απλό μηχανισμό εύρεσης του διακομιστή PPPoE (B-RAS) με σκοπό την επικοινωνία του με τον host του χρήστη. Για το λόγο αυτό, ο host μεταδίδει ένα αίτημα (PADI) για να δημιουργήσει μια σύνδεση [47] (Εικ. 22). Όλοι οι πιθανοί B-RAS απαντούν σε αυτό το αίτημα (PADO) προσφερόμενοι να γίνουν το σημείο τερματισμού της συνεδρίας. Στη συνέχεια, ο host επιλέγει ένα διακομιστή B-RAS (PADR) και αυτός αποκρίνεται εκχωρώντας ένα αναγνωριστικό συνόδου (session-id).



Εικόνα 22: Ροή PPPoE δημιουργίας συνεδρίας [47]

Η ροή PPPoE, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 22Εικόνα 1, περιλαμβάνει επίσης και τη φάση δημιουργίας μιας συνεδρίας PPP. Αφού αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία μιας dial-up σύνδεσης, η φάση αυτή, ακόμα και στην περίπτωση του ADSL, διαπραγματεύεται τα χαρακτηριστικά της γραμμής, όπως το μέγιστο μέγεθος του MTU (Maximum Transmission Unit), το πρωτόκολλο ελέγχου ταυτότητας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί καθώς και το πρωτόκολλο παρακολούθησης της ποιότητας της σύνδεσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Στην εικόνα παρουσιάζεται μια επισκόπηση της δημιουργίας μιας συνεδρίας PPPoE. Παρά το γεγονός ότι στην εικόνα φαίνεται ο κύκλος ζωής της σύνδεσης αυτής, στην πραγματικότητα οι πάντα ενεργές ευρυζωνικές συνδέσεις σπάνια (αν όχι ποτέ) τερματίζονται κανονικά [48].

#### IV) Ταυτοποίηση χρήστη

Το PPPoE πιστοποιεί όλους τους χρήστες που έχουν πρόσβαση στο δίκτυο με την ανάθεση σε αυτούς ενός user\_id και ενός κωδικού πρόσβασης. Αυτή η πιστοποίηση είναι ενσωματωμένη στο διακομιστή RADIUS. Η διαδικασία της επαλήθευσης της ταυτότητας του χρήστη αναφέρθηκε σε προηγούμενη υποενότητα. Μετά την δημιουργία της συνεδρίας και της διαχείρισης του λογαριασμού του χρήστη στο διακομιστή RADIUS, η διαχείριση των χρηστών απλοποιείται [48].

#### V) Εκχώρηση διευθύνσεων

Το PPP περιλαμβάνει μια διαδικασία για την εκχώρηση χαρακτηριστικών Layer 3 χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα ελέγχου δικτύου (Network Control Protocol - NCP). Το πρωτόκολλο NCP που χρησιμοποιείται για την εκχώρηση διευθύνσεων IP σε μια σύνδεση PPP, είναι το πρωτόκολλο ελέγχου IP (IP Control Protocol - IPCP) [47].

Ο διαχωρισμός μεταξύ της εγκατάστασης σύνδεσης και της κατανομής διεύθυνσης IP καθιστά δυνατή την κατανόηση του ποιος είναι ο συνδρομητής πριν αποφασίσει πώς να χειριστεί τη συνεδρία του: Είτε τερματίζει τη συνεδρία τοπικά είτε διοχετεύει τη συνεδρία μέσω σήραγγας (tunnel) σε έναν χονδρέμπορο (wholesale). Το Layer 2 Tunneling Protocol

(L2TP) είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τρόπους σύνδεσης των αιτούντων πρόσβαση με τους πελάτες τους που συνδέονται με τα DSLAM του χονδρεμπόρου. Το όνομα τομέα (domain name) που παρέχεται στα διαπιστευτήρια του χρήστη επιτρέπει την αυτοματοποιημένη υπηρεσία ή την επιλογή ISP. Αυτή η δυνατότητα του PPP είναι ένας βασικός λόγος που υπαγορεύει το λόγο για τον οποίο το PPP θα παραμείνει το κυρίαρχο πρωτόκολλο συνεδρίας για παρόχους που προσφέρουν χονδρικές υπηρεσίες (wholesale) σε φορείς παροχής υπηρεσιών τρίτων μερών (third party ISP).

Για να γίνει πιο κατανοητό ένας πάροχος υπηρεσιών δικτύου (network service provider - NSP) είναι μια εταιρεία που κατέχει, εκμεταλλεύεται και πωλεί πρόσβαση στην υποδομή και στις υπηρεσίες του διαδικτύου. Ένας ISP μπορεί να αγοράσει χονδρικό (wholesale) εύρος ζώνης από ένα NSP, το οποίο παρέχει συνδεσιμότητα στους πελάτες του. Στη συνέχεια, οι πελάτες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω της υποδομής του ISP, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με το NSP [68].

### ***VI) Παρακολούθηση συνεδρίας***

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό του PPP είναι η συνδεοστρεφτότητά του, γεγονός που του επιτρέπει να παρακολουθεί την ποιότητα της γραμμής σύνδεσης [47]. Στις τηλεπικοινωνίες, η συνδεοστρέφια (connection-oriented) περιγράφει ένα μέσο μετάδοσης δεδομένων στο οποίο οι συσκευές στα τελικά σημεία χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο για να δημιουργήσουν μια σύνδεση από άκρο σε άκρο πριν από την αποστολή οποιωνδήποτε δεδομένων. Η υπηρεσία πρωτοκόλλου προσανατολισμού συνδέεται μερικές φορές με μια «αξιόπιστη» υπηρεσία δικτύου, επειδή εγγυάται ότι τα δεδομένα θα φτάσουν στη σωστή σειρά. Το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP) είναι ένα πρωτόκολλο συνδεοστρέφιας. Για συνδεοστρεφή επικοινωνία, κάθε τελικό σημείο πρέπει να μπορεί να μεταδίδει έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί [77].

Μια άλλη σημαντική πτυχή του PPP είναι ότι είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο σε συνεδρίες που παρακολουθεί την ποιότητα της γραμμής. Χρησιμοποιώντας τα keepalives PPP, και τα δύο τελικά σημεία μπορούν να παρακολουθήσουν εάν η συνεδρία εξακολουθεί να λειτουργεί. Οι τυπικοί χρόνοι στους οποίους το PPP διατηρείται σε αυτή την κατάσταση είναι της τάξης των 30 δευτερολέπτων. Αν λείψουν μερικά συνεχόμενα keepalive, ο διακομιστής B-RAS θα τερματίσει τη συνεδρία και να καθαρίσει όλες τις πληροφορίες κατάστασης. Ο client συνήθως θα προσπαθήσει να αποκαταστήσει τη συνεδρία αυτόματα. Η αποκατάσταση ξεκινά με την αποστολή ενός μηνύματος setup από τον client προς το δίκτυο.

Με την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου έχει ολοκληρωθεί η προσέγγιση της προαπαιτούμενης θεωρίας. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι το ADSL λειτουργεί χρησιμοποιώντας το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για τις τηλεφωνικές κλήσεις. Σε μια τηλεφωνική επικοινωνία, γενικά, η γραμμή τερματίζεται σε ένα ψηφιακό πολυπλέκτη πρόσβασης γραμμής συνδρομητών (DSLAM) όπου ένας άλλος διαχωριστής συχνότητας διαχωρίζει το σήμα φωνητικής ζώνης για το συμβατικό τηλεφωνικό δίκτυο. Τα δεδομένα που μεταφέρονται από το ADSL δρομολογούνται συνήθως μέσω του δικτύου δεδομένων της τηλεφωνικής εταιρείας (ISP) και τελικά φθάνουν σε ένα συμβατικό διαδικτυακό πρωτόκολλο (IP) δικτύου.

## 4 Υπηρεσίες μέσω ADSL

Οι πάροχοι ISP μπορούν να προσφέρουν πολλές υπηρεσίες στους οικιακούς ή επιχειρηματικούς πελάτες τους. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται μέσω πολλών και διαφορετικών τεχνολογιών, η πιο δημοφιλής αυτή τη στιγμή είναι το ADSL. Οι εξελίξεις στον τομέα του εξοπλισμού του συνδρομητή (CPE) τον έχουν καταστήσει ένα είδος πύλης που οδηγεί προς την εύκολη πρόσβαση σε κάθε είδους παρεχόμενης υπηρεσίας. Κάποιες από τις υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν συνδυασμό επικοινωνιών εικόνας, ήχου και δεδομένων γεγονός που απαιτεί την εξέλιξη του μηχανισμού πρόσβασης [51].

Διαφορετικές υπηρεσίες μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικές και πιθανόν αντικρουόμενες απαιτήσεις από τον εκάστοτε μηχανισμό πρόσβασης. Το βίντεο συνεχούς ροής (streaming video) χαρακτηρίζεται από την ανοχή του σε καθυστερήσεις μετάδοσης αλλά παρουσιάζει ανοχή σε σφάλματα μετάδοσης. Τα φωνητικά σήματα απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση (low latency) στη μετάδοσή τους, αλλά παρουσιάζουν σχετική ανοχή σε σφάλματα μετάδοσης. Αντίθετα, αν και τα δεδομένα παρουσιάζουν, σε γενικές γραμμές, ανοχή σε καθυστέρηση και σφάλματα μετάδοσης, στα πλαίσια του TCP/IP η καθυστέρηση θα πρέπει να ελαχιστοποιείται ώστε να αποκλείεται η ύπαρξη οποιουδήποτε προβλήματος στο σύνολο του όγκου των δεδομένων που διέρχεται από το δίκτυο μεταφοράς τους.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται μερικές από τις σπουδαιότερες υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται μέσω ADSL. Οι υπηρεσίες που έχουν επιλεγεί να αναφερθούν στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η υπηρεσία του Διαδικτύου, η υπηρεσία VoIP, η υπηρεσία MPLS VPN, η υπηρεσία IPSec και, τέλος, το IPTV.

### 4.1 Υπηρεσίες Διαδικτύου

Το Διαδίκτυο είναι ένα παγκόσμιο σύστημα διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών με σκοπό την πρόσβαση σε παντός είδους πληροφορίες και παρεχόμενες υπηρεσίες [52]. Η μεταφορά πληροφοριών γίνεται με χρήση του προτύπου Internet Protocol (TCP/IP). Κάθε υπολογιστής στο Διαδίκτυο προσδιορίζεται από μια μοναδική διεύθυνση IP, η οποία είναι ένα μοναδικό σύνολο αριθμών (όπως 110.22.33.114) που προσδιορίζει τη θέση του εκάστοτε υπολογιστή. Κάθε διεύθυνση IP αντιστοιχίζεται με συγκεκριμένη ονομασία μέσω διακομιστή DNS (Domain Name Server) έτσι ώστε κάθε χρήστης στο Διαδίκτυο να μπορεί να εντοπίσει τον οποιοδήποτε υπολογιστή με την ονομασία αυτή. Κύριο χαρακτηριστικό του Διαδικτύου είναι η προσβασιμότητά του από κάθε χρήστη σε όλο τον κόσμο.

Η έννοια του Διαδικτύου εισήλθε το 1969 και στην πάροδο του χρόνου έχει υποστεί αρκετές τεχνολογικές αλλαγές που αφορούν τόσο το λογισμικό όσο και το hardware υλικό που χρησιμοποιείται [52]. Η προέλευση του Διαδικτύου βασίστηκε στην έννοια του ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network), το οποίο αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών. Βασικός σκοπός του ARPANET ήταν να παρέχει επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων φορέων της κυβέρνησης. Αρχικά, υπήρχαν μόνο τέσσερις κόμβοι, που επίσημα ονομάζονταν host. Το 1972, το ARPANET εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο, με 23 κόμβους να βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες και έτσι έγινε γνωστό ως Διαδίκτυο (Internet). Η εφεύρεση νέων τεχνολογιών, όπως τα πρωτόκολλα TCP/IP, το DNS, το WWW, τα προγράμματα περιήγησης, διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού κλπ, έδωσαν στο Διαδίκτυο τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε ένα μέσο δημοσίευσης και πρόσβασης πληροφοριών μέσω του παγκόσμιου ιστού.



Οι υπηρεσίες Διαδικτύου επιτρέπουν την απόκτηση πρόσβασης σε τεράστιο όγκο πληροφοριών, όπως κείμενο, γραφικά, ήχο και λογισμικό μέσω του Διαδικτύου. Στην εικόνα 23 παρουσιάζονται οι τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών Διαδικτύου [52].



Εικόνα 23: Κατηγορίες υπηρεσιών Διαδικτύου

### I) Υπηρεσίες επικοινωνίας

Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες υπηρεσίες επικοινωνίας που παρέχουν ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ατόμων ή ομάδων. Κάποιες από τις υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής [52]:

- **Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail):** χρησιμοποιείται για την αποστολή και λήψη ηλεκτρονικών μηνυμάτων μέσω του Διαδικτύου
- **Υπηρεσία Telnet:** χρησιμοποιείται για τη σύνδεση σε κάποιον απομακρυσμένο υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο
- **Ομάδα συζήτησης (Newsgroup):** προσφέρει φόρουμ για συζήτηση θεμάτων κοινού ενδιαφέροντος
- **Internet Relay Chat (IRC):** επιτρέπει σε ανθρώπους από όλο τον κόσμο να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο
- **Λίστες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (mailing lists):** χρησιμοποιούνται για την οργάνωση ομάδων χρηστών του Διαδικτύου με σκοπό την κοινή χρήση πληροφοριών μέσω e-mail
- **Άμεση ανταλλαγή μηνυμάτων (Instant Messaging):** Επιτρέπει τη συζήτηση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ ατόμων ή ομάδων (πχ. Yahoo Messenger, MSN Messenger)
- **Τηλεδιάσκεψη (Video conferencing):** είναι μια μέθοδος επικοινωνίας με αμφίδρομη μετάδοση εικόνας και ήχου με τη βοήθεια των τεχνολογιών των τηλεπικοινωνιών

### II) Υπηρεσίες ανάκτησης πληροφοριών

Υπάρχουν αρκετές υπηρεσίες ανάκτησης πληροφοριών που παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες που υπάρχουν στο Διαδίκτυο, όπως [52]:

- **Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (File Transfer Protocol - FTP):** επιτρέπει τη μεταφορά αρχείων μεταξύ των χρηστών
- **Υπηρεσία Archie:** αποτελεί μια ενημερωμένη βάση δεδομένων των δημόσιων ιστοσελίδων FTP και του περιεχομένου τους και βοηθά στην αναζήτηση ενός αρχείου με το όνομά του
- **Υπηρεσία Gopher:** χρησιμοποιείται για την αναζήτηση, την ανάκτηση και την εμφάνιση εγγράφων σε απομακρυσμένες τοποθεσίες
- **Υπηρεσία VERONICA (Very Easy Rodent Oriented Netwide Index to Computer Achieved):** αφορά μια υπηρεσία πόρων που βασίζεται στην υπηρεσία Gopher και

επιτρέπει την πρόσβαση στους πόρους πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες στους διακομιστές του Gopher

### **III) Υπηρεσίες Ιστού**

Οι υπηρεσίες Ιστού (Web) ή διαδικτυακές υπηρεσίες επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εφαρμογών στο Διαδίκτυο. Χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες Ιστού, οι εφαρμογές μπορούν εύκολα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι διαδικτυακές υπηρεσίες προσφέρονται με τη χρήση της έννοιας utility computing που αναφέρεται στην παροχή υπολογιστικών πόρων και υπηρεσιών κατά ζήτηση και αποτελεί μία πιο γενική έννοια, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί και να εξασφαλιστεί από διάφορες τεχνολογίες.

### **IV) Παγκόσμιος Ιστός**

Ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web – WWW), γνωστός και ως W3, προσφέρει έναν τρόπο απόκτησης πρόσβασης σε έγγραφα που υπάρχουν σε διάφορους διακομιστές μέσω του Διαδικτύου. Τα έγγραφα αυτά μπορούν να περιέχουν κείμενα, γραφικά, ήχο, βίντεο καθώς και υπερσυνδέσεις (hyperlinks) που επιτρέπουν στους χρήστες να περιηγηθούν μεταξύ των εγγράφων.

## **4.2 Υπηρεσία VoIP**

Η υπηρεσία VoIP μέσω ADSL χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας σε χώρους με υποδομή IP [53]. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από μεγάλες εταιρείες που έχουν πολλά παραρτήματα. Η ιδέα του άρχισε να συζητείται στις αρχές της δεκαετίας του 1970, όμως η εμπορική του καθιέρωση δεν έγινε πριν από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Αυτή η καθυστερημένη εμπορική ανάπτυξη μπορεί να αποδοθεί στην έλλειψη υποδομής IP και στο γεγονός ότι τα κυκλώματα μεταγωγής κλήσεων της εποχής ήταν μια πολύ πιο αξιόπιστη εναλλακτική λύση, ειδικά υπό το φως της κακής ποιότητας των πρώτων κλήσεων VoIP [54]. Το 1995, η «Vocaltec» παρήγαγε το πρώτο προϊόν VoIP που κυκλοφόρησε στο εμπόριο. Για τη λειτουργία του ήταν απαραίτητη η προϋπόθεση ότι και τα δύο μέρη της κλήσης χρειαζόταν να έχουν εγκατεστημένο ειδικό λογισμικό στους υπολογιστές τους και φυσικά να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

Η υπηρεσία VoIP αφορά τη μετάδοση φωνής ως πακέτα δεδομένων με τη χρήση του πρωτοκόλλου IP [55]. Η φωνή μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, το οποίο συμπιέζεται και στη συνέχεια διαιρείται σε σειρές πακέτων. Κατόπιν, τα πακέτα αυτά μεταφέρονται μέσω δικτύων IP προς την πλευρά του δέκτη όπου αναδιαμορφώνονται και αποκωδικοποιούνται. Οι συνδρομητές της υπηρεσίας συνδέονται στα δίκτυα IP με τη χρήση τοπικών βρόχων (PSTN) ή ADSL modem / router.

Για τη μετατροπή του αρχικού φωνητικού σήματος χρησιμοποιούνται ευέλικτοι αλγόριθμοι συμπίεσης του ψηφιοποιημένου σήματος με σκοπό την σημαντική μείωση της απαιτούμενης χωρητικότητας της γραμμής που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά τους. Επιπλέον, για τη μετάδοση των πακέτων φωνής χρησιμοποιούνται ορισμένα εξειδικευμένα πρωτόκολλα που βελτιώνουν την ποιότητα και την αδιάλειπτη εξέλιξη της συνομιλίας.

Η υιοθέτηση της υπηρεσίας VoIP επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Έναν από τους παράγοντες αυτούς, ίσως τον σημαντικότερο από όλους, αποτελεί το κόστος των δικτύων μεταγωγής πακέτων. Το παλιό τηλεφωνικό σύστημα χρησιμοποιεί μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) για τη μετάδοση των φωνητικών δεδομένων, ενώ το VoIP, για την ίδια λειτουργία, χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων (packet switching) [56]. Όσον αφορά το κόστος, το VoIP μπορεί να στοιχίζει λιγότερο από το μισό εκείνου του PSTN για μετάδοση φωνής, καθώς η κλήση μέσω PSTN γίνεται με χρήση μισθωμένης γραμμής ενώ στο VoIP δεν

απαιτείται δέσμευση κάποιου κυκλώματος. Επίσης το χαμηλότερο κόστος του VoIP προέρχεται από την αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης της γραμμής μεταξύ των κυκλωμάτων [54]. Ενώ, τα παραδοσιακά τηλεφωνικά δίκτυα χρησιμοποιούν πλήρως αμφίδρομα (full duplex) κανάλια των 64 Kbps για μία μόνο κλήση, τα δίκτυα VoIP χρειάζονται μόνο 14 Kbps, λόγω της διαδικασίας της συμπίεσης φωνής που χρησιμοποιούν και λόγω του γεγονότος ότι το εύρος ζώνης της γραμμής χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των πληροφοριών. Ως εκ τούτου, μέσω μιας και μόνο γραμμής μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες από μία κλήσεις.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει μία από τις πολλές διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των υπηρεσιών PSTN και VoIP. Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται μια γενική σύγκριση αυτών των υπηρεσιών, από την οποία προκύπτουν οι λόγοι για τους οποίους το VoIP υπερτερεί του PSTN [54].

Concept	Voice over PSTN	Voice over IP
Switching	Circuit switched (end-to-end dedicated circuit set up by circuit switches)	Packet switched (statistical multiplexing of several connections over links).
Bit rate	64Kbps pr 32Kbps	14Kbps with overhead*
Latency	< 100ms	200–700ms depending on the total traffic on the IP network. Lower latencies possible with private IP networks.
Bandwidth	Dedicated	Dynamically allocated
Cost of access/billing	<b>Business customers.</b> Monthly charge for line, plus per-minute charge for long distance, cost of PBX, and other telephony equipment. <b>Residential customers.</b> Monthly charge for line, plus per-minute charge for long distance, cost of simple phone.	<b>Business customers.</b> Cost of IP infrastructure, Hybrid IP/PBX, and IP phones. <b>Residential customers.</b> Monthly charge for line, plus monthly charge for ISP, cost of computer, and other equipment.
Equipment	Dumb terminal (less expensive); intelligence in the network	Integrated smart programmable terminal (expensive); intelligence not in the network.
Additional features and services	Requires reprogramming or changes in the network design but fast enough to add if advanced intelligent networks (AIN) are in use.	Easy to add without major changes, due to flexible protocol support, but standards are needed for traditional user services.
Quality of service	High (extremely low loss)	Low and variable, but traffic is sensitive depending on packet loss and delay experienced.
Authorization and authentication	Only once when the service is installed	Potentially required, per-call basis
Regulations	Many at federal and state levels	Few yet, but regulatory uncertainty; future regulations may reduce the cost advantages of VoIP.
Network availability	99.999% up time	Level of reliability is not known.
Electrical power failure at customer premises	Not a problem; powered by a separate source from phone company.	Will have problems, as equipment may be down. Power from other sources is not easy to obtain.
Security	High level of security because one line is dedicated to one call.	Possible eavesdropping at routers.
Standards/status	Mature (simplified interworking among equipment from different vendors).	Emerging possible problems in interworking.

\*Only when speaker is talking

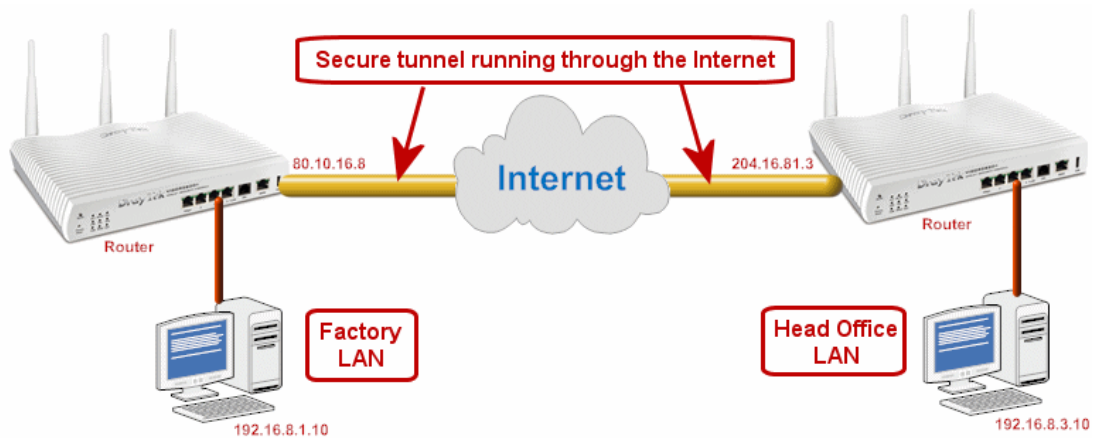
Εικόνα 24: Σύγκριση VoIP – PSTN [54]

Το VoIP επιτρέπει την πρόσβαση στο Διαδίκτυο και την ταυτόχρονη μετάδοση φωνητικών δεδομένων σε μια ενιαία τηλεφωνική γραμμή, γεγονός που απαλλάσσει από την ανάγκη χρήσης δεύτερης τηλεφωνικής γραμμής [57]. Με τον τρόπο αυτό η χρήση της υπηρεσίας VoIP μέσω του ADSL εκμεταλλεύεται τις υψηλές ταχύτητες μεταφοράς φωνής και δεδομένων σε δίκτυα IP, επιτρέποντας παράλληλα την χρήση των ήδη υπάρχουσών τηλεφωνικών γραμμών για φωνητικές κλήσεις, χωρίς την ανάγκη χρήσης δεύτερης γραμμής για πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για τις τηλεφωνικές εταιρείες αλλά και τους συνδρομητές της υπηρεσίας.

### 4.3 MPLS VPN

Η μεταγωγή ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων (Multiprotocol Label Switching - MPLS) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε δίκτυα υψηλής απόδοσης που μεταφέρουν δεδομένα από έναν κόμβο σε έναν άλλο [63]. Η τεχνολογία αυτή καθιστά ευκολότερη τη δημιουργία «εικονικών συνδέσεων» για μακρινούς κόμβους με σκοπό την επιτάχυνση της κυκλοφορίας δεδομένων και την ευκολότερη διαχείρισή της. Επίσης, περιλαμβάνει τη δημιουργία ορισμένων διαδρομών για συγκεκριμένες ακολουθίες πακέτων τα οποία προσδιορίζονται από ετικέτες που τοποθετούνται σε καθένα από αυτά. Ως εκ τούτου ένας

δρομολογητής χρειάζεται λιγότερο χρόνο για την αναζήτηση των διευθύνσεων του επόμενου κόμβου στον οποίο πρέπει να διαβιβαστούν τα πακέτα. Ο όρος «πολλαπλών πρωτοκόλλων» σημαίνει ότι λειτουργεί με πολλά πρωτόκολλα, όπως τα IP, ATM και Frame Relay. Επιπλέον, η τεχνολογία MPLS προωθεί τα πακέτα στο επίπεδο 2 (μεταγωγή) και όχι στο επίπεδο 3 (δρομολόγηση). Σήμερα, υπάρχουν πολλές μέθοδοι πρόσβασης σε ένα δίκτυο MPLS, όπως μέσω ADSL, ATM, ISDN, Ethernet, οπτικών ινών κλπ.



Εικόνα 25: Παράδειγμα σύνδεσης VPN [64]

Ένα εικονικό ιδιωτικό δίκτυο (Virtual Private Network - VPN) είναι ένα δίκτυο, όπου η σύνδεση μεταξύ πολλαπλών κόμβων αναπτύσσεται στην ίδια υποδομή και συνήθως με χρήση του Διαδικτύου. Δύο απομακρυσμένες περιοχές, μπορεί να φαίνεται ότι έχουν ιδιωτική σύνδεση μεταξύ των δικτύων τους, αλλά στην πραγματικότητα, τα δεδομένα διέρχονται μέσω του Διαδικτύου [64]. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα που ονομάζεται σήραγγα (tunnel), ένα τερματικό που βρίσκεται στο ένα άκρο αυτής της εικονικής σύνδεσης δημιουργεί πακέτα όλων των δεδομένων που προορίζονται για την απομακρυσμένη τοποθεσία, τα κρυπτογραφεί και τα μεταδίδει σε αυτή. Τα τερματικά, βρισκόμενα πίσω από τείχος προστασίας (firewall) δεν μπορούν να προσπελαστούν από πουθενά αλλού εκτός από την σήραγγα VPN, καθώς αυτή έχει μόνο δύο άκρα στις δύο απομακρυσμένες περιοχές (Εικόνα 25). Με τον τρόπο αυτό, τα VPN προσφέρουν ασφαλή ιδιωτική επικοινωνία, σε πολύ χαμηλότερο κόστος, δεδομένου ότι μπορεί να αναπτυχθεί μέσω του ADSL.

Το εικονικό ιδιωτικό δίκτυο μεταγωγής ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων (MPLS VPN) είναι μια υπηρεσία που μπορεί να προσφέρει ασφαλή και διαχειρίσιμη σύνδεση μεταξύ διαφορετικών εταιρικών περιοχών [65]. Η λύση του MPLS VPN είναι μια τεχνολογία VPN που επιτρέπει στους παρόχους ISP να σχεδιάζουν και να διαχειρίζονται τις υπηρεσίες IP-VPN, λαμβάνοντας υπόψη τις συμβάσεις παροχής υπηρεσιών σε επίπεδο πελάτη.

Επιπλέον, η τεχνολογία MPLS VPN μπορεί να διαφοροποιήσει την κίνηση των δεδομένων σύμφωνα με τις παραμέτρους κλάσης υπηρεσίας (Class of Service – CoS) μέσω του δικτύου κορμού [66]. Αυτή η κλάση υπηρεσίας επιτρέπει την διαφοροποίηση των υπηρεσιών που παρέχονται σε ένα δίκτυο MPLS και αφορά υπηρεσίες όπως τη βιντεοδιάσκεψη, τα πολυμέσα κ.λπ. Έτσι, σύμφωνα με την κλάση CoS μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στις πληροφορίες που μεταφέρονται μέσω του δικτύου. Κάθε κλάση CoS έχει μια σειρά συμφωνιών επιπέδου που βασίζονται στην απώλεια πακέτων, την καθυστέρηση, την διακύμανση της καθυστέρησης και τη διαθεσιμότητα. Ως αποτέλεσμα, η υπηρεσία MPLS δεν επιτρέπει στην κυκλοφορία που αφορά εταιρικά δεδομένα, να επηρεάζεται από την κυκλοφορία άλλων, όχι και τόσο κρίσιμων, δεδομένων. Επίσης, είναι οικονομικά συμφέρουσα, δεδομένου ότι επιτρέπει στους πελάτες να χρησιμοποιούν λιγότερο ακριβές κλάσεις CoS.

## 4.4 IPSec

Το IPSec (IP Security) είναι ένα πλαίσιο ανοικτών προτύπων που αναπτύχθηκε από την IETF και παρέχει ασφάλεια για τη μετάδοση ευαίσθητων πληροφοριών σε απροστάτευτα δίκτυα όπως το Διαδίκτυο [69]. Τα πρωτόκολλα αυτά λειτουργούν στο επίπεδο 3 της στοίβας δικτύου.

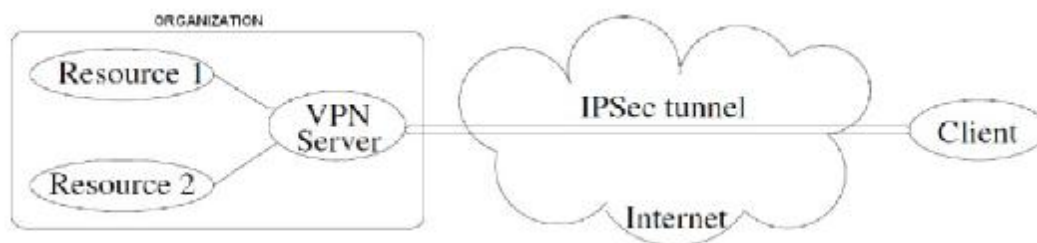
Το IPSec παρέχει μια μέθοδο για την προστασία των αυτοδύναμων πακέτων IP (datagrams) καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζεται η κυκλοφορία των δεδομένων που πρέπει να προστατευτεί, τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να προστατευτεί και το σημείο αποστολής της. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί η IPSec για το σκοπό αυτό και που λειτουργούν για το IPv4 αλλά και το IPv6 είναι τα εξής [70], [71]:

- **η επικεφαλίδα πιστοποίησης (Authentication Header - AH):** παρέχει ακεραιότητα δεδομένων, προστασία από επαναλήψεις (anti-replay protection) και απόδειξη προέλευσης δεδομένων για τα πακέτα που ελήφθησαν
- **το φορτίο ενθυλάκωσης ασφάλειας (Encapsulating Security Payload - ESP):** παρέχει πιστοποίηση ταυτότητας και ακεραιότητα δεδομένων ως συμπλήρωμα της ακεραιότητας δεδομένων που παρέχεται από την AH

Το IPSec ορίζει ένα τρίτο πρωτόκολλο που ονομάζεται πρωτόκολλο ανταλλαγής κλειδιών Διαδικτύου (Internet Key Exchange - IKE) με σκοπό τον καθορισμό και την περιοδική ανανέωση των απαραίτητων κρυπτογραφικών παραμέτρων των πρωτοκόλλων AH και ESP [72].

Αμφότερα τα πρωτόκολλα ESP και AH μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε τρόπο λειτουργίας μεταφοράς (transport mode) ή λειτουργίας σήραγγας (tunnel mode) [73]. Κατά τη λειτουργία μεταφοράς η αρχική κεφαλίδα IP παραμένει ανέγγιχτη ενώ προστατεύονται μόνο τα πρωτόκολλα ανώτερου στρώματος. Με τον τρόπο αυτό, η λειτουργία μεταφοράς χρησιμοποιείται μόνο μεταξύ δύο τερματικών που είναι επίσης κρυπτογραφικά άκρα. Η λειτουργία σήραγγας προστατεύει ολόκληρο το IP datagram με χρήση ενθυλάκωσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία της κυκλοφορίας δεδομένων μεταξύ δύο ακραίων τερματικών, ή δύο πυλών (π.χ. δρομολογητών, firewall), ή μεταξύ ενός ακραίου τερματικού και μιας πύλης.

Μια δημοφιλής και ευρέως διαδεδομένη χρήση του IPSec είναι η δημιουργία δικτύων VPN. Μέσω της χρήσης κρυπτογραφικών διαδικασιών, τα VPN επιτρέπουν την απομακρυσμένη πρόσβαση εταιρικών πόρων μέσω του Διαδικτύου. Στην Εικόνα 26 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δημοφιλούς διαμόρφωσης VPN.



Εικόνα 26: Παράδειγμα δημοφιλούς διαμόρφωσης VPN [73]

Ο πελάτης της Εικόνα 26 δημιουργεί μια σήραγγα IPSec με τον διακομιστή VPN της εταιρίας, για να αποκτήσει πρόσβαση σε έναν πόρο (Resource 1). Για τη διασφάλιση του απορρήτου των δεδομένων που διέρχονται από το Διαδίκτυο, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο

ESP. Στη συνέχεια, ο πελάτης διαμορφώνει ένα IP datagram το οποίο έχει ως διεύθυνση πηγής την τοπική διεύθυνση IP της εταιρίας (που παρέχεται από το διακομιστή VPN) και ως διεύθυνση προορισμού τη διεύθυνση IP του Resource 1. Η διαμόρφωση του IP datagram αποσκοπεί στην επικοινωνία πελάτη-Resource 1. Κατόπιν, το διαμορφωμένο IP datagram ενθυλακώνεται σε άλλο IP datagram το οποίο έχει ως διεύθυνση πηγής την τωρινή του διεύθυνση IP και ως διεύθυνση προορισμού τη διεύθυνση IP του διακομιστή VPN της εταιρίας. Μετά την παραλαβή του δεύτερου διαμορφωμένου IP datagram, ο διακομιστής VPN αποσπά την εξωτερική κεφαλίδα IP, αποκρυπτογραφεί το εσωτερικό IP datagram και το στέλνει στο Resource 1. Για το Resource 1, το datagram εμφανίζεται όπως και στην περίπτωση που ο πελάτης δεν ήταν απομακρυσμένος. Η λειτουργία σήραγγας προτιμάται από τη λειτουργία μεταφοράς, διότι ο πελάτης μπορεί αργότερα να χρησιμοποιήσει την ίδια σήραγγα για να έχει απομακρυσμένη πρόσβαση και στο Resource 2.

## 4.5 Υπηρεσία IPTV

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες εικόνας και δικτύωσης, έχουν οδηγήσει στην εφαρμογή της IP τηλεόρασης (IPTV) από πολλούς φορείς παροχής υπηρεσιών σε όλο τον κόσμο. Οι πάροχοι υπηρεσιών IPTV προσφέρουν στους συνδρομητές τους πολλά νέα συναρπαστικά χαρακτηριστικά τηλεθέασης που δεν είναι εφαρμόσιμα στις παραδοσιακές ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές. Με την υπηρεσία IPTV, οι λάτρεις της τηλεόρασης μπορούν να αλληλεπιδρούν με το περιεχόμενο του προγράμματος που παρακολουθούν, όμως ταυτόχρονα μπορούν να αλληλεπιδράσουν και με άλλους θεατές που παρακολουθούν το ίδιο πρόγραμμα. Κάποια από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, όπως τα προσαρμοσμένα κανάλια και οι on-demand δυνατότητες, επιτρέπουν στους θεατές να έχουν πρόσβαση σε μια πολύ ευρύτερη επιλογή περιεχομένου, οποτεδήποτε το θελήσουν [74].

Η IPTV είναι η παροχή μετάδοσης τηλεοπτικών προγραμμάτων ποιότητας μέσω IP [75]. Πρόκειται για μια υπηρεσία διαχείρισης που προσφέρεται από παρόχους υπηρεσιών στους χρήστες τους. Η IPTV δεν πρέπει να συγχέεται με το βίντεο μέσω Διαδικτύου (Internet video), το οποίο αναφέρεται σε βίντεο συνεχούς ροής (streaming video) που μεταφέρεται από διακομιστές οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται εκτός του δικτύου του φορέα παροχής υπηρεσιών. Από τη στιγμή που παρέχεται μέσω ενός ανεξέλεγκτου δικτύου και σε συνεχή ροή από διαδικτυακούς διακομιστές που ανήκουν σε τηλεοπτικά δίκτυα ή που χρησιμοποιούνται για την κοινή χρήση, όπως το YouTube και το Yahoo Video, οι εκπομπές βίντεο μέσω Διαδικτύου δεν μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι υπηρεσίες IPTV [76]. Οι υπηρεσίες IPTV παρέχουν διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων, διαχείριση του περιεχομένου και της χρέωσης, γονικούς ελέγχους και διασφάλιση της ποιότητας. Από την άλλη πλευρά, μια σημαντική διαφορά μεταξύ των IPTV και των παραδοσιακών τηλεοπτικών υπηρεσιών είναι η αδυναμία της ταυτόχρονης μετάδοσης όλου του προγράμματος στους θεατές, λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στο εύρος ζώνης του δικτύου πρόσβασης. Στην υπηρεσία IPTV, ο θεατής λαμβάνει μόνο βίντεο ροής του καναλιού που έχει επιλέξει ή την αντίστοιχη συνεδρία του video-on-demand.

## 5 Ανάλυση Απόδοσης

Σύμφωνα με την επιτροπή για την ευρυζωνική τεχνολογία του τελευταίου μιλίου (Committee on Broadband Last Mile Technology) του National Research Council των Ηνωμένων Πολιτειών, η απόδοση της σύνδεσης πρόσβασης των ευρυζωνικών τεχνολογιών δεν θα πρέπει να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα εκτέλεσης των σύγχρονων εφαρμογών [78]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν δύο είδη ευρυζωνικών τεχνολογιών: οι ενσύρματες και οι ασύρματες. Παρότι οι ασύρματες ευρυζωνικές τεχνολογίες εξελίσσονται συνεχώς, ο ρόλος των ενσύρματων ευρυζωνικών τεχνολογιών, δεν μπορεί σε καμιά περίπτωση να αγνοηθεί, ιδιαίτερα των τεχνολογιών xDSL που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλο τον κόσμο.

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση των τεχνολογιών xDSL και πιο συγκεκριμένα του ADSL, αφού αυτό είναι το κύριο θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Υπάρχουν πολλοί τύποι παραμέτρων που μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση της απόδοσης μιας τεχνολογίας, όμως εδώ θα γίνει μια προσπάθεια ανάλυσης των προβλημάτων της τεχνολογίας καθώς και των τρόπων ελέγχου της απόδοσής της. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα monitoring.

### 5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του ADSL

Η απόδοση της τεχνολογίας ADSL επηρεάζεται από δύο βασικούς παράγοντες: την κατάσταση του βρόγχου και το περιβάλλον μετάδοσης [30]. Άλλοι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο είναι:

- η εξασθένηση (attenuation)
- η απώλεια επιστροφής (return loss)
- η ηλεκτρική ισορροπία της γραμμής (longitudinal balance)
- ο διαχωρισμός ζεύγους (split pairs)
- η διατομή του σύρματος της γραμμής (wire gauge)
- και φυσικά οι όποιες διακοπές υπάρχουν στη γραμμή μεταφοράς των δεδομένων.

Η ηλεκτρική ισορροπία της γραμμής αφορά την ηλεκτρική συμμετρία που παρουσιάζει το ρεύμα που διέρχεται μέσω ενός αγωγού με αναφορά τη γη [78]. Ένα ασύμμετρο κύκλωμα που προκαλείται από μη ισορροπημένα διαμήκη ρεύματα ή από τις αρμονικές του ρεύματος τροφοδοσίας του, μπορεί να παρουσιάζει φαινόμενο crosstalk, γεγονός που δημιουργεί σφάλματα δυαδικού ψηφίου (bit) που οδηγούν σε βραδύτερη μετάδοση του ADSL και έτσι μειώνουν την αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών του.

Στην περίπτωση που σε μια γραμμή μεταφοράς χρησιμοποιηθούν καλώδια με διαφορετικές διατομές τότε αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αναντιστοιχία της σύνθετης αντίστασης των καλωδίων η οποία με τη σειρά της μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, ρίχνοντας την απόδοση μεταφοράς δεδομένων [79].

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν σχετίζονται μόνο με τα χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου σύνδεσης. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, όπως το σύστημα διαμόρφωσης και τα σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την προώθηση των δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα του συστήματος (forward error scheme), που επηρεάζουν επίσης την απόδοση της τεχνολογίας [78].

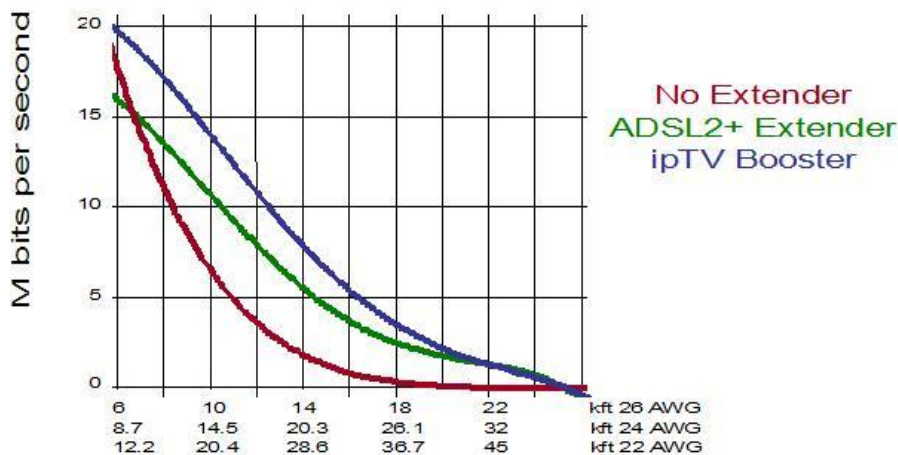


### 5.1.1 Κατάσταση βρόγχου

Στην κατάσταση βρόγχου περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά της γραμμής μεταφοράς του σήματος ADSL, όσο και άλλες παράμετροι οι οποίες αφορούν κυρίως το αμιγώς τηλεφωνικό δίκτυο. Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, από τα χαρακτηριστικά της γραμμής θα εξεταστεί μόνο το μήκος του βρόγχου και θα παρουσιαστούν δύο διατάξεις που χρησιμοποιούνταν ευρέως στα αμιγώς τηλεφωνικά δίκτυα αλλά η ύπαρξή τους δημιουργεί προβλήματα στην υλοποίηση της τεχνολογίας ADSL. Οι διατάξεις που θα εξεταστούν είναι τα πηνία φόρτωσης και οι γεφυρώσεις bridge tap.

#### I) Μήκος βρόγχου

Το μήκος βρόγχου αφορά το μήκος της γραμμής μεταξύ του CPE του συνδρομητή και του τηλεφωνικού κέντρου [78]. Έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ότι η τεχνολογία ADSL παρουσιάζει «ευαισθησία» στην απόσταση. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του βρόγχου τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Η «ευαισθησία» αυτή οφείλεται στην μεγαλύτερη εμπέδηση που παρουσιάζει ένας βρόγχος μεγάλου μήκους, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην εξασθένηση του μεταφερόμενου σήματος.



Εικόνα 27: Διόρθωση προβλήματος μήκους βρόγχου με χρήση ADSL loop extender [80]

Το πρόβλημα του μήκους βρόγχου μπορεί να διορθωθεί μέσω των επεκτατών ADSL βρόγχου (ADSL loop extender) ή επαναληπτών ADSL (ADSL repeater), όπως αλλιώς είναι γνωστοί [80]. Ο ADSL repeater είναι μια συσκευή που μπορεί να τοποθετηθεί από την εκάστοτε εταιρεία τηλεφωνίας μεταξύ των CPE των συνδρομητών και του τηλεφωνικού κέντρου, με σκοπό την επέκταση της απόστασης και την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού των συνδέσεων ADSL. Συνήθως η λύση αυτή χρησιμοποιείται σε αγροτικές περιοχές όπου η τοποθέτηση του DSLAM σε κοντινότερη απόσταση προς τον συνδρομητή, δεν είναι εφικτή. Στο διάγραμμα στην Εικόνα 27 παρουσιάζονται οι τυπικές βελτιώσεις της απόστασης με τη χρήση ενός επεκτατή βρόγχου. Οι βελτιώσεις αυτές εμφανίζονται σε Mbps και η απόσταση σε χιλιάδες πόδια.

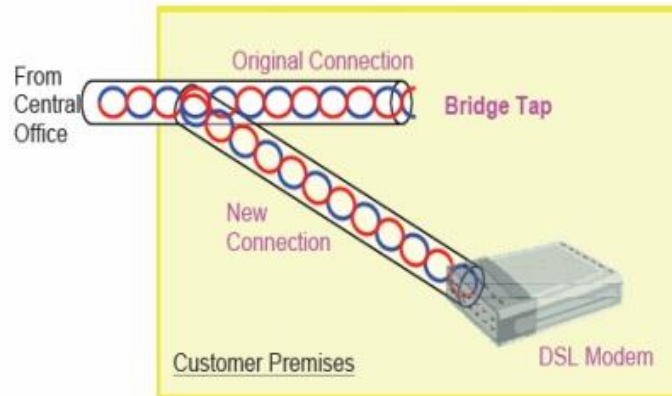
#### II) Πηνία φόρτωσης

Τα πηνία φόρτωσης (loading coils) χρησιμοποιούνται από εταιρείες τηλεφωνίας για την ενίσχυση του φωνητικού σήματος σε μακρινές αποστάσεις, ως επί το πλείστον σε τοπικούς βρόγχους που υπερβαίνουν τα 5,5 km [78]. Η χρήση τους στην τεχνολογία ADSL έχει αποδειχτεί ότι είναι ασύμβατη λόγω εμφάνισης χαρακτηριστικών μεταφοράς βαθυπερατού φίλτρου, με αποτέλεσμα η χρήση φερεσύχγων να είναι απαγορευτική για εφαρμογές ADSL

[81]. Ως εκ τούτου, η χρήση πηνίων φόρτωσης δεν επιτρέπει στους συνδρομητές τη λήψη σήματος ADSL. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα παρουσίασης σοβαρής παραμόρφωσης στις υψηλές συχνότητες.

### III) Γεφυρώσεις

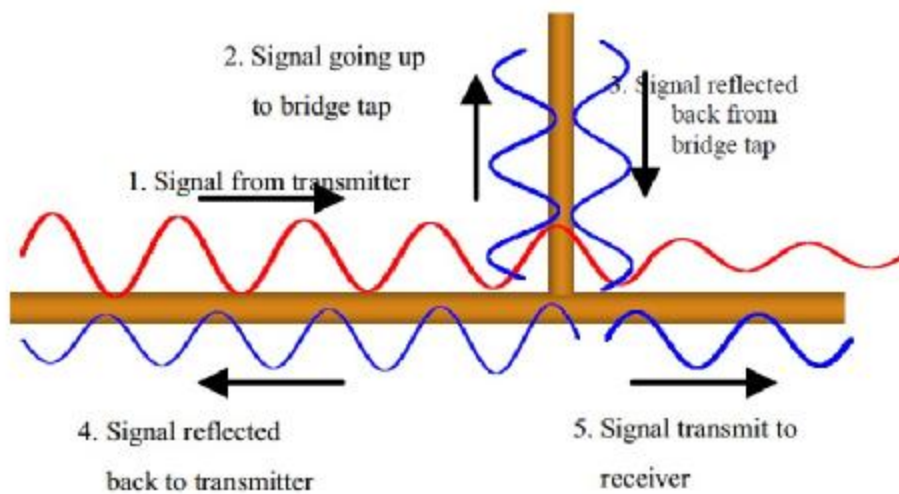
Μια γεφύρωση ή σύνδεση (bridge tap) είναι ένας απλός διακλαδωτήρας τύπου «T» ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε πολλά σημεία του απλού τηλεφωνικού δικτύου με σκοπό την ευελιξία του συστήματος διανομής (Εικόνα 28) [78].



Εικόνα 28: Σύνδεση bridge tap μεταξύ τηλεφωνικού κέντρου και modem/router συνδρομητή [78]

Η χρήση των γεφυρώσεων αυτών έδινε τη δυνατότητα γρήγορης σύνδεσης και αποσύνδεσης των κυκλωμάτων των συνδρομητών και επίσης χρησιμοποιούταν για την εφαρμογή πολυπλεξίας περισσότερων συνδέσεων πάνω από το ίδιο ζεύγος καλωδίων. Με τον τρόπο αυτό μειωνόταν το κόστος εγκατάστασης ενός τηλεφωνικού δικτύου κυρίως λόγω της εξοικονόμησης γραμμών σύνδεσης. Η ύπαρξη τέτοιου είδους γεφυρώσεων, όμως, δεν ευνοούν την ευρυζωνική μετάδοση καθώς επηρεάζουν το ωφέλιμο εύρος ζώνης της γραμμής, λόγω ανακλάσεων του μεταφερόμενου σήματος και εμφάνισης χαρακτηριστικών μεταφοράς βαθυπερατού φίλτρου. Στην περίπτωση που οι γεφυρώσεις αυτές βρίσκονται κοντά στο σημείο τερματισμού στην πλευρά του συνδρομητή, τα προβλήματα είναι μεγαλύτερα καθώς ανακλάται ισχυρή συνιστώσα της εισερχόμενης ισχύος και επιστρέφει στον πομπό ως σήμα με διαφορά φάσης, δημιουργώντας έτσι επιλεκτική εξασθένιση, σφάλματα και αδυναμία συγχρονισμού. Ως αποτέλεσμα, η χρήση ορισμένων συχνοτήτων καθίσταται απαγορευτική. Το φαινόμενο που περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να φανεί καλύτερα στην Εικόνα 29.

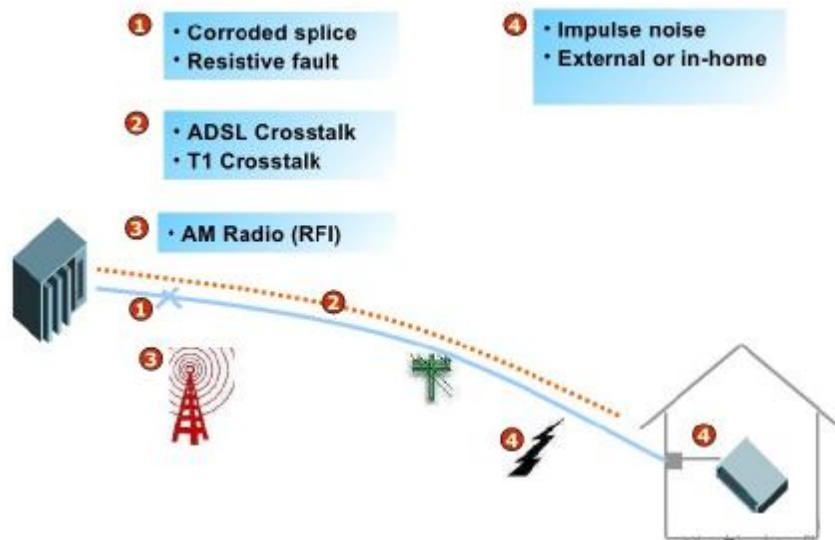
Ουσιαστικά, μια γέφυρα είναι ένας κλάδος διχαλωτού καλωδίου που συνδέεται στο βρόχο δύο συρμάτων στο ένα άκρο και είναι ανοικτός (μη τερματικός) στο άλλο άκρο (Εικόνα 26). Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 29, η ύπαρξη γέφυρας θα προκαλέσει ασυνέχεια της σύνθετης αντίστασης στο σημείο όπου το καλώδιο είναι συνδεδεμένο στον βρόχο δύο συρμάτων, έτσι θα υπάρξει απώλεια σήματος. Η αναντιστοιχία της σύνθετης αντίστασης που παρουσιάζεται από το μη τερματισμένο άκρο της γέφυρας μπορεί να παράγει ανακλώμενα σήματα που παρεμβαίνουν στο αρχικό σήμα. Θα εξαρτηθεί από το μήκος της πλευρικής γέφυρας και την ποσότητα γεφυρών που καθορίζουν πόσο σήμα επανέρχεται στον βρόχο δύο συρμάτων. Το ανακλώμενο σήμα θα υποστεί μικρή εξασθένιση για τις μικρότερες γεφυρώσεις και έτσι θα στρεβλώσει σοβαρά το σήμα λήψεως αν συγκριθεί με τις μακρύτερες γεφυρώσεις.



Εικόνα 29: Αποτέλεσμα χρήσης γεφύρωσης bridge tap στο εκπεμπόμενο σήμα [78]

### 5.1.2 Περιβάλλον μετάδοσης

Το περιβάλλον μετάδοσης για τις τεχνολογίες xDSL γενικότερα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα του ρυθμού απόδοσης, της καθυστέρησης καθώς και της αξιοπιστίας της μετάδοσης δεδομένων [78]. Για τους λόγους αυτούς κρίθηκε σκόπιμη η παρουσίαση ζητημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον μεταφοράς, όπως το φαινόμενο crosstalk, ο κρουστικός θόρυβος (impulse noise) και η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (EMI) (Εικόνα 30) [82].

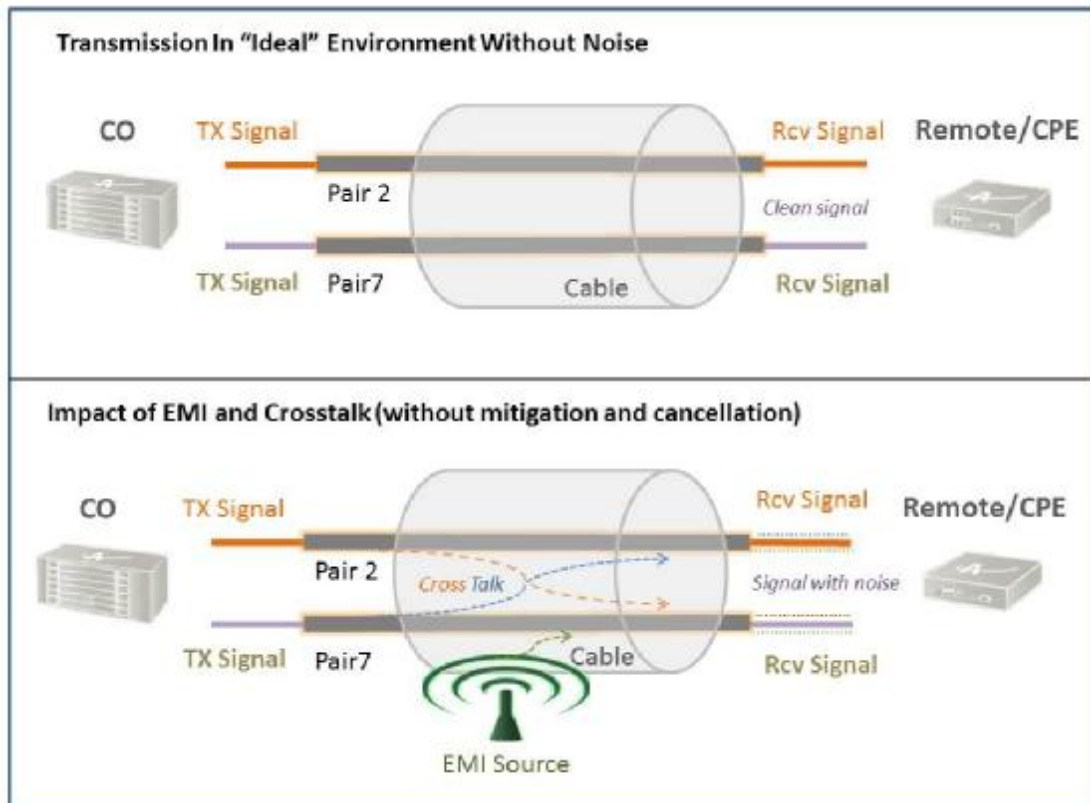


Εικόνα 30: Πηγές σφαλμάτων στο περιβάλλον μετάδοσης [82]

#### 1) Φαινόμενο crosstalk

Η ευαισθησία που παρουσιάζει ο χαλκός σε παρεμβολές και ηλεκτρικούς θορύβους αποτελεί σημαντικό παράγοντα που περιορίζει την απόδοση των εφαρμογών που τον χρησιμοποιούν ως υλικό μεταφοράς σημάτων [83]. Αυτές οι παρεμβολές περιβάλλουν τα μεταδιδόμενα δεδομένα και εάν δεν μετριαστούν, μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην αξιοπιστία της σύνδεσης, το ρυθμό απόδοσης των υπηρεσιών αλλά και την απόσταση κάλυψης που μπορεί να επιτευχθεί. Τα τηλεφωνικά καλώδια, που χρησιμοποιούνται και για

τη μεταφορά δεδομένων ADSL, περιέχουν περισσότερο από 25 συνεστραμμένα ζεύγη αγωγών χαλκού. Ως εκ τούτου, τα ηλεκτρικά σήματα που μεταφέρονται μέσω ενός συνεστραμμένου ζεύγους μπορεί να παρουσιάζουν ηλεκτρομαγνητική σύζευξη με άλλα ηλεκτρικά σήματα που διέρχονται από γειτνιάζοντα συνεστραμμένα ζεύγη εντός του τηλεφωνικού καλωδίου. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο crosstalk, παρουσιάζεται ως παρεμβολή μεταξύ των σημάτων ή ως ηλεκτρικός θόρυβος και υποβαθμίζει τη μετάδοση των καναλιών που παρεμβάλλονται μεταξύ τους [2]. Στην εικόνα 40 παρουσιάζεται η επίδραση του φαινομένου crosstalk και συγκρίνεται η εκπομπή σε ένα ιδανικό περιβάλλον χωρίς θόρυβο με αυτή σε περιβάλλον το οποίο παρουσιάζει φαινόμενο crosstalk αλλά και ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (EMI).



Εικόνα 31: Εκπομπή α) σε ιδανικό περιβάλλον (χωρίς θόρυβο) και β) σε περιβάλλον με φαινόμενο crosstalk και EMI [83]

Η χρήση του υπάρχοντος τηλεφωνικού δικτύου χαλκού για την υλοποίηση των τεχνολογιών xDSL έχει οδηγήσει πολλές φορές στην συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα ADSL, ISDN και HDSL, στο ίδιο τηλεφωνικό καλώδιο [78]. Αυτό το σενάριο δεν θα πρέπει να αγνοηθεί, δεδομένου ότι η τεχνολογία ADSL παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία στο φαινόμενο crosstalk ιδιαίτερα από παρεμβολές που προέρχονται από άλλες τεχνολογίες που συνυπάρχουν στο ίδιο καλώδιο. Το γεγονός αυτό επηρεάζει αρνητικά την απόδοση των υπηρεσιών ADSL. Επομένως, η αξιολόγηση της απόδοσής τους σε περιβάλλοντα που παρουσιάζουν το φαινόμενο crosstalk είναι σημαντική και απαιτείται η εύρεση λύσεων καταστολής του. Στην περίπτωση που η τεχνολογία ADSL μπορέσει να διαχειριστεί αποτελεσματικά και να μετριάσει τέτοιου είδους παρεμβολές θα δώσει την ευκαιρία στους φορείς εκμετάλλευσης της να παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες, καλύπτοντας μεγαλύτερες αποστάσεις και με μεγαλύτερη αξιοπιστία [83].

## ***II) Κρουστικός θόρυβος***

Ο κρουστικός θόρυβος (impulse noise) αποτελεί ένα ακόμη πρόβλημα παρεμβολών για την τεχνολογία ADSL που μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα και τις επιδόσεις των υπηρεσιών της [84]. Χωρίζεται σε δύο τύπους: τον επαναλαμβανόμενο ηλεκτρικό κρουστικό θόρυβο (Repetitive Electrical Impulse Noise - REIN) και τον μεμονωμένο κρουστικό θόρυβο (Single Isolated Impulse Noise - SHINE). Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, μία πηγή ισχύος δημιουργεί παρεμβολή στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από την υπηρεσία ADSL.

Ο κρουστικός θόρυβος REIN είναι παρεμβολή που δημιουργείται κατά τη διάρκεια χρήσης μιας ηλεκτρικής συσκευής και τυπικά έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνδεση του συνδρομητή από την υπηρεσία ή σφάλματα στη γραμμή μεταφοράς για όσο χρόνο η συσκευή είναι σε χρήση. Στην πιο ακραία του περίπτωση, ο θόρυβος REIN μπορεί να αποτρέψει οποιαδήποτε πραγματοποίηση σύνδεσης.

Ο κρουστικός θόρυβος SHINE είναι παρεμβολή που δημιουργείται από την ύπαρξη κρουστικού παλμού κατά την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση μιας συσκευής. Ως αποτέλεσμα η αποσύνδεση του συνδρομητή ή τα σφάλματα στη γραμμή μεταφοράς εμφανίζονται κατά τη στιγμή ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της συσκευής.

Εκτός από τις αποσυνδέσεις των συνδρομητών που προκαλούνται από τον κρουστικό θόρυβο είναι πιθανή η μείωση της ταχύτητας μεταφοράς των δεδομένων λόγω των σφαλμάτων της γραμμής. Αυτή η μείωση της ταχύτητας μπορεί να είναι όμως και το αποτέλεσμα της αντιμετώπισης των συμπτωμάτων παρουσίας κρουστικού θορύβου. Πολλοί πάροχοι υπηρεσιών ADSL περιορίζουν τη μέγιστη ταχύτητα σύνδεσης των συνδρομητών δημιουργώντας έτσι ένα «περιθώριο ανοχής» της παρεμβολής αποτρέποντας την πλήρη αποσύνδεση των χρηστών.

## ***III) Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή***

Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (Electromagnetic Interference - EMI), γνωστή και ως παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων, είναι μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δημιουργείται από εξωτερική πηγή και επιδρά σε ηλεκτρικά κυκλώματα με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, ηλεκτροστατική σύζευξη ή αγωγιμότητα [78]. Όπως συμβαίνει με κάθε είδος παρεμβολών, η EMI μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση των κυκλωμάτων (επομένως και των παρεχόμενων υπηρεσιών) ή ακόμα και να σταματήσει τη λειτουργία τους. Στην περίπτωση του ADSL, αυτές οι παρεμβολές αυξάνουν το ποσοστό των σφαλμάτων και μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε ολική απώλεια των δεδομένων, επομένως υποβαθμίζει ή περιορίζει την αποτελεσματική απόδοση της τεχνολογίας.

## 5.2 Βασικά χαρακτηριστικά απόδοσης του ADSL

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ταχύτητα της σύνδεσης ADSL που δίνεται από τους παρόχους ISP είναι μικρότερη από την ονομαστική της τιμή και εξαρτάται από την απόσταση του συνδρομητή από το DSLAM. Η μειωμένη αυτή ταχύτητα σύνδεσης που φτάνει συνήθως στον συνδρομητή είναι αποτέλεσμα δύο βασικών χαρακτηριστικών που καθορίζουν και την απόδοση του ADSL [85]. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η εξασθένηση της γραμμής (line attenuation) και το SNRM (SNR margin) και θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες. Οι τιμές τους αναγράφονται στα στοιχεία σύνδεσης των modem/router του συνδρομητή.



The screenshot displays the web interface for a ZTE ZXHN H108N V2.5 modem. The page title is "ZXHN H108N V2.5". The main content area shows the "Status" page for the "Network Interface-ADSL". A sidebar on the left contains navigation links: Device Information, Network Interface (selected), WAN Connection, ADSL, User Interface, Network, Security, Application, Administration, and Help. The main content area features a table with the following data:

Parameter	Value
Link Status	Connected
Modulation Type	ADSL_2plus
Actual Rate (Up/Down)	1023/15459 kbps
Attainable Rate (Up/Down)	1188/16976 kbps
Noise Margin (Up/Down)	8.5/4.1 dB
Line Attenuation (Up/Down)	13.7/23.6 dB
Output Power (Up/Down)	12.7/19.4 dBm
Data Path (Up/Down)	Interleaved/Interleaved
Interleave Depth (Up/Down)	8/64
Interleave Delay (Up/Down)	7.75/7.99 ms
INP (Up/Down)	1.7/0.5 symbols
LinkEncap	G.992.3_Annex_K_ATM
CRC Errors (Up/Down)	11/13880
Annex Type	AnnexA

At the bottom right of the interface is a "Refresh" button. The footer contains the copyright notice: "© 2008-2015 ZTE Corporation. All rights reserved".

Εικόνα 32: Στιγμιότυπο με τα στοιχεία σύνδεσης στο modem από την προσωπική σύνδεση

### 5.2.1 Εξασθένηση της γραμμής ADSL

Η εξασθένηση της γραμμής ADSL αποτελεί το μέγεθος που δείχνει το ποσό της απώλειας σήματος κατά τη μεταφορά του από το DSLAM στο modem/router του συνδρομητή και εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ τους, ενώ παράλληλα είναι μεγαλύτερη στις υψηλότερες συχνότητες [85]. Η εξασθένηση αυτή μετράται σε dB και ο υπολογισμός της είναι λογαριθμικός, γεγονός που σημαίνει ότι για κάθε 3dB μείωσης, η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται στο μισό. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα σύνδεσης, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Σχέση εξασθένησης της γραμμής - ταχύτητας σύνδεσης ADSL**

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ (line attenuation) (dB)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ
<20	Τέλεια
20 - 30	Εξαιρετική
30 - 40	Πολύ καλή
40 - 50	Καλή
50 - 60	Κακή (ενδέχεται να υπάρχουν αποσυνδέσεις)
>60	Πολύ κακή (θα υπάρχουν σίγουρα αποσυνδέσεις)

Συνηθισμένες τιμές της εξασθένησης της γραμμής κυμαίνονται μεταξύ των 25dB και 30dB για το ADSL και μεταξύ των 15dB και 20dB για τα ADSL2 και ADSL2+. Στον πίνακα 6 αναφέρονται κατά προσέγγιση τιμές της εξασθένησης της γραμμής και της μέγιστης δυνατής ταχύτητας βάσει της απόστασης DSLAM - συνδρομητή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Τιμές εξασθένησης της γραμμής & ταχύτητας βάσει απόστασης DSLAM - συνδρομητή**

ΑΠΟΣΤΑΣΗ DSLAM – ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ (km)	ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ (line attenuation) (dB)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ (Mbps)
<1	-	24
1	13,81	23
1,5	20,7	21
2	27,6	18
2,5	34,5	13
3	41,4	8
3,5	48,3	6
4	56	4
4,5	62,1	3
5	69	2

### 5.2.2 SNR Margin και SNR

Γενικότερα, οι τηλεφωνικές γραμμές, όπως έχει ήδη αναφερθεί, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη θορύβου. Ο θόρυβος γραμμής, στις επικοινωνίες, ορίζεται ως ο συνδυασμός παρεμβολών από άσχετες πηγές σήματος, όπως ασυρμάτους, ραδιοσυχνότητες, παραμόρφωση κλπ. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio - SNR) περιγράφει την αναλογία ισχύος μεταξύ του μεταφερόμενου σήματος και του θορύβου της γραμμής και επίσης μετράται σε dB [85]. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα και η απόδοση της σύνδεσης, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 7.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Σχέση SNR – σταθερότητας & απόδοσης σύνδεσης**

SNR (dB)	ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ & ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ
<10	Κακή (προβλήματα συγχρονισμού ή αποσυνδέσεις)
10 – 20	Καλή
20 - 28	Εξαιρετική
>29	Τέλεια

Κάποια modem/router αντί για το λόγο SNR (ή επιπρόσθετα του SNR) παρουσιάζουν το λόγο SNRM (SNR Margin) που δείχνει τη διαφορά μεταξύ του πραγματικού SNR και του ελάχιστου καθορισμένου SNR που απαιτείται για τη διατήρηση μίας συγκεκριμένης ταχύτητας σύνδεσης. Πολλοί πάροχοι ISP θέτουν ως όριο ασφαλείας του SNRM τα 9dB ή τα 6dB, ώστε να είναι σταθερή η ADSL σύνδεση. Με βάση αυτό το όριο, τη δεδομένη απόσταση του συνδρομητή από το DSLAM αλλά και την ποιότητα της γραμμής, το modem/router συγχρονίζει ανάλογα.

Κάποια συγκεκριμένα modem/router παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης του SNRM, η μείωση του οποίου αυξάνει την ταχύτητα και επομένως την απόδοση της ADSL σύνδεσης. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις όπου η ταχύτητα σύνδεσης έχει αυξηθεί μέχρι και 4Mbps [85]. Βέβαια, σε κάθε ρύθμιση του SNRM, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η μείωσή του μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια της γραμμής και επομένως σε συνεχείς αποσυνδέσεις.

### 5.3 Έλεγχος απόδοσης του ADSL

Για τον έλεγχο της απόδοσης της τεχνολογίας ADSL, υπάρχουν πολλές και διαφορετικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη. Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν κάποιες από τις παραμέτρους αυτές με βάση διάφορα σφάλματα που μπορούν να εμφανιστούν κατά μήκος της γραμμής σύνδεσης του συνδρομητή με τον πάροχο ISP.

Ένας από τους τρόπους ελέγχου της απόδοσης του ADSL είναι μέσω χρήσης προσομοιωτών (simulators) οι οποίοι μπορούν να προσομοιώσουν το περιβάλλον του ADSL περιλαμβάνοντας όλους τους πιθανούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοσή του [24]. Οι σχεδιαστές των modem/router και οι πάροχοι υπηρεσιών ADSL χρησιμοποιούν σε εργαστηριακό περιβάλλον αξιόπιστους και ακριβείς τρόπους προσομοίωσης των χαρακτηριστικών των γραμμών σύνδεσης, ώστε να μπορούν να σχεδιάζουν προϊόντα που να ξεπερνούν το θεωρητικό επίπεδο και να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της αγοράς για υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερες αποστάσεις λειτουργίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών προσομοίωσης θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τις πραγματικές επιδόσεις της τεχνολογίας σε περιβάλλοντα λειτουργίας. Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά προσομοίωσης γραμμής θα πρέπει να ταιριάζουν απόλυτα με τα θεωρητικά αλλά και τα πραγματικά χαρακτηριστικά των γραμμών σύνδεσης. Η ανοχή των



προσομοιωμένων χαρακτηριστικών θα πρέπει να είναι μικρή, έτσι ώστε να μπορεί να εγγυηθεί μια συνεπή συμβατότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων των δοκιμών στο εργαστήριο και της πραγματικής λειτουργίας της τεχνολογίας μέσω φυσικών γραμμών σύνδεσης ADSL.

Εκτός από τους προσομοιωτές, υπάρχουν επίσης αναλυτές που μπορούν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα μιας γραμμής. Οι αναλυτές είναι ηλεκτρονικές συσκευές, αρθρωτά εργαλεία δοκιμών (Modular Test Toolkits - MTT), τα οποία μπορούν να μετρήσουν μια φυσική γραμμή ADSL και να παρέχουν πληροφορίες όπως εξασθένιση, περιθώριο θορύβου, χωρητικότητα, αντίσταση, τάση κλπ [24]. Οι πληροφορίες αυτές απαιτούν τη διεξαγωγή κατάλληλων μετρήσεων, όπως ηλεκτρικές (μέσω κατάλληλου ψηφιακού πολυμέτρου) και φυσικές (ανάλυση γραμμών μέσω ανακλασίμετρου στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Reflectometer – TDR) και εντοπισμός σημείου σφάλματος γραμμής μέσω εντοπιστή σφάλματος αντίστασης (Resistance Fault locator - RFL). Για την ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων απαιτείται εμπειρία.

Έλεγχος της απόδοσης του ADSL μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω monitoring tools τα οποία είναι προγράμματα συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας της σύνδεσης σε περιβάλλον χρήστη. Η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση των συνδρομητών με συνδέσεις ADSL υψηλών ταχυτήτων οδήγησε στην δημιουργία προγραμμάτων τα οποία έχουν δυνατότητες ανίχνευσης σφαλμάτων της γραμμής καθώς και εφαρμογής κάποιων tweaks. Τα προγράμματα αυτά έχουν τη δυνατότητα ελέγχου και παρουσίασης των στατιστικών σύνδεσης, ελέγχουν τις δυνατότητες ταχύτητας της γραμμής, μπορούν να κάνουν διαχείριση του modem/router του συνδρομητή καθώς και να εφαρμόσουν tweaks σε κάποιες από τις ρυθμίσεις του.

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας θα παρουσιαστεί μια μελέτη περίπτωσης ελέγχου του ADSL με χρήση του monitoring software DMT (DSL - Modem freeware Tool).

#### **5.4 Το DMT (DSL - Modem freeware Tool)**

Το DMT (DSL - Modem freeware Tool) είναι ένα δωρεάν monitoring software σχεδιασμένο για λειτουργικό Windows, το οποίο αποτελεί έναν εύκολο τρόπο άντλησης πληροφοριών για τη σύνδεση του χρήστη ADSL, μέσω αυτόματης συνεχούς παρακολούθησης και ανάλυσης της γραμμής, επιτρέποντας τη ρύθμιση του modem/router μέσω telnet με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της σύνδεσης [86]. Προσφέρει ένα ωραίο γραφικό περιβάλλον και ορισμένα χρησιμότερα γραφήματα που φτιάχνει αυτόματα βάσει των πληροφοριών που παίρνει από το modem/router. Με τον τρόπο αυτό, ο έλεγχος της πραγματικής ταχύτητας της ADSL σύνδεσης και η συνεχής παρακολούθηση της κυκλοφορίας των δεδομένων απλουστεύονται, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης των παραμέτρων του χρησιμοποιούμενου modem/router στην περίπτωση που τα αποτελέσματα του ελέγχου δεν είναι ικανοποιητικά [87].

Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτόνομα τερματικά ή σε υπολογιστές δικτύων. Στην δεύτερη περίπτωση, ο ενσωματωμένος διακομιστής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση του DMT (για παράδειγμα, ως υπηρεσία/υπηρεσία) σε οποιονδήποτε υπολογιστή του δικτύου. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου δικτύου TCP/IP.

Το DMT έχει κυκλοφορήσει σε διάφορες εκδόσεις (DMT v1.xx – DMT v9.xx). Κάθε επόμενη έκδοση όμως δεν αποτελεί αναβάθμιση της προηγούμενης αλλά υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους modem/router. Δυστυχώς, το πρόγραμμα δεν υποστηρίζει όλους τους τύπους modem/router, γεγονός που αποτελεί βασικό μειονέκτημά του. Για το λόγο αυτό, πριν την εφαρμογή του θα πρέπει να ελέγχεται πρώτα ο τύπος του modem ή το chipset του router.

Στην επίσημη σελίδα του εργαλείου υπάρχουν διαθέσιμες για κατέβασμα όλες οι εκδόσεις του και κάτω από κάθε μια αναφέρονται όλα τα μοντέλα modem/router που υποστηρίζονται [86]. Στην περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο από το χρήστη modem/router δεν υπάρχει στα αναγραφόμενα, τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τα μοντέλα που υποστηρίζονται είναι πολλά ενώ παράλληλα είναι διαθέσιμα και αρκετά tweaks για καθένα από αυτά. Για παράδειγμα η έκδοση DMT v8.07 υποστηρίζει τα εξής modem/router [88]:

- Broadcom Routers - BCM 6338/6348/6358 (adslctl tool)
- Belkin 7633
- BT Voyager 210/2091/2100/2110
- D-link 2640B
- DSL-2740B
- Hitachi AH4222
- Linksys WAG54GS, WRT54G 4.0
- Netgear DG834GT/DG834NB/DG834PNB
- Siemens SL2-141-I/SLI-5300-I/CL-110-I
- Speedtouch 716g
- Speedport 500V/W500V
- T-Sinus 1054 DSL
- US Robotics 9107/9108/Ndx 9113

Ένα ακόμα «μειονέκτημα» του DMT είναι η γερμανική προέλευσή του, για όσους δεν γνωρίζουν γερμανικά, όμως κατά την εγκατάστασή του δίνεται η δυνατότητα επιλογής της αγγλικής γλώσσας για τη λειτουργία του [89].

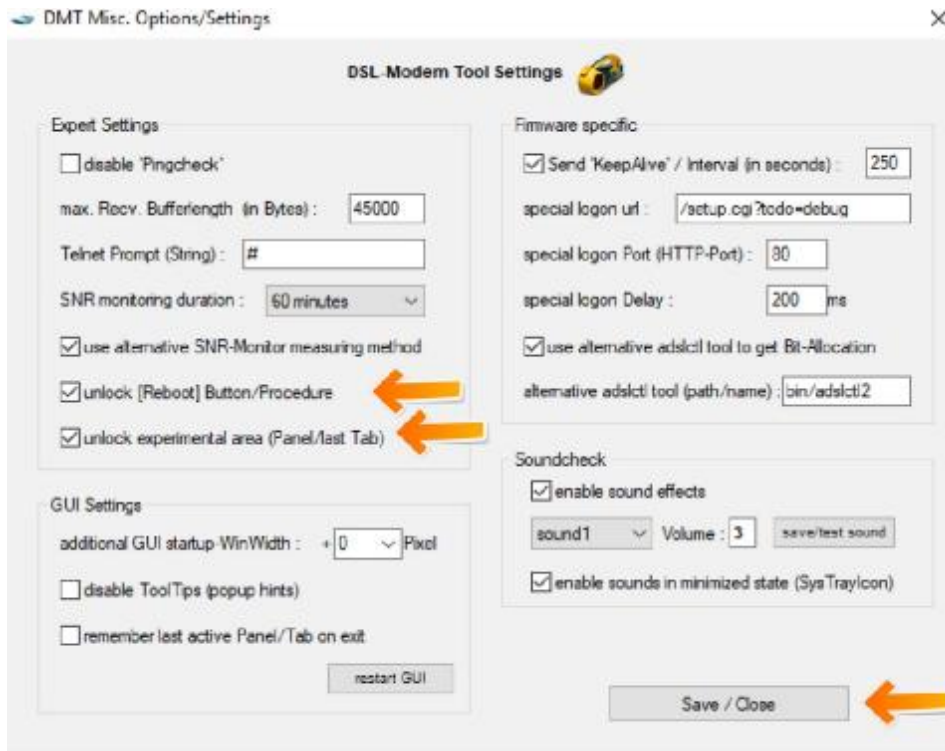
Το κυριότερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου monitoring software είναι η ευκολία που παρέχει στην εύρεση προβλημάτων της γραμμής σύνδεσης ADSL καθώς και η ευκολοδιάβαστη και ευπαρουσίαστη μορφή των πληροφοριών που αντλούνται από το χρησιμοποιούμενο modem/router. Παράλληλα, η δυνατότητα πραγματοποίησης όσο το δυνατόν καλύτερων ρυθμίσεων του modem/router για την επίτευξη της βέλτιστης σύνδεσης ADSL του δίνουν μεγάλο προβάδισμα έναντι άλλων monitoring προγραμμάτων της κατηγορίας του.

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται οι πληροφορίες που προσφέρει το DMT καθώς και η λειτουργία ορισμένων από τις επιλογές του. Η έκδοση που παρουσιάζεται είναι η DMT v7.35.

#### **5.4.1 Κατέβασμα, αρχικές ρυθμίσεις και εκτέλεση προγράμματος**

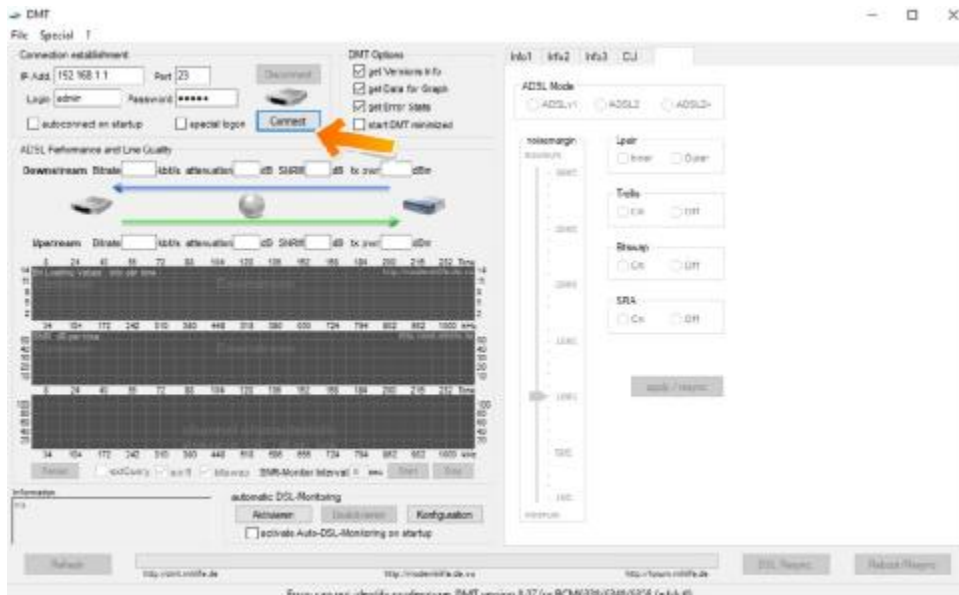
Για την εγκατάσταση του προγράμματος πρέπει να γίνουν τα εξής βήματα [89]:

- Κατέβασμα (*download*) της κατάλληλης έκδοσης του εργαλείου από την επίσημη σελίδα του
- Άνοιγμα (*unzip*) του αρχείου που έχει κατέβει σε κάποιον φάκελο
- Εκτέλεση του προγράμματος μέσω του αρχείου *DMT.exe*
- Επιλογή γλώσσας (*English*) (προαιρετικά) και επιλογή του "*Annex A*"



Εικόνα 33: DMT Misc. Options/Settings

Για τις αρχικές ρυθμίσεις του προγράμματος θα πρέπει να γίνει tick στις επιλογές που φαίνονται στην Εικόνα 33 της σελίδας *DMT Misc. Options/Settings*, οι οποίες αποθηκεύονται πατώντας το *Save/Close*.

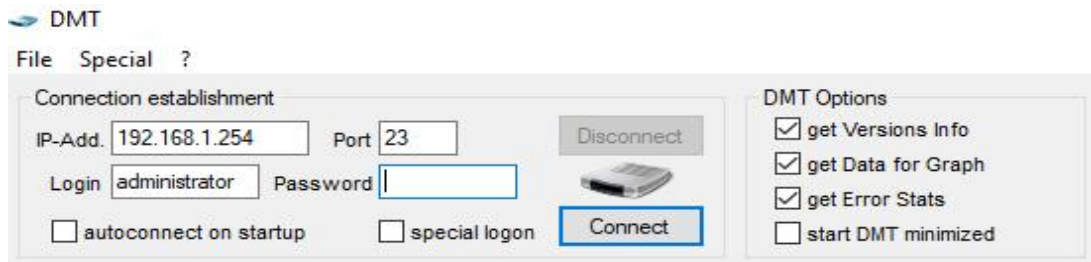


Εικόνα 34: Γραφικό περιβάλλον DMT πριν την εκτέλεση του

Μετά τον ορισμό των επιλογών αυτών στην οθόνη του υπολογιστή του χρήστη εμφανίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος της Εικόνα 34.

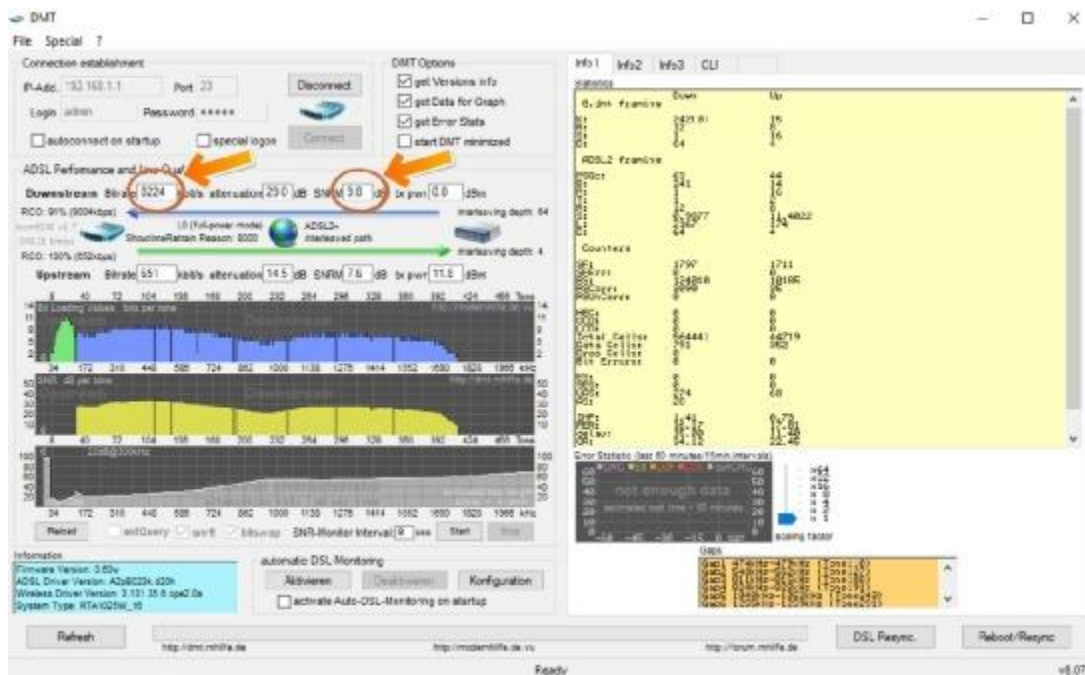
Πριν την εκτέλεση του προγράμματος, στο πεδίο *Connection establishment* πρέπει να γίνει εισαγωγή ενός username και ενός password (από προεπιλογή αυτά είναι *administrator* και κενό, αντίστοιχα). Η διεύθυνση IP και το port θα είναι συμπληρωμένα. Σε αντίθετη

περίπτωση θα πρέπει να εισαχθούν τα 192.168.1.254 και 23, αντίστοιχα (Εικόνα 35). Το πρόγραμμα εκτελείται πατώντας *Connect*.



Εικόνα 35: Αρχικές ρυθμίσεις DMT

Μετά την επιτυχημένη σύνδεση, στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος εμφανίζονται τα στοιχεία της γραμμής σύνδεσης και δημιουργούν τρία γραφήματα (Εικόνα 36). Στην περιοχή των πληροφοριών (δεξιά) παρουσιάζονται κάποια στατιστικά, όπως πόσες φορές έχει πέσει η γραμμή, τον αριθμό των λαθών, το συνολικό uptime κτλ. Κάτω αριστερά παρουσιάζονται άλλες πληροφορίες για το modem/router του συνδρομητή, όπως το chipset του, ο τύπος του, κτλ.



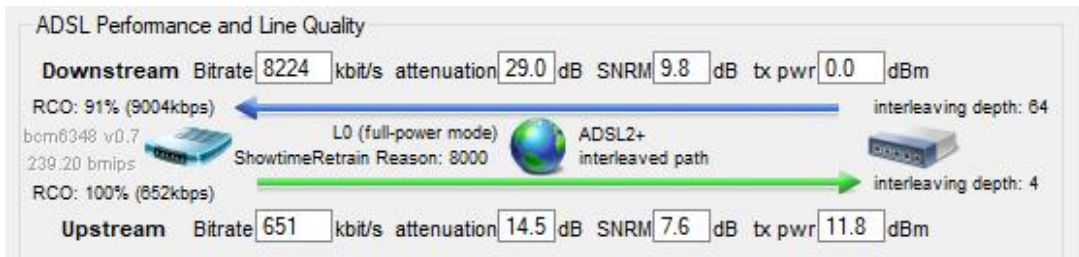
Εικόνα 36: Γραφικό περιβάλλον DMT μετά την εκτέλεση του

## 5.4.2 Στοιχεία γραμμής

Στο πεδίο *ADSL Performance and Line Quality*, το DMT εμφανίζει τα στοιχεία της γραμμής κατά την ώρα εκτέλεσής του (Εικόνα 37). Οι βασικές πληροφορίες που παρέχονται, παρουσιάζονται ξεχωριστά για το downstream και το upstream και αφορούν την ταχύτητα σύνδεσης (*Bitrate*), την εξασθένιση (*attenuation*), το SNRM και την ισχύ εκπομπής (*tx power*).

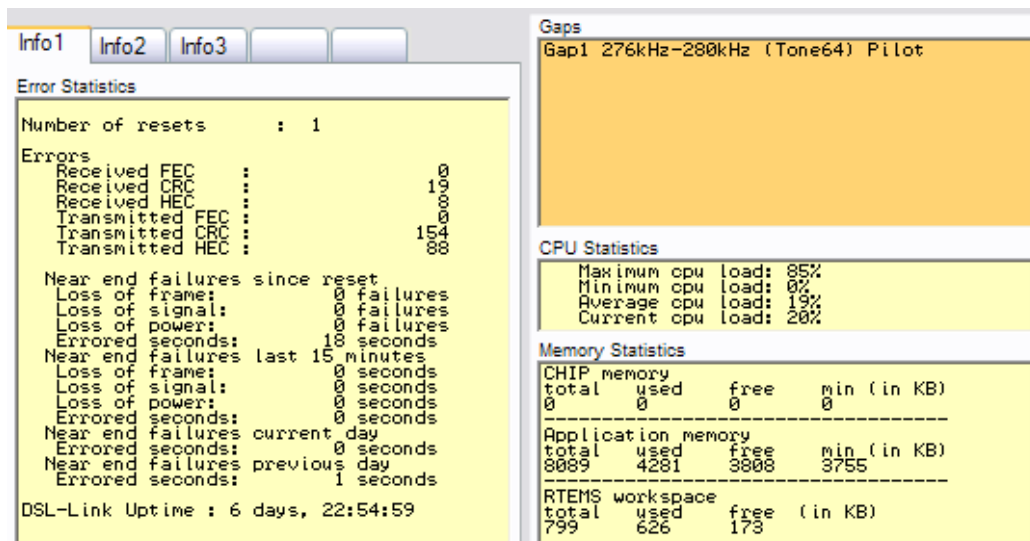
Στις πληροφορίες αυτές, επίσης, περιλαμβάνονται ο αριθμός των τόνων που χρησιμοποιούνται (*Tones*) καθώς και η τιμή *RCO* (*Relative Capacity Occurance*), η οποία δείχνει το ποσοστό της μέγιστης θεωρητικής ταχύτητας που έχει κλειδώσει το modem/router. Η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα υπολογίζεται με βάση τις τρέχουσες πληροφορίες εξασθένησης και SNR. Η *RCO* εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό των δυνατοτήτων της ADSL γραμμής ή σε χιλιάδες kbps.

Τέλος, στο κέντρο του πεδίου παρουσιάζονται και άλλες πληροφορίες που αφορούν το path της σύνδεσης (*fast* ή *interleaved path*) καθώς και το chipset του DSLAM που συνδέεται ο συνδρομητής.



Εικόνα 37: Στοιχεία γραμμής στο DMT

Η σύνδεση του DMT με το modem/router του συνδρομητή παρέχει ακόμα τρία πεδία πληροφοριών σχετικά με την γραμμή και το modem/router. Έτσι, στην περιοχή των πληροφοριών (δεξιά), υπάρχουν τρεις καρτέλες (*Info1*, *Info 2* και *Info 3*), στις οποίες αναφέρονται ο αριθμός των λαθών της γραμμής, η απόδοση του modem/router, κλπ. (Εικόνα 38).



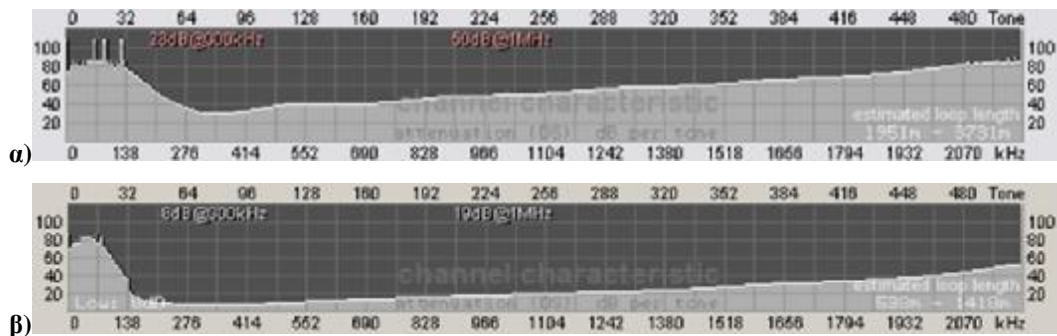
Εικόνα 38: Στοιχεία γραμμής και κατάσταση modem/router [89]

### 5.4.3 Γράφημα εξασθένησης

Σ' αυτό το γράφημα (3ο γράφημα στην Εικόνα 36) παρουσιάζεται η εξασθένηση του σήματος για τις συχνότητες του downstream, μετρούμενη σε dB ανά τόνο (dB per tone). Στο πάνω οριζόντιο μέρος του γραφήματος εμφανίζονται οι τόνοι, στο κάτω οριζόντιο μέρος η αντίστοιχη συχνότητα, ενώ στον κάθετο άξονα η τιμή της εξασθένησης σε dB.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, η εξασθένηση εξαρτάται από την απόσταση του συνδρομητή από το DSLAM και είναι μεγαλύτερη στις υψηλότερες συχνότητες. Όπως φαίνεται και στο 3ο γράφημα στην Εικόνα 36, η χαμηλότερη τιμή της εξασθένησης παρουσιάζεται (λόγω απόστασης) στον τόνο (ή συχνότητα) που ξεκινά το downstream και αυξάνεται σταδιακά προς τις υψηλότερες συχνότητες. Στην περίπτωση που ο συνδρομητής βρίσκεται πολύ κοντά στο DSLAM η εξασθένηση είναι συνολικά μικρή, οπότε το γράφημα της μπορεί να τείνει σε ευθεία γραμμή. Γενικά, όσο χαμηλότερο είναι το γράφημα της εξασθένησης τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του ADSL. Παράλληλα, οι όποιες αυξήσεις θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομαλότερες προς τις υψηλότερες συχνότητες.

Με βάση τα παραπάνω, στην Εικόνα 39 α) και β) παρουσιάζονται δύο γραφήματα εξασθένησης που αφορούν γραμμές με μεγάλη εξασθένηση και με μικρή εξασθένηση, αντίστοιχα, όπως αυτά εμφανίζονται στο πρόγραμμα DMT.



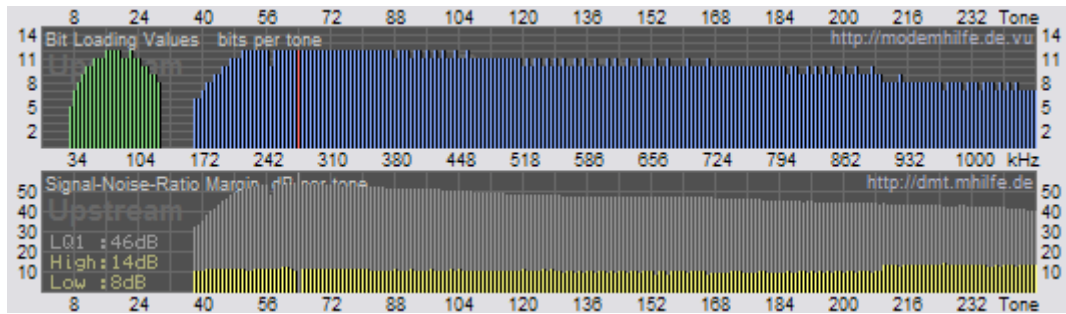
Εικόνα 39: Γράφημα εξασθένησης α) για γραμμή με μεγάλη εξασθένηση, β) για γραμμή με μικρή εξασθένηση [91]

#### 5.4.4 Γράφημα SNR / SNRM

Σ' αυτό το γράφημα (2ο γράφημα στην Εικόνα 36) παρουσιάζονται συνήθως δύο φάσματα μαζί: το γράφημα του SNR και το γράφημα του SNRM. Το γράφημα του SNR είναι το μεγαλύτερο από τα δύο και αφορά το φάσμα του SNR του downstream ανά συχνότητα (dB per tone). Το DMT δεν παρέχει καμία πληροφορία για το SNR του upstream.

Το γράφημα του SNR έχει άμεση σχέση με το γράφημα της εξασθένησης. Χαμηλότερη εξασθένηση σήματος σημαίνει μεγαλύτερο SNR, επομένως, αναλογικά με το 3ο γράφημα, στα σημεία χαμηλής εξασθένησης θα πρέπει να αντιστοιχεί υψηλό SNR, ενώ όσο αυξάνει ομαλά η εξασθένηση στους μεγαλύτερους τόνους, το ίδιο ομαλά θα πρέπει να πέφτει και το SNR. Θεωρητικά, η αναλογικότητα αυτή προϋποθέτει τη σχετική σταθερότητα του θορύβου για όλες τις συχνότητες, γεγονός που όμως δε συμβαίνει στην πράξη. Για το λόγο αυτό, στα γραφήματα SNR παρατηρούνται βυθίσεις σε κάποιους τόνους, ενώ σε άλλους ο θόρυβος είναι τόσο μεγάλος σε σχέση με το σήμα που δημιουργούνται τα λεγόμενα κενά (gaps). Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, ο θόρυβος της γραμμής συνήθως είναι κρουστικός (REIN ή SHEIN) ή προέρχεται από συγκεκριμένη πηγή (EMI) ή από φαινόμενο crosstalk. Όσο οι βυθίσεις αυτές είναι λίγες και μικρές και όσο τα κενά περιορίζονται σε μερικούς τόνους, δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα για την απόδοση του ADSL. Επίσης, πρόβλημα συνήθως δεν δημιουργεί η ύπαρξη κενών προς το τέλος του γραφήματος, από τη στιγμή που σε αυτή την περιοχή η εξασθένηση του σήματος είναι έτσι κι αλλιώς αρκετά μεγάλη.

Στο 2ο γράφημα, μαζί με το φάσμα του SNR, παρουσιάζεται και αυτό του SNRM (dB per tone) (συνήθως κίτρινου χρώματος). Λόγω του ορίου ασφαλείας που τίθεται από τους παρόχους ISP, το φάσμα του SNRM είναι ίδιο για όλες τις συχνότητες και επομένως θα πρέπει να έχει σταθερό και μικρό ύψος. Στην Εικόνα 40 β) παρουσιάζεται χαρακτηριστικό παράδειγμα γραφημάτων SNR και SNRM για μια τέλεια γραμμή σύνδεσης. Στην Εικόνα 40 α) παρουσιάζεται το γράφημα καναλιών συχνοτήτων για την ίδια περίπτωση που θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα.



Εικόνα 40: Γραφήματα α) καναλιών συχνοτήτων για τέλεια γραμμή σύνδεσης και β) SNR / SNRM [89]

#### 5.4.5 Γράφημα καναλιών συχνοτήτων

Σ' αυτό το γράφημα (1ο γράφημα στην Εικόνα 36) παρουσιάζονται τα κανάλια συχνοτήτων και πιο συγκεκριμένα με πράσινο χρώμα οι συχνότητες για το upstream και με μπλε για το downstream. Στο γράφημα αυτό φαίνεται ο αριθμός των bit που έχουν τοποθετηθεί σε κάθε τόνο από το modem/router (bits per tone) με βάση το SNR που υπάρχει στην κάθε συχνότητα και δεδομένου ότι το SNRM δεν είναι μικρότερο του ορίου ασφαλείας που τίθεται από τους παρόχους ISP. Ο μέγιστος αριθμός bit που τοποθετούνται είναι 15.

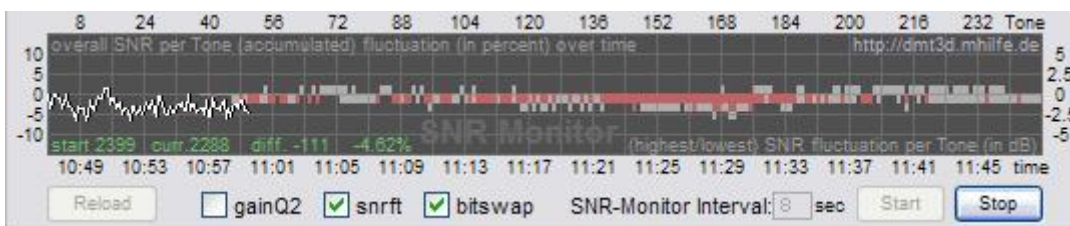
Όσο πιο ψηλό και πλατύ είναι το φάσμα συχνοτήτων που παρουσιάζεται στο γράφημα αυτό, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα σύνδεσης. Για τέλεια γραμμή σύνδεσης το γράφημα καναλιών συχνοτήτων έχει ακριβώς την ίδια μορφή με το γράφημα SNR / SNRM (Εικόνα 40α)).

#### 5.4.6 SNR - Monitoring

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη υποενότητα, το εργαλείο DMT παρέχει αρκετές δυνατότητες για εφαρμογή tweaks, όπως spectral shaping, tone masking, κτλ. Η επιτυχία της εφαρμογής τους εξαρτάται και από το κατά πόσο μπορούν να υποστηριχθούν και από το router του DSLAM με το οποίο γίνεται η σύνδεση του modem/router του συνδρομητή.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα λειτουργία του DMT αφορά το SNR - Monitoring. Το DMT επιτρέπει στο χρήστη την επιλογή του χρονικού διαστήματος για το οποίο θα εκτελείται η λειτουργία αυτή. Η επιλογή του χρονικού αυτού διαστήματος γίνεται στο παράθυρο *Special (Special -> Misc. Options -> SNR monitoring duration)* και πατώντας κατόπιν *Save/Close*. Η λειτουργία της συνεχούς παρακολούθησης του SNR ξεκινάει με το κουμπί *Start*, που βρίσκεται κάτω από το γράφημα της εξασθένησης (Εικόνα 36).

Αφού ξεκινήσει το η λειτουργία αυτή, στη θέση του γραφήματος εξασθένησης θα αρχίσει να δημιουργείται ένα καινούριο. Σ' αυτό παρουσιάζεται η διακύμανση του ολικού SNR (λευκό γράφημα), καθώς και τη διακύμανση του SNR ανά συχνότητα για το χρονικό διάστημα που έχει επιλεγεί (κόκκινο γράφημα) (Εικόνα 41). Αν ξεκλικαριστεί το κουτάκι που γράφει *snrft* σταματάει η ταυτόχρονη παρουσίαση και των δύο γραφημάτων.

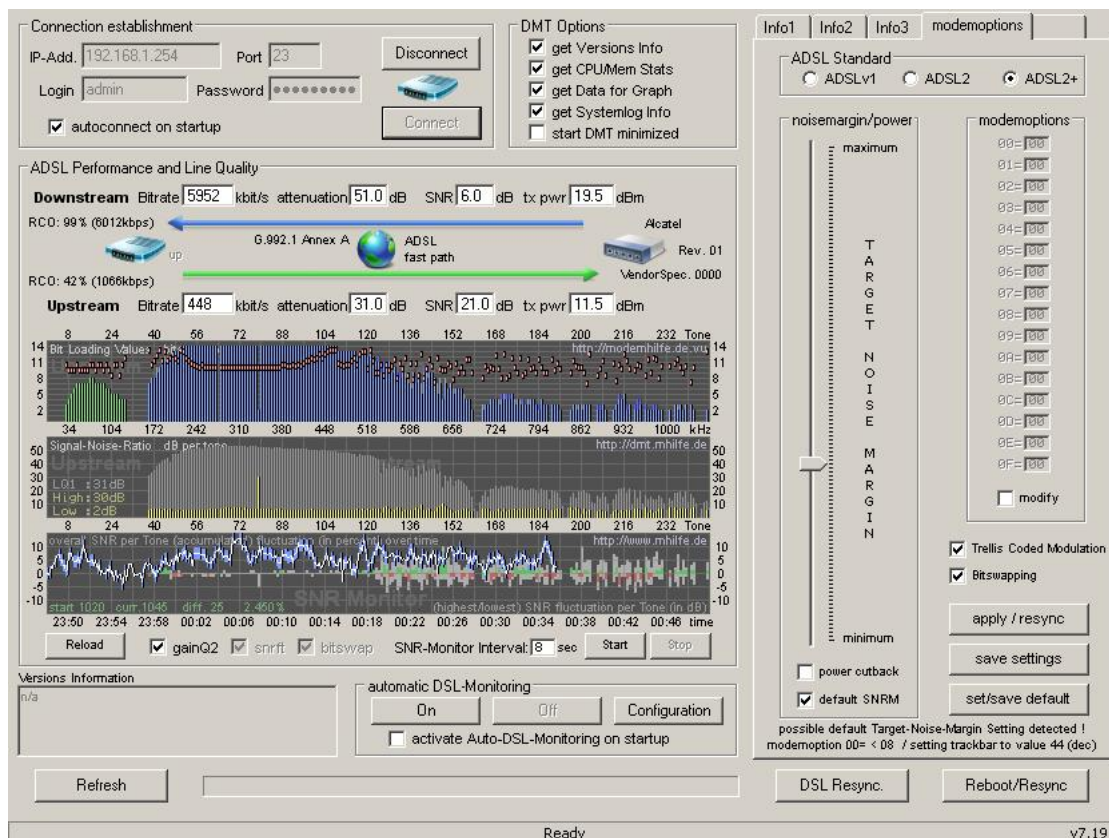


Εικόνα 41: Γράφημα λειτουργίας SNR - Monitoring [89]

Στον πάνω άξονα του γραφήματος παρουσιάζονται οι τόνοι ενώ στον κάτω ο χρόνος παρακολούθησης που ισχύει για το γράφημα της διακύμανσης του ολικού SNR. Ο αριστερός άξονας αφορά τη διακύμανση επί τοις εκατό της συνολικής τιμής του SNR (άθροισμα SNR όλων των τόνων), από τη στιγμή που άρχισε η μέτρηση και ισχύει επίσης για το γράφημα της διακύμανσης του ολικού SNR. Ο δεξιός άξονας αφορά τη διακύμανση σε dB του SNR ανά συχνότητα, από την έναρξη της μέτρησης.

Η παρακολούθηση της διακύμανσης του SNR ανά συχνότητα για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι σημαντική καθώς με τον τρόπο αυτό ο χρήστης μπορεί να ενημερωθεί για την ύπαρξη κάποιας προβληματικής συχνότητας την οποία και θα μπορούσε να αποκλείσει μέσω tone selection.

Στην εικόνα 41 παρουσιάζεται ένα screenshot του DMT κατά τη λειτουργία SNR - Monitoring. Στο γράφημα της λειτουργίας μπορεί να παρατηρηθεί η ύπαρξη μαπαρών σε διάφορα χρώματα. Οι κόκκινες και πράσινες μπάρες είναι οι τιμές από την τελευταία μέτρηση. Οι πράσινες δείχνουν αν υπήρξε αύξηση στην τιμή σε σχέση με την προτελευταία μέτρηση και οι κόκκινες δείχνουν αν υπήρξε μείωση. Η γκρι μπάρα δείχνει τη μέγιστη διακύμανση του SNR σε μια συχνότητα από την αρχή της μέτρησης. Τέλος, σε κάποια σημεία παρουσιάζονται μπλε, κάθετες, λεπτές, μικρές γραμμές που δηλώνουν πως σε εκείνο το χρονικό σημείο έγινε bitswap, όπως φαίνεται και στο γράφημα των καναλιών συχνότητας στην Εικόνα 42.



Εικόνα 42: Screenshot του DMT κατά τη λειτουργία SNR - Monitoring [92]

### 5.4.7 DSL – Monitoring

Μια ακόμα λειτουργία του DMT αφορά το DSL – Monitoring. Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται το παράθυρο της λειτουργίας αυτής. Πατώντας *Configuration* δίνεται η δυνατότητα ορισμού του κάθε πότε να ελέγχει το πρόγραμμα τη γραμμή. Η συνεχής παρακολούθηση της γραμμής από το DMT δίνει τη δυνατότητα ελέγχου της μέσω αυτόματης



εκτέλεσης κάποιων εντολών που πραγματοποιείται από την ικανοποίηση κάποιων όρων που έχει θέσει ο χρήστης. Ο έλεγχος πραγματοποιείται πατώντας το κουμπί *On*.



**Εικόνα 43: Λειτουργία DSL – Monitoring [92]**

## 6 Μετρήσεις με το DMT

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του εργαλείου DMT πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με δύο διαφορετικά router στην ίδια γραμμή. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν δυο router είναι γιατί το πρώτο μοντέλο δεν ήταν συμβατό με το εργαλείο DMT. Το πρώτο μοντέλο ήταν το router Thomson TG585V6 και το δεύτερο μοντέλο το router Siemens SL2-141. Στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου αναλύονται οι μετρήσεις και παρουσιάζονται με τη χρήση στιγμιότυπων οθόνης.

### 6.1 Thomson TG585V6

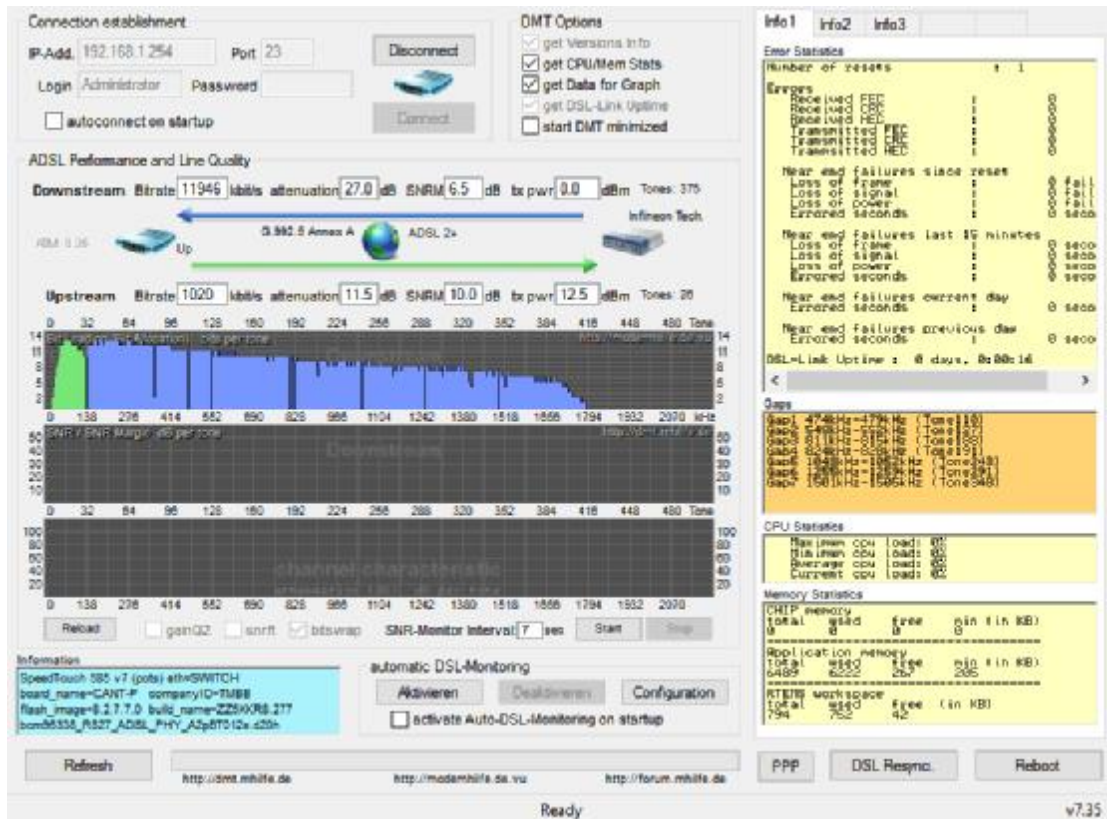
Για την εκτέλεση της λήψης των μετρήσεων, αρχικά, έγινε εισαγωγή των στοιχείων εισόδου (username και password) του router Thomson TG585V6, στο πεδίο *Connection establishment*, καθώς και η διεύθυνση IP του router, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η 192.168.1.254 και η θύρα (port), η οποία είναι η 23. Η έναρξη των μετρήσεων θα ξεκινήσει με την επιλογή του Connect. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 44 με την έναρξη της προσπάθειας για σύνδεση του εργαλείου DMT με το router, δίνεται πλέον μόνο επιλογή Disconnect. Επίσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της ασυμβατότητας του router με το εργαλείο στις επιλογές του εργαλείου δεν είναι δυνατή επιλογή των get CPU/Mem Stats και get DSL-Link Uptime, στο πεδίο *DMT options*.



The screenshot shows the DMT interface with two main sections: 'Connection establishment' and 'DMT Options'. In the 'Connection establishment' section, the IP-Add field contains '192.168.1.254', the Port field contains '23', the Login field contains 'Administrator', and the Password field is empty. There is an 'autoconnect on startup' checkbox which is unchecked. A 'Disconnect' button is visible, and a 'Connect' button is disabled. In the 'DMT Options' section, there are four checked checkboxes: 'get Versions Info', 'get CPU/Mem Stats', 'get Data for Graph', and 'get DSL-Link Uptime'. The 'start DMT minimized' checkbox is unchecked.

Εικόνα 44: Εισαγωγή στοιχείων πρόσβασης του router Thomson TG585V6 και επιλογές

Μετά την επιτυχημένη σύνδεση, στο γραφικό περιβάλλον του εργαλείου εμφανίζονται τα στοιχεία της γραμμής σύνδεσης και θα πρέπει να δημιουργηθούν τρία γραφήματα, όμως, στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 45, εμφανίστηκε μόνο ένα γράφημα, εξαιτίας της ασυμβατότητας του router με το εργαλείο.



Εικόνα 45: Στιγμιότυπο μετρήσεων για το router Thomson TG585V6 στο DMT

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, στο πεδίο *ADSL Performance and Line Quality*, όπως φαίνεται στην Εικόνα 46, στο Downstream το Bitrate είναι 11.946 kbit/s, το attenuation 27.0dB, το SNRM 6.5dB και το tx pwr 0.0dB σε 375 τόνους, στο Upstream το Bitrate είναι 1.020 kbit/s, το attenuation 11.5 dB, το SNRM 10.0dB και το tx pwr 12.5dB σε 26 τόνους.



Εικόνα 46: Downstream & Upstream στο router Thomson TG585V6

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, στο πεδίο *ADSL Performance and Line Quality*, στο γράφημα Bit Loading (Bit Allocation) bits per tone στην Εικόνα 47, φαίνεται η εξασθένηση του σήματος για τις συχνότητες του downstream, μετρούμενη σε dB ανά τόνο (dB per tone). Η χαμηλότερη τιμή της εξασθένησης παρουσιάζεται στην συχνότητα που ξεκινά το downstream και αυξάνεται σταδιακά προς τις υψηλότερες συχνότητες. Όπως φαίνεται υπάρχει εξασθένηση στη σύνδεση.



Εικόνα 47: Bit Loading (Bit Allocation) bits per tone στο router Thomson TG585V6

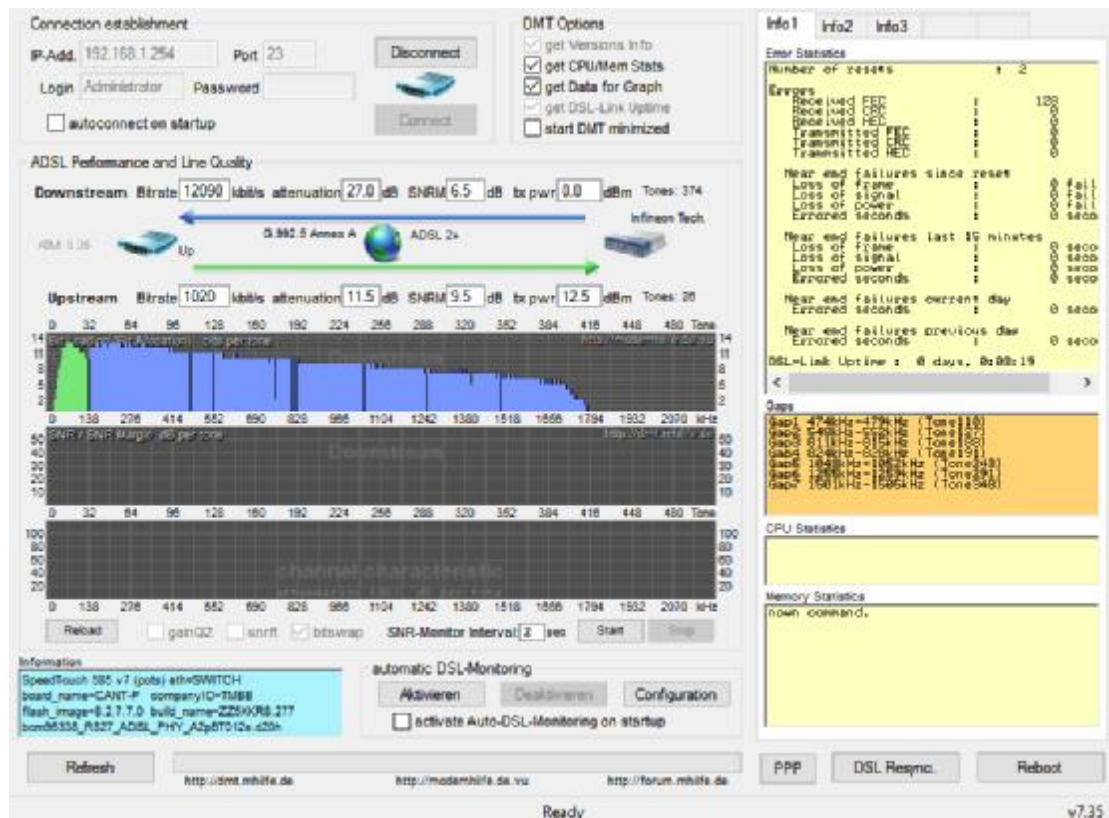
Από τη θεωρητική προσέγγιση προκύπτει ότι η ταχύτητα της σύνδεσης είναι εξαιρετική και σύμφωνα με το SNR Margin είναι σταθερή. Όμως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 48 όπου απεικονίζεται η περιοχή των πληροφοριών, υπάρχουν κενά στη σύνδεση, όπως αποτυπώνονται στο πεδίο *Gaps*.

The screenshot displays the status page of a Thomson TG585V6 router, divided into several sections:

- Info1, Info2, Info3:** Navigation tabs at the top.
- Error Statistics:**
  - Number of resets: 1
  - Errors: Received FEC, Received CRC, Received HEC, Transmitted FEC, Transmitted CRC, Transmitted HEC (all 0).
  - Near end failures since reset: Loss of frame, Loss of signal, Loss of power, Errored seconds (all 0).
  - Near end failures last 15 minutes: Loss of frame, Loss of signal, Loss of power, Errored seconds (all 0).
  - Near end failures current day: Errored seconds (0).
  - Near end failures previous day: Errored seconds (0).
  - DSL-Link Uptime: 0 days, 0:00:16
- Gaps:**
  - Gap1 474kHz-479kHz (Tone110)
  - Gap2 548kHz-552kHz (Tone127)
  - Gap3 811kHz-815kHz (Tone188)
  - Gap4 824kHz-828kHz (Tone191)
  - Gap5 1048kHz-1052kHz (Tone243)
  - Gap6 1255kHz-1259kHz (Tone291)
  - Gap7 1501kHz-1505kHz (Tone348)
- CPU Statistics:**
  - Maximum cpu load: 0%
  - Minimum cpu load: 0%
  - Average cpu load: 0%
  - Current cpu load: 0%
- Memory Statistics:**
  - CHIP memory:** total 0, used 0, free 0, min (in KB) 0
  - Application memory:** total 6489, used 6222, free 267, min (in KB) 205
  - RTMS workspace:** total 794, used 752, free 42 (in KB)

**Εικόνα 48:** Περιοχή πληροφοριών στο DMT για το router Thomson TG585V6

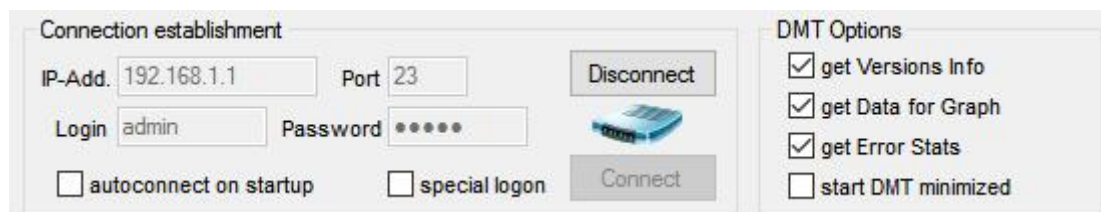
Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην πρώτη χρονική περίοδο. Στην ακόλουθη Εικόνα 49 δίνονται τα στοιχεία για τη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στη δεύτερη χρονική περίοδο.



Εικόνα 49: Στιγμιότυπο μετρήσεων για το router Thomson TG585V6 στο DMT (2η χρονική περίοδο)

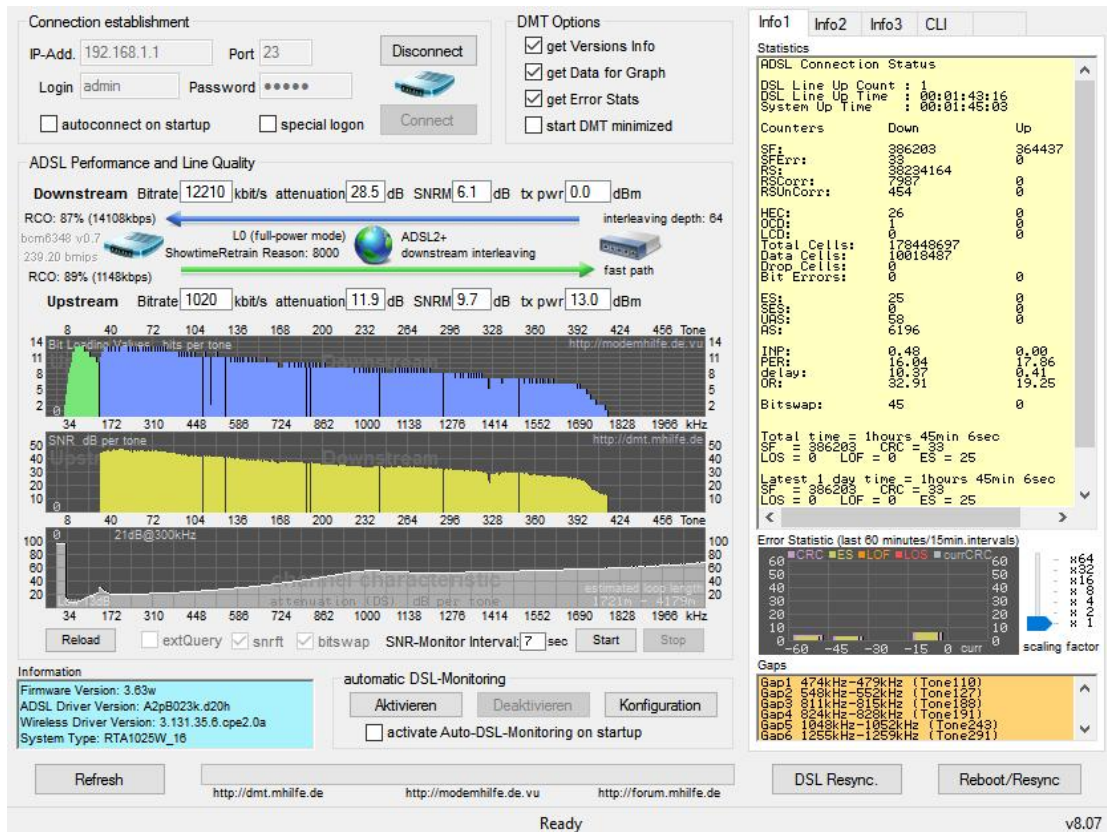
## 6.2 Siemens SL2-141

Για την εκτέλεση της λήψης των μετρήσεων αρχικά έγινε εισαγωγή των στοιχείων εισόδου (username και password) του router Siemens SL2-141, στο πεδίο *Connection establishment*, καθώς και η διεύθυνση IP του router, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η 192.168.1.1 και η θύρα (port), η οποία είναι η 23. Η έναρξη των μετρήσεων θα ξεκινήσει με την επιλογή του Connect. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 50 με την έναρξη της προσπάθειας για σύνδεση του εργαλείου DMT με το router, δίνεται πλέον μόνο επιλογή Disconnect. Επίσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της συμβατότητας του router με το εργαλείο είναι διαθέσιμες όλες οι επιλογές στο πεδίο *DMT options*.



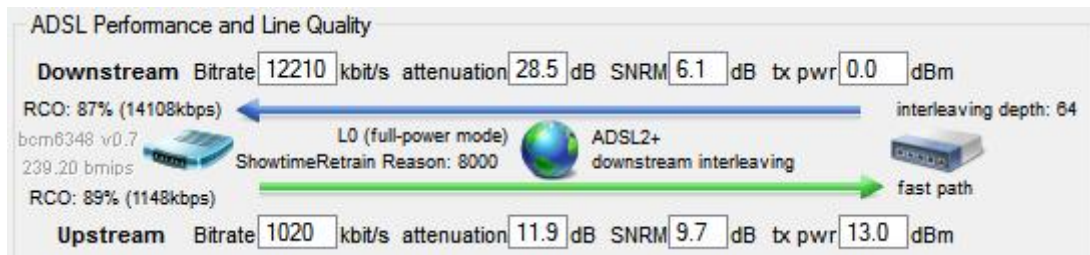
Εικόνα 50: Εισαγωγή στοιχείων πρόσβασης του Siemens SL2-141 και επιλογές

Μετά την επιτυχημένη σύνδεση, στο γραφικό περιβάλλον του εργαλείου εμφανίζονται τα στοιχεία της γραμμής σύνδεσης και δημιουργούνται τρία γραφήματα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 51. Γενικά, επειδή το συγκεκριμένο router είναι συμβατό με το εργαλείο εμφανίζονται πολλές πληροφορίες για τη σύνδεση.



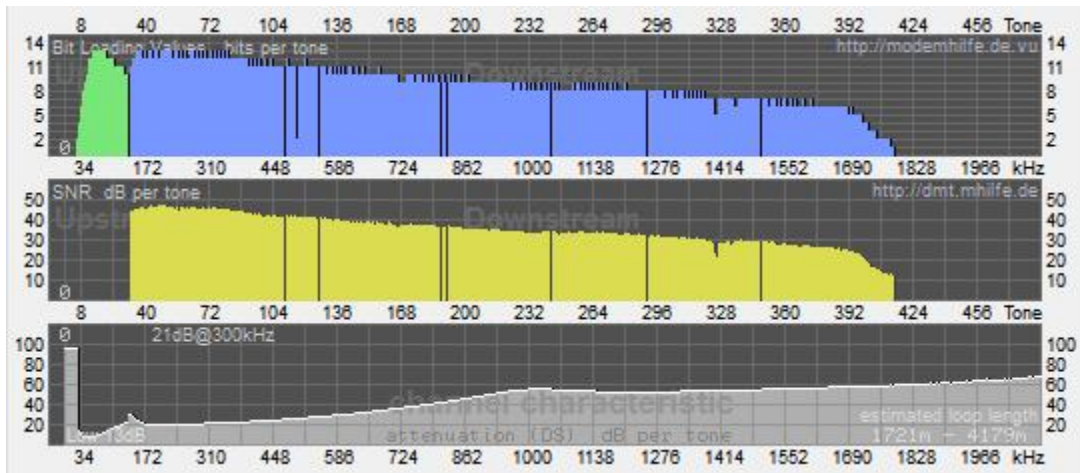
Εικόνα 51: Στιγμιότυπο μετρήσεων για το router Siemens SL2-141 στο DMT

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, στο πεδίο *ADSL Performance and Line Quality*, όπως φαίνεται στην εικόνα 52, στο Downstream το Bitrate είναι 12.210 kbits/s, το attenuation 28.5dB, το SNRM 6.1dB και το tx pwr 0.0dB, στο Upstream το Bitrate είναι 1.020 kbits/s, το attenuation 11.9 dB, το SNRM 9.7dB και το tx pwr 13.0dB.



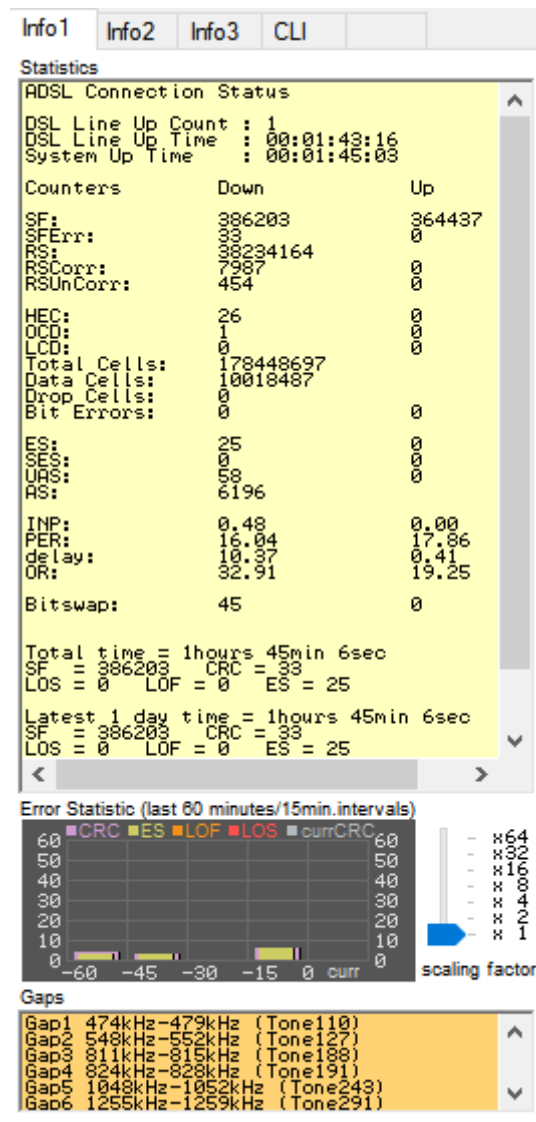
Εικόνα 52: Downstream & Upstream στο router Siemens SL2-141 στο DMT

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, στο πεδίο *ADSL Performance and Line Quality*, στο γράφημα Bit Loading στην Εικόνα 53, φαίνεται η εξασθένηση του σήματος για τις συχνότητες του downstream, μετρούμενη σε dB ανά τόνο (dB per tone). Η χαμηλότερη τιμή της εξασθένησης παρουσιάζεται στην συχνότητα που ξεκινά το downstream και αυξάνεται σταδιακά προς τις υψηλότερες συχνότητες. Όπως φαίνεται υπάρχει εξασθένηση στη σύνδεση. Στο γράφημα για το SNR, φαίνεται η εξασθένηση του σήματος για τις συχνότητες του downstream, μετρούμενη σε dB ανά τόνο (dB per tone).



**Εικόνα 53: Γραφήματα μετρήσεων στο DMT για τη σύνδεση με το router Siemens SL2-141**

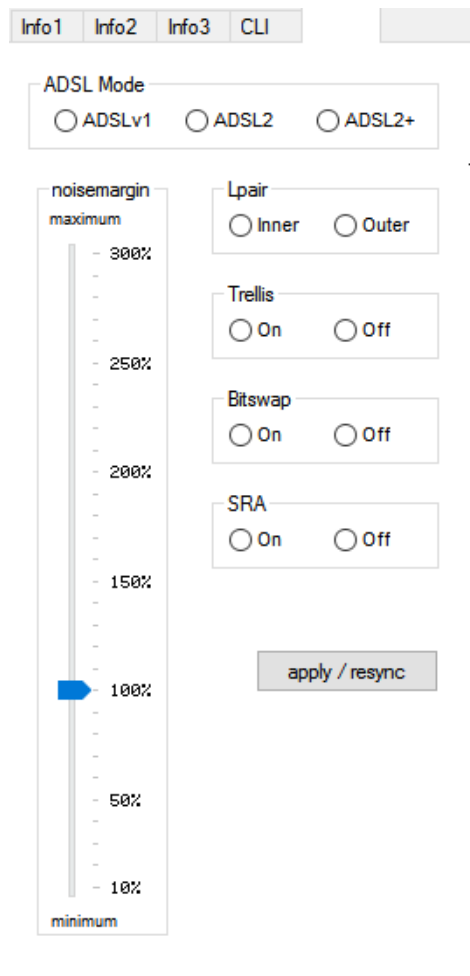
Επίσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 52 αλλά και στην ακόλουθη Εικόνα 54 με τις πληροφορίες, υπάρχουν κενά στη γραμμή της σύνδεσης. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη περίπτωση δίνονται επιπρόσθετες πληροφορίες, εφόσον υπάρχει συμβατότητα του εργαλείου με το router, οι πληροφορίες αυτές αφορούν την κατάσταση της ADSL σύνδεσης.



Εικόνα 54: Περιοχή πληροφοριών στο DMT για το router Siemens SL2-141

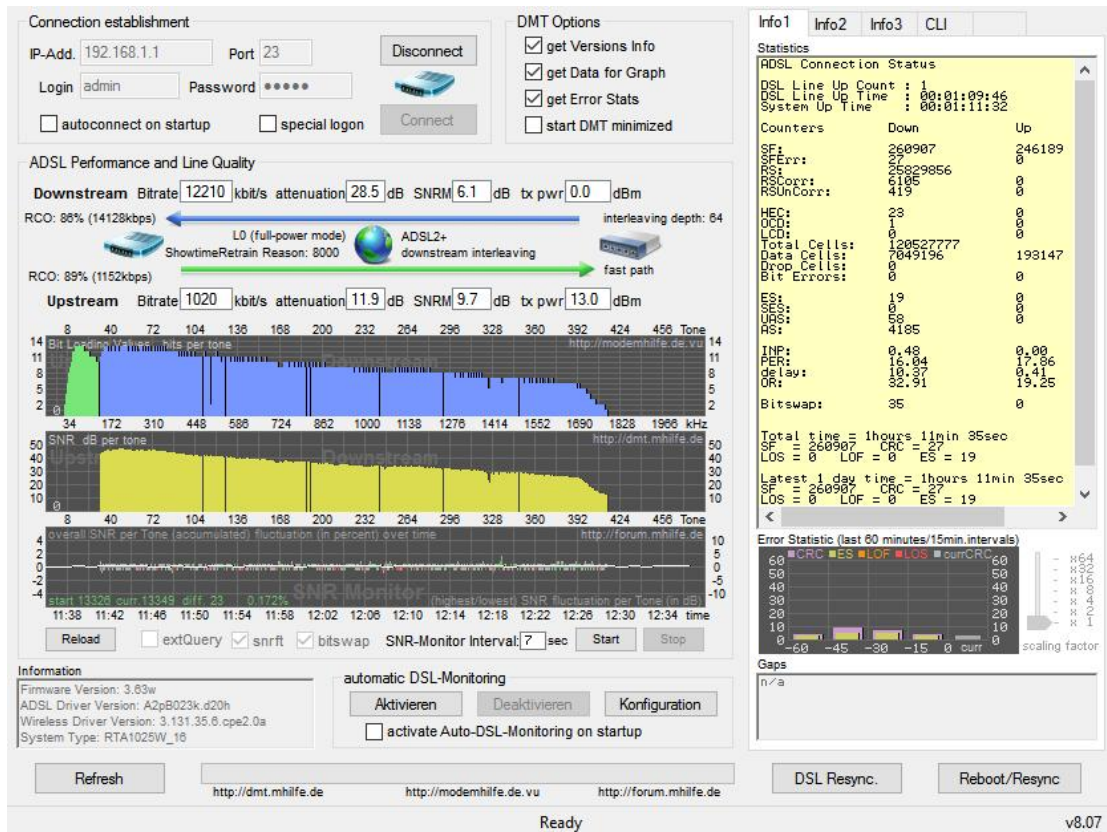
Για το router Siemens SL2-141 ήταν ενεργό και το tweaking menu στο πεδίο των πληροφοριών. Το μενού όπως απεικονίζεται στην επόμενη Εικόνα 55 δίνει τη δυνατότητα να αλλάξει η τιμή του SNR Margin και έτσι μπορεί να αυξομειωθεί η ταχύτητα του συγχρονισμού. Είναι, ίσως, σημαντικό να αναφερθεί ότι μια χαμηλή τιμή στο SNRM θα δώσει μεγαλύτερη ταχύτητα, όμως υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος αποσυγχρονισμού. Ενώ, μια υψηλότερη τιμή στο SNRM θα δώσει πιο χαμηλή ταχύτητα αλλά ο κίνδυνος αποσυγχρονισμού είναι μικρότερος.



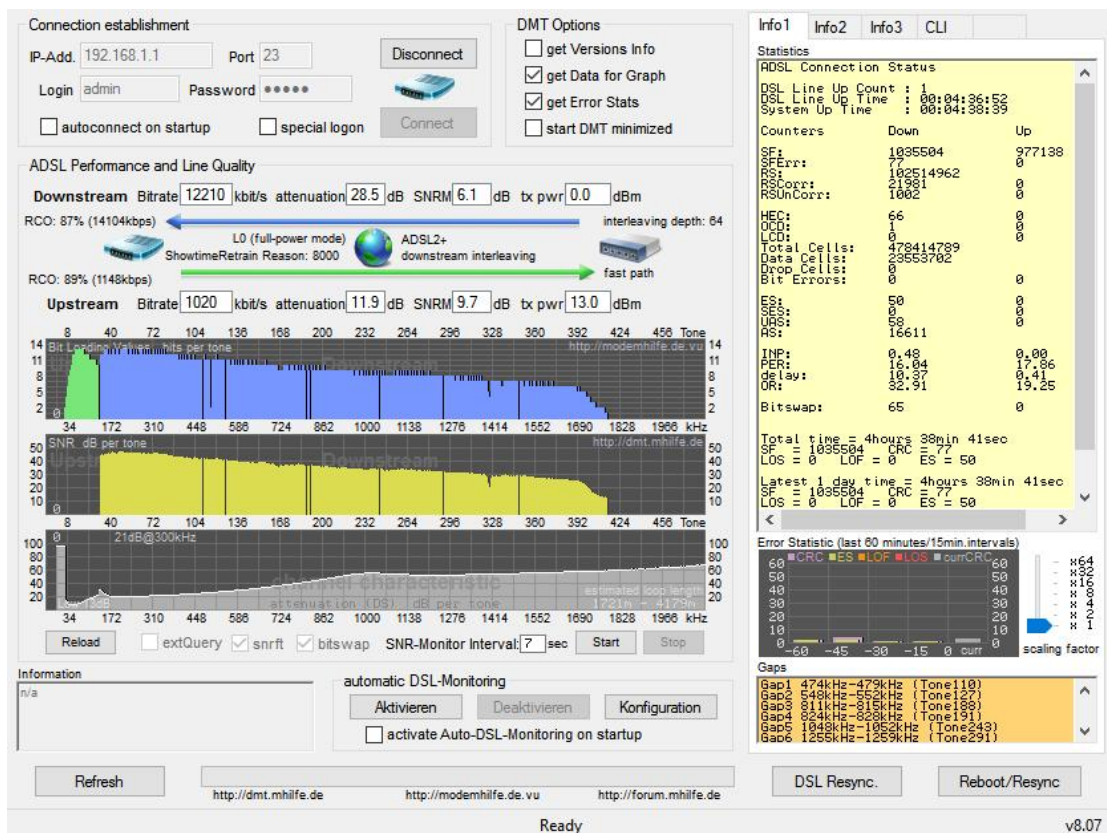


**Εικόνα 55: Το tweaking menu στο DMT**

Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν τα αποτελέσματα από την πρώτη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στη σύνδεση με το DMT, τα όποια έγιναν και εξαγωγή σε αρχείο excel και υπάρχουν σε μορφή πίνακα στο Παράρτημα Ι. Οι ακόλουθες δύο Εικόνα 56 και Εικόνα 57 αφορούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων από άλλες δύο χρονικές περιόδους.



Εικόνα 56: Στιγμιότυπο μετρήσεων για το router Siemens SL2-141 στο DMT (2η χρονική περίοδο)



Εικόνα 57: Στιγμιότυπο μετρήσεων για το router Siemens SL2-141 στο DMT (3η χρονική περίοδο)

## Συμπεράσματα

Η καθημερινότητα των σημερινών κοινωνιών αποδεικνύει ότι το Διαδίκτυο έχει γίνει πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής των ανθρώπων. Ως αποτέλεσμα, οι πάροχοι ISP προσπαθούν να παρέχουν ολοένα και πιο βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών μέσα από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες εκμεταλλευόμενοι ταυτόχρονα και τα πλεονεκτήματα των νέων τεχνολογιών που εμφανίζονται. Το ADSL, που ανήκει στην οικογένεια xDSL, είναι η πιο κοινή τεχνολογία στις μέρες μας και χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε κατοικία, εταιρεία και οργανισμό. Άλλες τεχνολογίες xDSL αποτελούν οι ADSL2, ADSL2 +, HDSL, SHDSL και VDSL. Τα τελευταία χρόνια, το ADSL2 + παρέχεται ευρέως από τους παρόχους ISP στους οικιακούς χρήστες και το SHDSL / VDSL παρέχεται κυρίως στους πελάτες των επιχειρήσεων.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε μια προσπάθεια παρουσίασης της εξέλιξης, της εφαρμογής και των τρόπων ελέγχου της απόδοσης του ADSL χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα monitoring. Η υλοποίηση του ADSL είναι κοινή για τους περισσότερους παρόχους ISP αλλά τα στοιχεία DSLAM και Backbone διαφέρουν από πάροχο σε πάροχο. Η σύγχρονη υλοποίηση του ADSL αποτελείται από τον εξοπλισμό που εγκαθίσταται στον συνδρομητή, το φυσικό δίκτυο που συνδέει τον συνδρομητή με τον πάροχο ISP και, τέλος, από τον εξοπλισμό και τις διεργασίες που πραγματοποιούνται στον πάροχο ISP (DSLAM, AAA, RADIUS, BRAS, DHCP).

Υπάρχουν πολλές υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται μέσω των γραμμών ADSL. Οι πιο συνηθισμένες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει ένας πάροχος ISP στους πελάτες του είναι οι υπηρεσίες Διαδικτύου, το VoIP, το MPLS VPN, το IPSec VPN και το IPTV. Το DSLAM μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές υπηρεσίες με τη διαμόρφωση διαφορετικών VLAN μέσω διαφορετικών VC. Με τον τρόπο αυτό, στην ίδια φυσική γραμμή μπορούν να παρέχονται ταυτόχρονα διαφορετικές υπηρεσίες. Η απόδοση όλων αυτών των υπηρεσιών επηρεάζεται από την ποιότητα των γραμμών. Ορισμένες εφαρμογές που χρειάζονται ποιότητα QoS και καλές επιδόσεις της φυσικής γραμμής είναι το Voice-over DSL (VoDSL), η φιλοξενία ιστοσελίδων (web hosting), η τηλεδιάσκεψη (videoconferencing), οι υπηρεσίες VPN, η απομακρυσμένη πρόσβαση δικτύων LAN, το διαδικτυακό gaming και οι υπηρεσίες peer-to-peer. Επιπλέον, ο πάροχος μπορεί να χρησιμοποιήσει την ποιότητα QoS προκειμένου να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες σε συγκεκριμένη κίνηση δικτύου.

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των γραμμών ADSL είναι το μήκος του βρόγχου, τα πηνία φόρτωσης, οι γεφυρώσεις bridge tap, το φαινόμενο crosstalk, οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, ο θόρυβος και η εξασθένηση. Η τεχνολογία ADSL παρουσιάζει ευαισθησία στην απόσταση, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του βρόγχου τόσο μικρότερες είναι οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που μπορούν να παραδοθούν και να υποστηριχθούν. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της μεγάλης αντίστασης που παρουσιάζει ο βρόγχος σε αυτή την περίπτωση, γεγονός που οδηγεί σε εξασθένηση του σήματος. Επιπλέον, η τεχνολογία ADSL είναι ασύμβατη με τη χρήση πηνίων φόρτωσης στις τηλεφωνικές γραμμές, επειδή τα πηνία αυτά δεν επιτρέπουν τη διέλευση του σήματος ADSL. Οι γεφυρώσεις bridge tap μπορούν να προκαλέσουν απώλεια σήματος λόγω της ασυνέχειας της σύνθετης αντίστασης που παρουσιάζουν και που προκαλείται στα σημεία που οι γραμμές συνδέονται με τους δισύρματους βρόγχους. Όλα αυτά τα σφάλματα οδηγούν σε λιγότερες δυνατότητες των γραμμών ADSL και επομένως σε μικρότερο εύρος ζώνης. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του εύρους ζώνης και των δυνατοτήτων ενός τοπικού βρόγχου.

Γνωμάτευση των σφαλμάτων γραμμής μπορεί να γίνει μέσω ηλεκτρονικών συσκευών, των αναλυτών, που αποτελούν χρήσιμα εργαλεία τα οποία μπορούν να μετρήσουν μια φυσική γραμμή ADSL και να παρέχουν πληροφορίες όπως εξασθένηση, περιθώριο θορύβου, χωρητικότητα, αντίσταση, τάση κλπ. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται από εξειδικευμένους τεχνικούς.

Γνωμάτευση σφαλμάτων μπορεί να γίνει και από τους ίδιους τους χρήστες μέσω προγραμμάτων monitoring. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας παρουσιάστηκε το πρόγραμμα DMT (DSL - Modem freeware Tool), ένα δωρεάν monitoring software το οποίο επιτρέπει στους χρήστες την άντληση πληροφοριών για τη σύνδεσή τους, μέσω αυτόματης συνεχούς παρακολούθησης και ανάλυσης της γραμμής, επιτρέποντας τη ρύθμιση του modem/router με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της σύνδεσης. Επίσης, παρουσιάστηκαν κάποιες από τις δυνατότητες του προγράμματος μέσα από τις οποίες αναδύθηκαν οι τρόποι ελέγχου της απόδοσης του ADSL.

Τα περισσότερα σφάλματα θα μπορούσαν να επιλυθούν από τους παρόχους ISP αναμορφώνοντας τις θύρες των DSLAM προκειμένου να παρέχουν αποτελεσματική εξυπηρέτηση. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, κόβοντας κάποιες συχνότητες που επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές ή από κρουστικό θόρυβο. Με τον τρόπο αυτό, η γραμμή γίνεται πιο σταθερή αλλά ταυτόχρονα το εύρος ζώνης μειώνεται.

Επιπλέον, οι πάροχοι ISP θα πρέπει να λαμβάνουν μετρήσεις προκειμένου να γνωρίζουν τις δυνατότητες κάθε γραμμής πριν την χρήση τους για παροχή υπηρεσιών. Με τον τρόπο αυτό, τα όποια προβλήματα (αν υπάρχουν) θα μπορούσαν να επιδιορθωθούν. Επιπλέον, εάν μια γραμμή έχει ένα σφάλμα που δεν μπορεί να επιδιορθωθεί, τότε θα πρέπει να αντικαθίσταται. Έτσι, οι συνδρομητές δεν θα συνδέονται μέσω γραμμών που δεν μπορούν να υποστηρίξουν τις απαιτούμενες υπηρεσίες.

Εάν οι πάροχοι ISP επιθυμούν να αποφύγουν εκ των προτέρων όποια προβλήματα υπάρχουν στις γραμμές μεταφοράς, θα πρέπει να λαμβάνουν τις μετρήσεις αυτές πριν τη χρήση τους και στη συνέχεια να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες. Επιπλέον, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της γραμμής (θόρυβος, εξασθένηση και μήκος βρόγχου) ορισμένες υπηρεσίες δεν μπορούν να παρασχεθούν. Εκτός αυτού, η ποιότητα κάποιων γραμμών τις καθιστά αδύνατες να υποστηρίξουν όλες τις υπηρεσίες. Για παράδειγμα, οι φωνητικές υπηρεσίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε σφάλματα γραμμών από ότι η απλή μεταφορά δεδομένων. Έτσι, δεν τίθεται θέμα αμφισβήτησης ότι με τη δοκιμή και τη λήψη μετρήσεων, οι πάροχοι ISP μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και αποδοτικότητα στις υπηρεσίες τους.

## Βιβλιογραφία

- [1] ASSIA (2010) “DSL Technology Tutorial” <http://www.assia-inc.com/knowledge-centerdsl-technology-tutorial/> [Πρόσβαση την 16 ΜΑΡ 2017]
- [2] Starr T. (2003) “DSL advances”, Prentice Hall Professional. ISBN: 978-0-130-93810-7
- [3] Tousi S. (2008) “The History of DSL”, Ezine articles <http://ezinearticles.com/?The-History-of-DSL&id=1550093> [Πρόσβαση την 20 ΜΑΡ 2017]
- [4] Sabatino P. (2000) “Digital Subscriber Lines and Cable Modems”, <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/rbb.pdf>
- [5] John M. Cioffi et al. (2008) “Digital subscriber line (DSL)”, Scholarpedia, 3(8):3995 <http://www.scholarpedia.org/article/DSL> [Πρόσβαση την 20 ΜΑΡ 2017]
- [6] Rauschmayer D. (1998) “ADSL/VDSL Principles: A Practical and Precise Study of Asymmetric Digital Subscriber Lines and Very High Speed Digital Subscriber Lines”, Alpel Publishing, ISBN:1578700159
- [7] CONTA (2001) “Τι είναι η τεχνολογία xDSL”, [http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies\\_diktywn/teaching\\_m/dsl/xDSL.htm](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/dsl/xDSL.htm) [Πρόσβαση την 16 ΜΑΡ 2017]
- [8] Maxwell K. (1996) “Asymmetric digital subscriber line: interim technology for the next forty years”, IEEE Communications Magazine, Volume: 34, Issue: 10, pp: 100–106
- [9] CCITT (2006) “50 Years of Excellence”, International Telecommunication Union [http://www.itu.int/ITU-T/50/docs/ITU-T\\_50.pdf](http://www.itu.int/ITU-T/50/docs/ITU-T_50.pdf)
- [10] Otung I. (2001) “Communication engineering principles”, Palgrave Macmillan, ISBN: 978-1-137-11102-9
- [11] Intel Corporation (2010) “Realizing the Benefits of Broadband”, White paper <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/world-ahead-broadband-paper.pdf>
- [12] Tedesco A., Di Lieto A., Di Lieto D., Angrisani L., De Falco M. & Campanile M. (2011) “Telemedicine & Broadband”, Advances in Telemedicine: Technologies, Enabling Factors and Scenarios, Chapter 11, INTECH Open Access Publisher, ISBN: 978-9-533-07159-6
- [13] TrueNet (2016) “March 2016 Urban Broadband Report” <https://truenet.nz/story/2016/04/march-2016-urban-broadband-report> [Πρόσβαση την 15 ΜΑΡ 2017]
- [14] Angrisani L. & Narduzzi C. (2008) “Testing communication and computer networks: An overview”, IEEE instrumentation & measurement magazine, Vol. 11, No. 5, pp:12–24
- [15] Sauter M. (2006) “Communication systems for the mobile information society”, John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-02676-2
- [16] CORNING (2005) “Broadband Technology Overview”, White paper <http://ddwei.info/pdf/Broadband/2.pdf>

- [17] Hin L. T. W. & Subramaniam R. (2009) “Extracting More Bandwidth Out of Twisted Pairs of Copper Wires”, Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, Second Edition, Vol. 3, pp: 552-559, IGI Global, ISBN: 978-1-605-66015-8
- [18] Χειλάς Κ. (2004) “Δίκτυα Η/Υ ΙΙ”, ΑΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ, ΣΤΕΦ, ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Διδακτικές Σημειώσεις, [http://anamorfosi.teicm.gr/ekp\\_yliko/e-notes/Data/nets2/main.htm](http://anamorfosi.teicm.gr/ekp_yliko/e-notes/Data/nets2/main.htm) [Πρόσβαση την 21 ΜΑΡ 2017]
- [19] Knagge G. (2000) “Digital Subscriber Loop: DSL and ADSL”, ELEC351 Assignment 111 [Πρόσβαση την 21 ΜΑΡ 2017]
- [20] Cisco Systems, Inc. “Digital Subscriber Line” [http://docwiki.cisco.com/wiki/Digital\\_Subscriber\\_Line](http://docwiki.cisco.com/wiki/Digital_Subscriber_Line) [Πρόσβαση την 22 ΜΑΡ 2017]
- [21] VeEx Inc “BX100A and BX100V series e-Manual” [http://veex\\_metro.eu.interiowo.pl/](http://veex_metro.eu.interiowo.pl/) [Πρόσβαση την 20 ΜΑΡ 2017]
- [22] Gillespie A. (2001) “Broadband access technology, interfaces, and management”, Artech House telecommunications library, ISBN: 978-0-890-06473-3
- [23] EnterTheWeb “ADSL Πληροφορίες - Ιστορία του ADSL” <http://www.entertheweb.gr/el/pages/adsl-history.php> [Πρόσβαση την 20 ΜΑΡ 2017]
- [24] Skiada K. (2011) “Performance Analysis of the ADSL Mechanisms”, Dissertation, Master of Science in Networking and Data Communications, Kingston University [http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1246/dcom\\_00170.pdf?sequence=1](http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1246/dcom_00170.pdf?sequence=1)
- [25] Aristotle University of Thessaloniki “Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων - DSL” <http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=dsl:dsl> [Πρόσβαση την 23 ΜΑΡ 2017]
- [26] Wikipedia “Asymmetric digital subscriber line” [https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric\\_digital\\_subscriber\\_line](https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_digital_subscriber_line) [Πρόσβαση την 23 ΜΑΡ 2017]
- [27] ITU (2004) “ITU and its Activities Related to Internet-Protocol (IP) Networks” <http://www.itu.int/osg/spu/ip/itu-and-activities-related-to-ip-networks-version-1.pdf>
- [28] Wikipedia “G.992.5” <https://en.wikipedia.org/wiki/G.992.5> [Πρόσβαση την 23 ΜΑΡ 2017]
- [29] Dobrowski G. H., Mukherjee S., Engstrom J., Lindecke S., Nicholson A. & Dropping B. (2002) “Symmetric DSL”, White Paper, DSL Forum [https://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/SHDSL\\_wp.pdf](https://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/SHDSL_wp.pdf)
- [30] Bao D., De Vito L. & Napolitano D. (2009) “DSL INTEROPERABILITY TESTING LABORATORY”, XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, Portugal [http://www.imeko2009.it.pt/Papers/FP\\_692.pdf](http://www.imeko2009.it.pt/Papers/FP_692.pdf)
- [31] Jacobs S. (2011) “Engineering Information Security: The application of systems engineering concepts to achieve information assurance” IEEE Press Series on Information and Communication Networks Security, Vol. 14, John Wiley & Sons, ISBN: 978-1-118-00901-7
- [32] Fist S. A. (2012) “The Informatics Handbook: A guide to multimedia communications and broadcasting”, Telecommunications Technology & Applications Series, Springer Science & Business Media, ISBN: 978-1-461-52093-1

- [33] Cook J. W., Kirkby R. H., Booth M. G., Foster K. T., Clarke D. E. & Young G. (1999) “The noise and crosstalk environment for ADSL and VDSL systems”, IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 5, pp: 73-78  
[http://netgroup.diet.uniroma1.it/netgroup/sites/default/files/Crosstalks\\_0.pdf](http://netgroup.diet.uniroma1.it/netgroup/sites/default/files/Crosstalks_0.pdf)
- [34] Sauer C., Gries M. & Sonntag S. (2005) “Modular reference implementation of an IP-DSLAM”, 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2005), pp: 191-198 [http://mgries.net/publications/dslam\\_bench\\_iscc05.pdf](http://mgries.net/publications/dslam_bench_iscc05.pdf)
- [35] Allied Telesis (2007) “DSL White Paper”  
[http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/DSL/dsl2++\\_wp.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/DSL/dsl2++_wp.pdf)
- [36] Agilent Technologies, Inc. (2006) “Understanding DSLAM and BRAS Access Devices”, White Paper <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-4766EN.pdf>
- [37] Santitoro R. (2003) “Metro Ethernet Services–A Technical Overview”, Metro Ethernet Forum, Vol. 2006 <http://ftp.unpad.ac.id/orari/library/library-ref-eng/ref-eng-2/physical/metro-ethernet/metro-ethernet-services.pdf>
- [38] Palmer M. (2012) “Hands-on networking fundamentals”, Cengage learning, ISBN: 978-1-285-40275-8
- [39] Jagdeep Singh Gill (2012) “Role of Digital Subscriber Line Access Multiplexer In Enabling the Communication over the Inter-Networks”, International Journal of Computers & Distributed Systems, Vol. 1, Issue 2, pp: 45-48  
<https://cirworld.com/index.php/ijcds/article/view/1061/1033>
- [40] Ellis M. & Perkins C. (2010) “Packet loss characteristics of IPTV-like traffic on residential links”, 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp: 1-5 <https://cisperkins.org/publications/2010/01/ccnc-2010-eivt.pdf>
- [41] Barkley S., Wolff B., Mitton D., Nelson D. & Stevens M. (2001) “Authentication, Authorization, and Accounting: Protocol Evaluation”, IETF, RFC 3127  
<https://www.ietf.org/rfc/rfc3127.txt> [Πρόσβαση την 31 ΜΑΡ 2017]
- [42] Papatheodoulou N. & Sklavos N. (2009) “Architecture & system design of Authentication, Authorization, & Accounting services”, IEEE EUROCON 2009 (EUROCON'09), pp: 1831-1837 <http://nikos.com.gr/pdf/Papatheodoulou01.pdf>
- [43] Van der Walt D. (2011) “FreeRADIUS Beginner's Guide”, Packt Publishing Ltd., ISBN: 978-1-849-51409-5
- [44] Cisco Systems, Inc (2014) “AAA Overview”, Cisco IOS Security Configuration Guide, Release 12.2  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_2/security/configuration/guide/fsecur\\_c.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/security/configuration/guide/fsecur_c.html) [Πρόσβαση την 31 ΜΑΡ 2017]
- [45] Jian F. & Tian-zhu N. (2016) “Design, Extension and Implementation of RADIUS Client”, International Journal of Future Generation Communication and Networking, Vol. 9, No. 5, pp: 181-188 [http://www.sersc.org/journals/IJFGCN/vol9\\_no5/18.pdf](http://www.sersc.org/journals/IJFGCN/vol9_no5/18.pdf)
- [46] Willens S., Rubens A. C., Rigney C. & Simpson W. A. (2000) “Remote authentication dial in user service (RADIUS)”, IETF, RFC 2865 <https://tools.ietf.org/html/rfc2865> [Πρόσβαση την 31 ΜΑΡ 2017]
- [47] Kulkarni P. & Patil S. (2012) “An Overview of Point to Point Protocol Architectures in Broadband Access Networks”, Proc. of the Second International Conference on Advances in Computing, Control and Communication (CCN), Universal Association

- of Computer and Electronics Engineers, pp: 6-10  
<http://www.seekdl.org/nm.php?id=260>
- [48] Bernstein M. & IPTV Solutions (2006) “Understanding PPPoE and DHCP”, Juniper Networks, <http://monsterdark.com/wp-content/uploads/PPPoE-vs-DHCP-Juniper-White-Paper.pdf>
- [49] Cisco Systems, Inc (2012) “DHCP Overview”  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipaddr\\_dhcp/configuration/12-4t/dhcp-12-4t-book/dhcp-overview.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipaddr_dhcp/configuration/12-4t/dhcp-12-4t-book/dhcp-overview.pdf)
- [50] THOMPSON (2008) “Triple-Play Using IPoE for Voice, PPPoE for Data and Bridged Video on a Single PVC”  
[http://support.alcadis.nl/files/get\\_file?file=Technicolor%252FGeneral%252FGeneral%2BGuides%252FApplication%2BNotes%252FAppNote\\_3play\\_sPVC.pdf](http://support.alcadis.nl/files/get_file?file=Technicolor%252FGeneral%252FGeneral%2BGuides%252FApplication%2BNotes%252FAppNote_3play_sPVC.pdf)
- [51] Turnbull J. & Garrett S. (2003) “Broadband applications and the digital home”, Telecommunications Series, No. 5, IET, ISBN: 978-0-852-96428-6
- [52] Tutorials Point “Internet Basics”  
[https://www.tutorialspoint.com/internet\\_technologies/index.htm](https://www.tutorialspoint.com/internet_technologies/index.htm) [Πρόσβαση την 3 ΑΙΠ 2017]
- [53] Goode B. (2002) “Voice over internet protocol (VoIP)”, Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 9, pp: 1495-1517  
[http://ant.comm.ccu.edu.tw/course/92\\_3G/1\\_Papers\\_C/Voice%20over%20Internet%20protocol%20\(VoIP\).pdf](http://ant.comm.ccu.edu.tw/course/92_3G/1_Papers_C/Voice%20over%20Internet%20protocol%20(VoIP).pdf)
- [54] Varshney U., Snow A., McGivern M. & Howard C. (2002) “Voice over IP”, Communications of the ACM, Vol. 45, No. 1, pp: 89-96  
<https://pdfs.semanticscholar.org/0110/436c4cf0f7ce5c410d8fd3553f07da74ebd1.pdf>
- [55] Papakotoulas A. (2014) “Voice over Internet Protocol”, Journal of Computations & Modelling, Vol. 4, No. 1, pp: 299-310  
[http://www.sciencpress.com/Upload/JCM/Vol%204\\_1\\_17.pdf](http://www.sciencpress.com/Upload/JCM/Vol%204_1_17.pdf)
- [56] Unuth N. (2017) “Circuit Switching vs. Packet Switching”, Lifewire  
<https://www.lifewire.com/circuit-switching-vs-packet-switching-3426726> [Πρόσβαση την 5 ΑΙΠ 2017]
- [57] Agbinya J. I. (2009) “IP Communications and Services for NGN”, CRC Press, ISBN: 978-1-420-07091-0
- [58] Ram A., DaSilva L. A. & Varadarajan S. (2004) “Admission control by implicit signaling in support of voice over IP over ADSL”, Computer Networks, Vol. 44, No. 6, pp: 757-772  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.580.5741&rep=rep1&type=pdf>
- [59] TechTarget, (2005) “channel”  
<https://searchdatacenter.techtarget.com/definition/channel> [Πρόσβαση την 28 ΣΕΠ 2018].
- [60] TechTarget, (2006) “in-band signaling”  
<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/in-band-signaling> [Πρόσβαση την 28 ΣΕΠ 2018].



- [61] TechTarget, (2006) “out-of-band signaling” <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/out-of-band-signaling> [Πρόσβαση την 28 ΣΕΠ 2018].
- [62] Baset S. A. & Schulzrinne H. (2004) “An analysis of the skype peer-to-peer internet telephony protocol”, arXiv preprint cs/0412017 [http://www1.cs.columbia.edu/~salman/publications/skype1\\_4.pdf](http://www1.cs.columbia.edu/~salman/publications/skype1_4.pdf)
- [63] De Ghein L. (2016) “MPLS fundamentals”, Cisco Press, ISBN: 978-0-134-57526-1
- [64] DrayTek (2015) “Introduction to VPN Overview” <http://www.draytek.co.uk/information/our-technology/vpn-overview> [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [65] Cisco Systems, Inc (2010) “Chapter: Getting Started with MPLS VPN”, Cisco IP Solution Center - MPLS VPN User Guide, 6.0 [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net\\_mgmt/ip\\_solution\\_center/6-0/mpls\\_vpn/user/guide/mpls60book.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net_mgmt/ip_solution_center/6-0/mpls_vpn/user/guide/mpls60book.html) [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [66] Cisco Systems, Inc (2002) “MPLS Quality of Service (QoS)”, Cisco IOS Release 12.0(22)S [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_0s/feature/guide/fs22cos.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/fs22cos.pdf)
- [67] TechTarget, (2005) “signaling” <https://whatis.techtarget.com/definition/signaling> [Πρόσβαση την 28 ΣΕΠ 2018].
- [68] TechTarget, (2018) “network service provider (NSP)” <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/network-service-provider> [Πρόσβαση την 28 ΣΕΠ 2018].
- [69] Cisco Systems, Inc (2014) “IP Security and Encryption Overview”, Cisco IOS Security Configuration Guide, Release 12.2 [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_2/security/configuration/guide/fsecur\\_c/sfencov.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/security/configuration/guide/fsecur_c/sfencov.html) [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [70] Kent S. (2005) “IP authentication header”, Network Working Group, RFC 4302 <https://tools.ietf.org/html/rfc4302> [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [71] Kent S. (2005) “IP encapsulating security payload (ESP)”, Network Working Group, RFC 4303 <https://tools.ietf.org/html/rfc4303> [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [72] Carrel D. & Harkins D. (1998) “The internet key exchange (IKE)”, Network Working Group, RFC 2409 <https://tools.ietf.org/html/rfc2409> [Πρόσβαση την 7 ΑΠΠ 2017]
- [73] Shue C., Shin Y., Gupta M. & Choi J. Y. (2005) “Analysis of IPSec overheads for VPN servers” 1st IEEE ICNP Workshop on Secure Network Protocols (NPsec), pp: 25-30 <http://web.cs.wpi.edu/~cshue/research/npsec05.pdf>
- [74] Begen A. C. (2008) “Error control for IPTV over xDSL networks”, 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008), pp: 632-637 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.3150&rep=rep1&type=pdf>
- [75] Woodford C. (2017) “IPTV”, ExplainThatStuff <http://www.explainthatstuff.com/how-iptv-works.html> [Πρόσβαση την 8 ΑΠΠ 2017]
- [76] Simpson W. & Greenfield H. (2012) “IPTV and Internet Video: Expanding the reach of television broadcasting”, CRC Press, ISBN: 978-0-240-80954-0

- [77] Tanenbaum, A. (2008) «Δίκτυα Υπολογιστών», 4<sup>η</sup> Αμερικάνικη έκδοση, Κλειδάριθμος.
- [78] Anwar T. & Yong T. S. (2008) “Performance Analysis of ADSL”, Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia, Vol. 10, pp: 32-42  
[https://www.researchgate.net/profile/Toni\\_Anwar/publication/26521935\\_Performance\\_Analysis\\_of\\_ADSL/links/00b4952e58f0093ae1000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Toni_Anwar/publication/26521935_Performance_Analysis_of_ADSL/links/00b4952e58f0093ae1000000.pdf)
- [79] Telstra Corporation ltd. (2013) “Cabling of premises for telecommunications - A complete guide to home cabling”, Access Technology Planning  
<https://www.telstra.com.au/content/dam/tcom/personal/help/pdf-b/017153a00-complete-home-cabling-guide.pdf>
- [80] Wikipedia “ADSL loop extender” [https://en.wikipedia.org/wiki/ADSL\\_loop\\_extender](https://en.wikipedia.org/wiki/ADSL_loop_extender) [Πρόσβαση την 10 ΑΠΠ 2017]
- [81] Dohrenburg Systems' Web Development Team (2014) “Loading Coils”, ADSL / VDSL Monitor <http://adslm.dohrenburg.net/troubleshoot/loadcoils.php> [Πρόσβαση την 10 ΑΠΠ 2017]
- [82] Wahl J. (2009) “DSL Troubleshooting: Intermittent Faults”, Presentation, Aware, Inc  
<https://www.slideshare.net/RockyS11/ppt-4151138> [Πρόσβαση την 11 ΑΠΠ 2017]
- [83] Actelis Networks Inc. (2017) “Crosstalk”, Copper Broadband Technologies  
<http://actelis.com/technology-2/copper-broadband-technologies/cross-talk/#> [Πρόσβαση την 11 ΑΠΠ 2017]
- [84] Zen Internet Limited (2017) “Broadband: Understanding REIN and SHINE”  
<https://support.zen.co.uk/kb/knowledgebase/broadband-understanding-rein-and-shine> [Πρόσβαση την 11 ΑΠΠ 2017]
- [85] Karafilis L. (2010) “SNR margin, line attenuation, ADSL and a slow internet speed”, Giant Stride <https://www.giantstride.gr/el/snr-margin-adsl/> [Πρόσβαση την 14 ΑΠΠ 2017]
- [86] dmt.mhilfe.de “DMT (DSL-Modem Tool)” <http://dmt.mhilfe.de/> [Πρόσβαση την 17 ΑΠΠ 2017]
- [87] CHIP “DMT (DSL modem tool) Version 9.01” [http://www.chip.de/downloads/DMT-DSL-Modem-Tool\\_33686827.html](http://www.chip.de/downloads/DMT-DSL-Modem-Tool_33686827.html) [Πρόσβαση την 17 ΑΠΠ 2017]
- [88] Kitz.co.uk “Using the DMT Tool v8” <http://www.kitz.co.uk/routers/DMTv8.htm> [Πρόσβαση την 17 ΑΠΠ 2017]
- [89] Kitz.co.uk “Using DMT Tool v7 with Speedtouch routers”  
<http://www.kitz.co.uk/routers/DMTv7.htm> [Πρόσβαση την 17 ΑΠΠ 2017]
- [90] TechTarget, “private branch exchange (PBX)”,  
<https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/private-branch-exchange> [Πρόσβαση την 27 ΣΕΠ 2018].
- [91] Myrealskills (2013) “Συγχρονισμός δρομολογητή”, blogspot  
[http://myrealskills.blogspot.gr/2013/01/blog-post\\_17.html](http://myrealskills.blogspot.gr/2013/01/blog-post_17.html) [Πρόσβαση την 19 ΑΠΠ 2017]
- [92] Think Broadband forums “ST516v6 SNR Margin Tweaking 101”  
[http://www.chrysalisnet.org/dmt230606\\_0036.png](http://www.chrysalisnet.org/dmt230606_0036.png) [Πρόσβαση την 20 ΑΠΠ 2017]

- [93] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (2006), “ADSLProtocol Basics”, [https://technodocbox.com/Computer\\_Networking/69093059-Jun-adsl-protocol-basics-issue1-0-huawei-technologies-co-ltd-huawei-technologies-co-ltd-for-internal-use-only-page-0.html](https://technodocbox.com/Computer_Networking/69093059-Jun-adsl-protocol-basics-issue1-0-huawei-technologies-co-ltd-huawei-technologies-co-ltd-for-internal-use-only-page-0.html) [Πρόσβαση την 27 ΣΕΠ 2018].
- [94] tebochka, “Σύνδεση Adslink. Σύνδεση DSL”, <https://tebochka.ru/el/adslink-connection-dsl-connection.html> [Πρόσβαση την 27 ΣΕΠ 2018].

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

DMT Diagnosis File Format v1.00 creation date: 11. February 2018 - 14:01:41 (DMTv8.07)									
SystemTime	Time	USrate	DSrate	USatt	DSatt	USsnr	DSsnr	rxLOS	rxUAS
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	59
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	60
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	61
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	62
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	63
1518357707	14:01:47	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	64
1518358546	14:15:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518358666	14:17:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518358785	14:19:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518358905	14:21:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518359026	14:23:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518359146	14:25:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518359266	14:27:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518359385	14:29:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518359505	14:31:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518359627	14:33:47	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518359746	14:35:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518359866	14:37:46	1020	12210	11.9	28.5	9.8	6.1	0	58
1518359984	14:39:44	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518360107	14:41:47	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360225	14:43:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360346	14:45:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360465	14:47:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518360586	14:49:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360705	14:51:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360825	14:53:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518360945	14:55:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361065	14:57:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361184	14:59:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361304	15:01:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361426	15:03:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361546	15:05:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518361664	15:07:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518361784	15:09:44	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518361904	15:11:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518362024	15:13:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518362144	15:15:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518362265	15:17:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518362385	15:19:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518362504	15:21:44	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58

1518362625	15:23:45	1020	12210	11.9	28.5	9.5	6.1	0	58
1518362745	15:25:45	1020	12210	11.9	28.5	9.5	6.1	0	58
1518362865	15:27:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518362986	15:29:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518363106	15:31:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518363225	15:33:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518363345	15:35:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518363466	15:37:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518363585	15:39:45	1020	12210	11.9	28.5	9.8	6.1	0	58
1518363705	15:41:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518363826	15:43:46	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518363946	15:45:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364066	15:47:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364185	15:49:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364305	15:51:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364426	15:53:46	1020	12210	11.9	28.5	9.8	6.1	0	58
1518364546	15:55:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364665	15:57:45	1020	12210	11.9	28.5	9.6	6.1	0	58
1518364786	15:59:46	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518364905	16:01:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58
1518365025	16:03:45	1020	12210	11.9	28.5	9.7	6.1	0	58