



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

Οικονομοτεχνική μελέτη και ανάλυση επιχειρηματικών μοντέλων οπτικών δικτύων πρόσβασης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΧΡΗΣΤΟΥ Π. ΚΑΣΤΑΝΟΥ

Επιβλέπων: Αντρέας Τσαρούχας

Σπάρτη, Νοέμβριος 2015



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πελοποννήσου
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

Οικονομοτεχνική μελέτη και ανάλυση επιχειρηματικών μοντέλων οπτικών δικτύων πρόσβασης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΧΡΗΣΤΟΥ Π. ΚΑΣΤΑΝΟΥ

Επιβλέπων: Αντρέας Τσαρούχας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Σπάρτη, Νοέμβριος 2015



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πελοποννήσου
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα - Μήνας - Έτος):

.....

Περίληψη

Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν ίσως το σημαντικότερο παράγοντα ανάπτυξης της σύγχρονης οικονομίας. Οι συνεχείς και ταχύτατες αλλαγές που συντελούνται στο χώρο, όπως η εξάπλωση της ευρυζωνικότητας, ο αμετάκλητος συνδυασμός επικοινωνίας και πληροφορικής, καθώς και η ύπαρξη πολλαπλών τεχνολογικών απαιτήσεων δημιουργούν ένα ρευστό περιβάλλον μέσα στο οποίο οι πάροχοι υπηρεσιών καλούνται να χαράξουν τη στρατηγική τους. Επίσης, είναι φανερό ότι ειδικά οι οικιακές ευρυζωνικές συνδέσεις, λόγω των νέων δυνατοτήτων που παρέχουν, θα αποτελέσουν τον καταλύτη για ακόμη μεγαλύτερη οικονομική ανάπτυξη.

Μέχρι πρόσφατα η τηλεπικοινωνιακή πρόσβαση μέσω του προϋπάρχοντος δικτύου χαλκού, με τη χρήση των xDSL τεχνολογιών, αποτελούσε σχεδόν επιχειρηματικό μονόδρομο. Όμως, το δημόσιο χάλκινο δίκτυο αδυνατεί να καλύψει τις μελλοντικές ευρυζωνικές ανάγκες. Παρά τις όποιες τεχνικές και κυρίως οικονομικές δυσκολίες, η κατασκευή σύγχρονων οπτικών δικτύων FTTx έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ως το μεγαλύτερο τεχνολογικό άλμα για μια χώρα μετά τον εξηλεκτισμό της.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η οικονομοτεχνική ανάλυση διαφόρων μοντέλων μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί η διείσδυση των οπτικών ινών και η αναβάθμιση των υποδομών, αλλά και η βαθύτερη κατανόηση των στρατηγικών και των επικρατέστερων αρχιτεκτονικών που ακολουθούνται από εταιρίες και παρόχους με σκοπό την επίτευξη των στόχων και την εισροή μεγαλύτερων εσόδων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις κατευθύνσεις και τις τάσεις των τηλεπικοινωνιακών δικτύων παγκοσμίως αλλά και ειδικότερα στην Ελλάδα. Παρουσιάζεται η ευρυζωνικότητα ως ορισμός και οι επιμέρους τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα οφέλη που αποκομίζει μια σύγχρονη κοινωνία σε διάφορους τομείς της ζωής από τη χρήση των τηλεπικοινωνιών, καθώς και στρατηγικές των καινοτόμων κρατών για την επίτευξή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ειδικότερα η αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών, η σημασία τους αλλά και ο τρόπος που διαρθρώνεται ένα οπτικό σύστημα από πομπούς, ενισχυτές και δέκτες. Επίσης, γίνεται ανάλυση των τεχνικών διάδοσης πληροφορίας μέσω πολυπλεξίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι διάφορες αρχιτεκτονικές δικτύων FTTx που υπάρχουν. Γίνεται διαχωρισμός με βάση τη διεξόδωση των οπτικών ινών στο δίκτυο, τη τοπολογία τους (Point to Point, Point to Multipoint) και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (Ενεργό ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο). Επίσης, αναφέρονται εκτενέστερα τα τμήματα διάρθρωσης ενός δικτύου από το κεντρικό γραφείο μέχρι τον τελικό συνδρομητή, αλλά και τα επιμέρους στοιχεία ενός κεντρικού γραφείου (C.O.).

Στο τέταρτο κεφάλαιο απεικονίζονται ενδελεχώς οι σύγχρονες απαιτήσεις από ένα δίκτυο οπτικών ινών όπως εξελίσσονται και οι ανάγκες των συνδρομητών τα τελευταία χρόνια. Επιπρόσθετα, αναλύονται τα διάφορα μοντέλα συμπεριφοράς των υποψηφίων πελατών σε σχέση με την αποδοχή των νέων τεχνολογιών και παρουσιάζονται στοιχεία επικεντρωμένα στην τωρινή κατάσταση της αγοράς στην Ελλάδα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η οικονομοτεχνική ανάλυση των τριών βασικών επιλογών οπτικών δικτύων που αποτελούν και τις επικρατέστερες επιλογές τόσο στην Ελλάδα, όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Αναλύονται διεξοδικά τα κόστη υλοποίησης και τα μεταβλητά κόστη σε βάθος χρόνων, ενώ μελετάται η επιχειρηματική συμπεριφορά της εκάστοτε λύσης όσο αναφορά τη βιωσιμότητα της. Τέλος, γίνεται σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων με σκοπό τη κατανόηση της κλίσης της αγοράς, των υποψήφιων συνδρομητών αλλά και της επιλογής των παρόχων.

Λέξεις Κλειδιά

Οπτικές ίνες, οικονομοτεχνική μελέτη, FTTX, οπτικά δίκτυα, επιχειρηματικά μοντέλα.

Abstract

Telecommunications are among the most important factors considering the constant development of contemporary economic systems. Rapid changes, like broadband services expanding rate, the combination of information exchanges and multiple technological demands require a solid market environment, which can be used by providers to craft their strategies.

Until recent years, internet and other wired telecommunication access capabilities were based upon the existence of copper oriented networks and the sole use of xDSL technologies. Unfortunately, in the near future copper landlines will be unable to sustain all broadband demands. In order to content the growing expectations and at the same time override various technical obstacles, it is mostly required to focus on FTTx optical networks, which are consider by many the biggest concrete step to a 21th century information system.

The purpose of this study is the economic and technical analysis of several practical models referring to optical networks, their installation to populated areas including any upgrade of already existing infrastructure. Furthermore, it is important to achieve a deeper understanding of corporations, telecommunication providers with respect to available and future customers.

Keywords

Optical fibers, economic and technical analysis, FTTX, optical networks, several practical models

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Αντρέα Τσαρούχα για την επίβλεψη και την βοήθεια που μου προσέφερε στην διαδικασία εκπόνησης της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη την φοιτητική μου πορεία.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Περίληψη.....	7
Κεφάλαιο 1^ο: Αναγκαιότητα και Στρατηγικές Ευρυζωνικότητας	19
Εισαγωγή.....	19
1.1 Ορισμός Ευρυζωνικότητας.....	22
1.2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες.....	24
1.3 Ανάγκη για ευρυζωνικότητα.....	26
1.3.1 Τεχνολογικά πλεονεκτήματα ευρυζωνικότητας.....	28
1.3.2 Οικονομικά Οφέλη.....	28
1.3.3 Κοινωνικά Οφέλη.....	31
1.3.4 Επίδραση στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα.....	32
1.4 Στρατηγικές για εξάπλωση της ευρυζωνικότητας.....	34
1.4.1 Το παράδειγμα των Η.Π.Α.....	35
1.4.2 Το παράδειγμα του Καναδά.....	36
1.4.3 Το παράδειγμα της Κορέας και της Ιαπωνίας.....	37
1.5 Ευρυζωνικότητα και οικονομική κρίση.....	38
Κεφάλαιο 2^ο: Οπτικές Ίνες	40
Εισαγωγή.....	40
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	41
2.2 Οπτικές Τεχνολογίες.....	42
2.2.1 Οπτικοί Πομποί.....	44
2.2.2 Οπτικοί ενισχυτές.....	45
2.2.3 Οπτικοί Δέκτες.....	46

2.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά οπτικών ινών.....	47
2.3 Ισολογισμός ισχύος και Τεχνικές Πολυπλεξίας.....	50
Κεφάλαιο 3^ο: Ανάλυση Δικτύων FTTX	52
Εισαγωγή.....	52
3.1 Κατηγορίες δικτύων FTTx.....	54
3.2 Αρχιτεκτονικές και τοπολογίες FTTx δικτύων.....	56
3.2.1 Home Run – P2P Δίκτυα.....	57
3.2.2 Active Star – AON Δίκτυα.....	58
3.2.3 Passive Star – PON – P2M Δίκτυα.....	60
3.2.4 Παραλλαγές PON Δικτύων.....	61
3.2.4.1 GPON και NG-PON.....	63
3.2.4.2 EPON και 10G-EPON.....	65
3.2.4.3 WDM-PON.....	66
3.2.5 FTTC / FTTB με χρήση τεχνολογίας VDSL.....	67
3.3 Βασικές δομές ενός δικτύου FTTH.....	70
Κεφάλαιο 4^ο: Πρόβλεψη Αγοράς και Σύγχρονες υπηρεσίες	78
Εισαγωγή.....	78
4.1 Ευρυζωνικές Υπηρεσίες Περιεχομένου.....	79
4.2 Ανάγκες ευρυζωνικών υπηρεσιών.....	83
4.3 Πρόβλεψη ζήτησης ευρυζωνικών συνδέσεων.....	84
4.3.1 Μοντέλο αποδοχής Fisher-Pry.....	85
4.3.2 Μοντέλο αποδοχής Gompertz.....	86
4.3.3 Μοντέλο αποδοχής Bass.....	87
4.3.4 Εκτίμηση παραμέτρων αποδοχής.....	88
4.3.5 Καμπύλη αποδοχής ευρυζωνικών συνδέσεων.....	88
4.3.6 Καμπύλη αποδοχής τεχνολογίας FTTx στην Ελλάδα.....	90
4.4 Εκτίμηση εσόδων ευρυζωνικών συνδέσεων FTTx.....	92

Κεφάλαιο 5^ο: Οικονομοτεχνική ανάλυση λύσεων FTTx	93
Εισαγωγή.....	93
5.1 Βασικοί συντελεστές κόστους.....	95
5.1.1 Κόστος CAPEX.....	96
5.1.2 Κόστος OPEX.....	98
5.2 Υπολογισμός κατασκευαστικού κόστους.....	100
5.2.1 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTH – Homerun.....	101
5.2.1.1 Κόστος Central Office FTTH – homerun.....	102
5.2.1.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTH – homerun.....	103
5.2.1.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη	111
5.2.2 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTH GPON.....	111
5.2.2.1 Κόστος Central Office FTTH GPON.....	112
5.2.2.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTH GPON	113
5.2.2.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη	116
5.2.3 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTC VDSL.....	117
5.2.3.1 Κόστος Central Office FTTC VDSL.....	117
5.2.3.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTC VDSL	118
5.2.3.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη	120
5.2.4 Σύγκριση κατασκευαστικού κόστους λύσεων FTTx.....	120
5.3 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους.....	122
5.4 Κριτήρια Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων.....	123
5.4.1 Ταμειακές Ροές.....	123
5.4.2 Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές.....	123
5.4.3 Καθαρή παρούσα αξία.....	124
5.4.4 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης.....	125
5.4.5 Περίοδος αποπληρωμής.....	125

5.4.6 Ανταποδοτικότητα της επένδυσης.....	126
5.5 Οικονομική αξιολόγηση λύσεων FTTx.....	126
5.5.1 Οικονομική αξιολόγηση FTTH – homerun.....	127
5.5.2 Οικονομική αξιολόγηση FTTH – GPON.....	128
5.5.3 Οικονομική αξιολόγηση FTTC VDSL.....	130
5.6 Συμπεράσματα σύγκρισης.....	131
Βιβλιογραφία	134
Παράρτημα	137

Κεφάλαιο 1^ο

Αναγκαιότητα και Στρατηγικές Ευρυζωνικότητας

Εισαγωγή

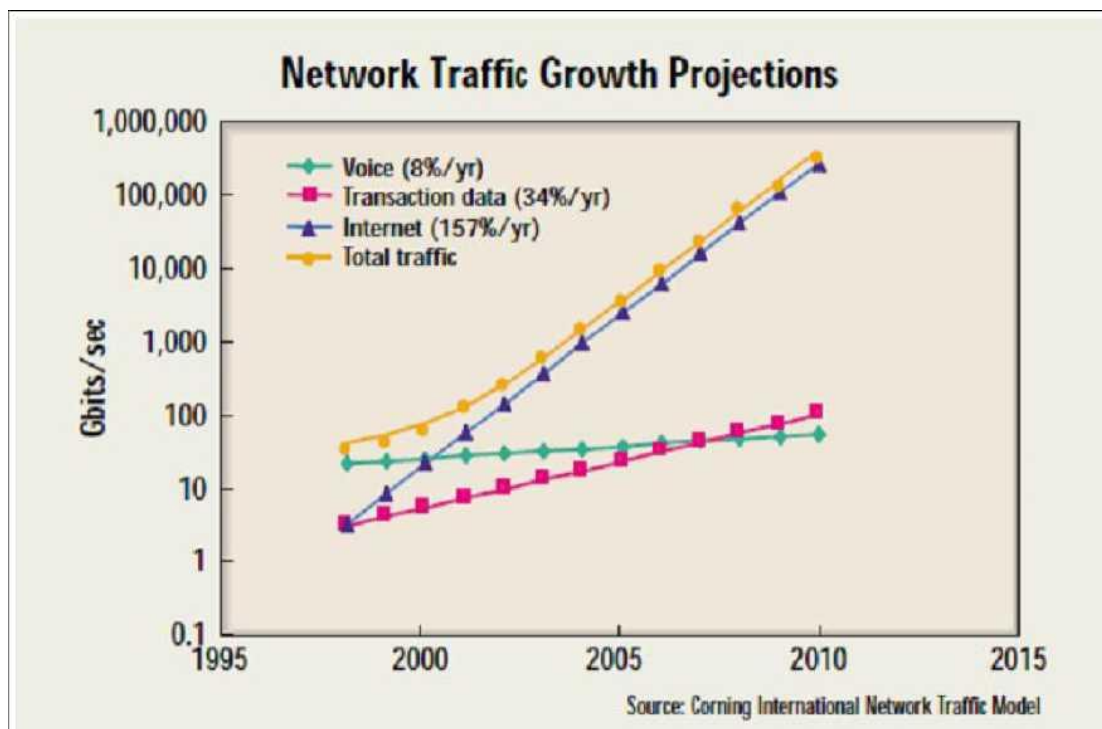
Αναλογιζόμενοι τη σύγχρονη κατάσταση της παγκόσμιας κοινότητας, το θέμα της ευρυζωνικότητας αποτελεί τη απάντηση σε πολλά θέματα αλλά και προβλήματα που ,όπως φαίνεται από τη πορεία των πραγμάτων, βρίσκονται είτε σε αδιέξοδο, είτε χρειάζονται άμεσα νέους δρόμους και κατευθύνσεις ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του ανθρώπου. Με βάση και στήριγμα το παρόν , αλλά με γνώμονα το μέλλον διαφαίνεται ότι ολόκληρος ο πλανήτης έχει το βλέμμα του στραμμένο πάνω στις τρέχουσες εξελίξεις και ευελπιστεί να φανούν άμεσα τα αποτελέσματα της χρησιμοποίησής των νέων τεχνολογιών σε πολλούς τομείς σχετικούς με την ανθρώπινη δραστηριότητα ,όπως παραδείγματος χάρη την οικονομία και τις διαπροσωπικές σχέσεις.

Πράγματι, η υπάρχουσα κατεύθυνση σε παγκόσμιο επίπεδο δείχνει ότι υπάρχει στροφή σε ότι έχει να κάνει με τις συνήθειες του συγχρόνου ανθρώπου και αυτό μάλιστα γίνεται εύκολα αντιληπτό εάν παρατηρηθούν σημαντικά στοιχεία, όπως η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης εύρους ζώνης από οικιακούς και επαγγελματικούς χρήστες.

Η προσθήκη περιεχομένου και η αύξηση της απαίτησης εύρους ζώνης από τις επιμέρους εφαρμογές έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αυτή αύξηση σε κίνηση IP στο διαδίκτυο. Ενδεικτικά αναφέρουμε την πολλαπλή ταυτόχρονη θέαση βίντεο υψηλής ανάλυσης για τη σημερινή εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία Ultra High Definition Video (UHD Video) ανάλυσης 7680X4320 pixels, δηλαδή ~33,2 Megapixels, άρα και 16 φορές μεγαλύτερη της ανάλυσης του σημερινού HD video.

Η συνεχόμενη αύξηση του εύρους ζώνης δεν αποτελεί αντικείμενο και ανάγκη μόνο συγκεκριμένων εφαρμογών και των απαιτήσεών τους, αλλά του συνόλου των απαιτήσεων του ανθρώπου που συνεχώς αναζητεί καλύτερες και πιο ευέλικτες λύσεις για τις καθημερινές ασχολίες σε όλα τα επίπεδα και είτε ως μονάδα, είτε ως εταιρία, είτε ως οργανισμός. Αρκετές μελέτες καταδεικνύουν την πορεία της ευρυζωνικότητας τα τελευταία χρόνια και την

αλματώδη αύξηση της ζήτησης. Το παρακάτω διάγραμμα είναι ενδεικτικό αυτού του γεγονότος.[1]



(σχ.1.1) Παγκόσμια ζήτηση διαδικτυακής κίνησης

Μέσα σε λίγα μόλις χρόνια (λιγότερα από 20) η τεχνολογία εξελίχθηκε από τις dial-up των μερικών δεκάδων kilobits per second (Kbps) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 σε δεκάδες Megabits per second (Mbps) του aDSL2+ και έχει ήδη φτάσει στα μερικά Gigabits per second (Gbps) του FTTH με την προοπτική να φτάσει ακόμα υψηλότερα. Η εν λόγω πρόοδος παρουσιάζεται και στο πίνακα που ακολουθεί.

Τεχνολογία	Μέγιστο Αρχικό Downstream Bitrate	Έτος
Dial-up	14,4 kbps	1991
Dial-up	28,8 kbps	1994
Dial-up	33,6 kbps	1996
Dial-up	56 kbps	1998
aDSL1	8 Mbps	1999
aDSL2	12 Mbps	2002
aDSL2+	24 Mbps	2003
VDSL2	100 Mbps	2006

FTTH (BPON)	622 Mbps	2005
FTTH (GPON)	2.488 Mbps	2008

(σχ. 1.2) Μέγιστο αρχικό Downstream bitrate ανά τεχνολογία.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι μέσα σε μόλις 17 χρόνια επιτεύχθηκε μια βελτίωση του downstream bitrate κατά ~173.000 φορές, μια αύξηση σαφώς εκθετική μιας και κατά μέσο όρο υπερδιπλασιάζεται ανά 12 μήνες, ακολουθώντας ένα ιδιότυπο «ευρυζωνικό νόμο του Moore» που αποκαλείται «Νόμος του Nielsen» και ο οποίος προβλέπει ότι η παρεχόμενη ταχύτητα στους high-end χρήστες της αγοράς διπλασιάζεται κάθε 21 μήνες (από την ιστορική πορεία των τελευταίων 2 δεκαετιών συμπεραίνουμε ότι ο νόμος του Nielsen είναι μάλλον απαισιόδοξος). Ακόμη και αν η πρόοδος αυτή σχετικά επιβραδυνθεί, μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι η ζήτηση για διαρκώς αυξανόμενου bitrate θα συνεχίσει να υπάρχει. Το πεπαλαιωμένο δημόσιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο χαλκού (last mile) σίγουρα δεν μπορεί να αντέξει αυτή την τάση μιας και η καλύτερη επίδοσή του στο downstream κομμάτι περιορίζεται στα 24 Mbps. Αντίθετα, η χρήση της οπτικής ίνας μέχρι το χρήστη εξασφαλίζει το πολλαπλάσιο bitrate, το οποίο έχει ήδη φτάσει τα μερικά Gbps με την προοπτική σαφούς αύξησης.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι:

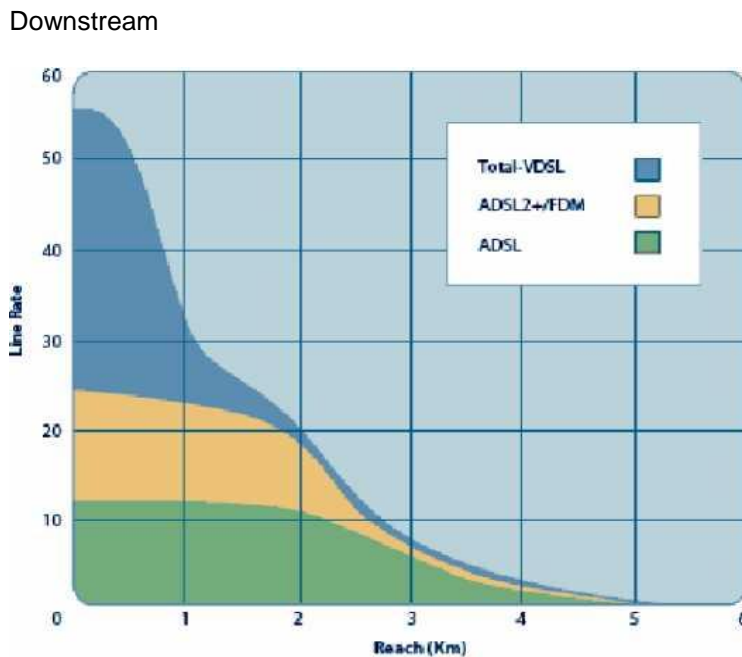
A) Οπτικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια στα δίκτυα κορμού των εμπορικών παρόχων με τις ταχύτητές τους να φτάνουν αρκετά συχνά τα ~10Gbps(STM-64) και παραπάνω.

B) Η μέγιστη ταχύτητα που έχει επιτευχθεί (εργαστηριακά) μέχρι στιγμής μέσω μια οπτικής ίνας είναι ~109Tbps (109.000 μεγαλύτερο από το 1Gbps το οποίο αποτελεί μία τυπική ταχύτητα στο σημερινό εμπορικό FTTH). Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το σύνολο της μέσης παγκόσμιας κίνησης IP στο Internet για το 2012, που σύμφωνα με την έκθεση της Cisco Systems Inc του Μαΐου 2012, κινήθηκε στα ~72,97Tbps, όπως και του 2013 που εμφανίζεται να κυμαίνεται στα ~100,4Tbps. Το 2011 εκτιμάται ότι διαμορφώθηκε στα ~50,36Tbps.

Γ) Η θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί να επιτευχθεί μέσω μίας και μόνο οπτικής ίνας είναι πολύ μεγαλύτερο. Εκτιμάται ότι πρακτικά μπορούμε σχετικά σύντομα (την επόμενη δεκαετία) να φτάσουμε σχεδόν στα 4Pbps.

Αυτά και μόνο τα στοιχεία μας αρκούν για να μας πείσουν ότι η χρήση οπτικών ινών είναι μονόδρομος για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις του μέλλοντος. Αν μάλιστα δούμε και την εφαρμογή της κάθε υποψήφιας τεχνολογίας, θα πειστούμε ακόμη περισσότερο ότι η επιλογή δεν μπορεί παρά η τεχνολογία FTTH. Στην επόμενη γραφική φαίνεται η επιδείνωση του

μέγιστου θεωρητικού bitrate ανά τεχνολογία όσο μεγαλώνει το μήκος του συνδρομητικού βρόγχου.



(σχ. 1.3) Μέγιστη θεωρητική ταχύτητα σε συνάρτηση με το μήκος συνδρομητικού βρόγχου ανά πρωτόκολλά [2]

Είναι φανερό ότι μερικές εκατοντάδες μέτρα του συνδρομητικού βρόγχου αρκούν για την ραγδαία μείωση του μέγιστου θεωρητικού bitrate (παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και το VDSL2). Μάλιστα, στην πράξη, λόγω crosstalk, ασυμβατοτήτων μεταξύ του chipset του DSLAM και του CPE, εξωτερικών παρεμβολών κ.τ.λ. η πραγματική ταχύτητα του συνδρομητή είναι σαφώς μικρότερη. Αντίθετα, στην FTTH τεχνολογία, ακόμη και αρκετά χιλιόμετρα οπτικής ίνας δεν εμποδίζουν bitrate της τάξης του 1Gbps. Επιπλέον, όλες οι xDSL τεχνολογίες είναι ευαίσθητες στις ηλεκτρονικές παρεμβολές τόσο στην ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί (όπως αναφέρθηκε και πιο πριν), όσο και στην επίτευξη συγχρονισμού της υπηρεσίας (οι αποσυγχρονισμοί λόγω θορύβου δεν είναι σπάνιοι). Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στο FTTH μιας και ο θόρυβος δεν μπορεί να επηρεάσει το οπτικό σήμα FTTH.

1.1 Ορισμός Ευρυζωνικότητας

Είναι συχνό φαινόμενο πολλοί άνθρωποι να συγχέουν την ευρυζωνικότητα είτε με κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα σύνδεσης είτε με ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα το DSL ή τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (wLANs). Στην πραγματικότητα όμως η ευρυζωνικότητα είναι κάτι διαφορετικό. Μάλιστα, λόγω της συνεχόμενης αλλαγής των ευρυζωνικών τεχνολογιών, ο ορισμός της ευρυζωνικότητας συνεχώς εξελίσσεται.

Στην παρούσα χρονική στιγμή, ο όρος ευρυζωνικότητα περιγράφει πρόσφατες συνδέσεις με το διαδίκτυο (Internet), οι οποίες είναι από 5 έως 2000 φορές πιο γρήγορες από τις παλαιότερες dial-up τεχνολογίες σύνδεσης. Εντούτοις, ο όρος δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα ή υπηρεσία. Η ευρυζωνικότητα συνδυάζει το εύρος ζώνης (χωρητικότητα) με την ταχύτητα μιας σύνδεσης. Τυπικά, και σύμφωνα με τη σύσταση I.113 του τομέα πιστοποίησης της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), ως ευρυζωνικότητα ορίζεται: Η ικανότητα μετάδοσης δεδομένων σε ρυθμούς γρηγορότερους από τα αρχικά ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN) κατά 1.5 ή 2.0 Mbps (Mbit ανά δευτερόλεπτο). Από τηλεπικοινωνιακής άποψης, οι ευρυζωνικές τεχνολογίες είναι η μετεξέλιξη των υπαρχόντων ISDN δικτύων, τα οποία καλούνται πλέον ISDN στενού εύρους ζώνης (narrow band ISDN). [3]

Ένας εναλλακτικός ορισμός είναι αυτός που αναφέρει ότι η ευρυζωνικότητα είναι ένα προηγμένο και καινοτόμο περιβάλλον αποτελούμενο από γρήγορες συνδέσεις με το διαδίκτυο και κατάλληλες δικτυακές υποδομές για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και υπηρεσιών. Η ευρυζωνικότητα αποτελεί ένα περιβάλλον παροχής γρήγορων συνδέσεων στο Διαδίκτυο σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, με ανταγωνιστικές τιμές, χωρίς εγγενείς περιορισμούς στα συστήματα μετάδοσης και τον τερματικό εξοπλισμό των επικοινωνούντων άκρων. Με την κατάλληλη δικτυακή υποδομή, μπορεί να επιτρέπεται η κατανομημένη ανάπτυξη δικτυακών εφαρμογών και πληροφοριακών υπηρεσιών, να δίνεται η δυνατότητα αδιάλειπτης σύνδεσης των χρηστών σε αυτές και ταυτόχρονα να ικανοποιούνται οι διαφορετικές ανάγκες των εφαρμογών σε εύρος ζώνης, αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα. Επίσης είναι σημαντική η δυνατότητα του πολίτη να επιλέγει ανάμεσα σε εναλλακτικές προσφορές σύνδεσης που ταιριάζουν στον εξοπλισμό του, μεταξύ διαφορετικών δικτυακών εφαρμογών και επίσης διαφορετικών υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας.[3]

Τέλος ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για να είναι κατάλληλο προς εφαρμογή θα πρέπει να διέπεται από μέτρα, πολιτικές, πρωτοβουλίες, παρεμβάσεις άμεσες και έμμεσες, όλα αναγκαία για την ενδυνάμωση της καινοτομίας. Επίσης, θα πρέπει να προστατεύει τον υγιή ανταγωνισμό και να εγγυάται μια ισορροπημένη οικονομική ανάπτυξη, ικανή να προέλθει από τη γενικευμένη συμμετοχή στην ευρυζωνικότητα και την Κοινωνία της Πληροφορίας.

1.2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες

Σήμερα, τόσο στην χώρα μας όσο και στον υπόλοιπο κόσμο απαντώνται διάφορων ειδών τεχνολογίες διαδικτυακών παροχών. Οι βασικές είναι οι εξής:

DSL (Digital subscriber line):

Το DSL σημαίνει Digital Subscriber Line και στην ουσία αποτελεί μια τεχνολογία που μετατρέπει το απλό καλώδιο τηλεφώνου σε ένα δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης χρησιμοποιώντας ειδικά modem, τα οποία τοποθετούνται στις δυο άκρες της γραμμής. Ο δίαυλος αυτός μεταφέρει τόσο τις χαμηλές όσο και τις υψηλές συχνότητες ταυτόχρονα, τις χαμηλές για τη μεταφορά του σήματος της φωνής και τις υψηλές για τα δεδομένα. Ανάλογα με το είδος του modem που θα συνδέσουμε, πετυχαίνουμε και διαφορετικές επιδόσεις [4] [51]. Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη ευρυζωνική πλατφόρμα στον κόσμο σήμερα. Όπως όλες οι ευρυζωνικές τεχνολογίες, η DSL έχει την δυνατότητα να προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες και καλύτερη ποιότητα για τη μετάδοση φωνής, δεδομένων και εικόνων.

xDSL:

Το “x” στη συντομογραφία xDSL σημαίνει την ύπαρξη πολλών και διαφορετικών DSL προδιαγραφών, οι οποίες καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες. Με τις τεχνολογίες αυτές, η επικοινωνία γίνεται εξ’ ολοκλήρου ψηφιακά με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης σήματος. Υπάρχουν διάφορα είδη xDSL τεχνολογιών και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διαμόρφωσης του σήματος και την ικανότητα συμμετρικής ή ασύμμετρης μετάδοσης, που επιτυγχάνουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης και μέγιστες αποστάσεις κυκλώματος και αναφέρονται με το όνομα ads , όπως π.χ. ADSL (Asymmetric DSL), HDSL (High Speed DSL), IDSL (ISDN - DSL), RADSL (Rate - adaptive DSL), SDSL (Symmetric DSL) και VDSL (Very High Speed DSL).

Καλωδιακά μόντεμ:

Τα καλωδιακά δίκτυα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν διαφορετικά κανάλια πάνω στο ίδιο φυσικό μέσο. Τα κανάλια αυτά μεταφέρουν το σήμα από διαφορετικούς τηλεοπτικούς σταθμούς. Η βασική διαφορά μεταξύ DSL και καλωδιακής τεχνολογίας είναι ότι στην καλωδιακή όλοι οι συνδρομητές

μιας μικρής περιοχής διαμοιράζονται τα ίδια κανάλια για την αποστολή και λήψη δεδομένων, αυτό σημαίνει ότι το εύρος ζώνης και η ταχύτητα εξυπηρέτησης των αναγκών του χρήστη είναι άμεση συνάρτηση του εύρους ζώνης που καταναλίσκουν οι γειτονικοί συνδρομητές την ίδια χρονική περίοδο.

Καλώδια οπτικών ινών:

Σε αντίθεση με τις DSL και καλωδιακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν χάλκινα σύρματα (συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων), η τεχνολογία οπτικών ινών χρησιμοποιεί λέιζερ για να μεταδώσει παλμούς φωτός μέσω εξαιρετικά λεπτών μερών πυριτίου. Λόγω της ιδιότητας του φωτός να χρησιμοποιεί υψηλές συχνότητες, οι οπτικές ίνες έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν πολλαπλάσιο αριθμό των δεδομένων που μεταφέρουν τα ραδιοκύματα ή τα ηλεκτρικά σήματα. Θεωρητικά, οι οπτικές ίνες μπορούν να παρέχουν σχεδόν απεριόριστο δυναμικό εύρους ζώνης και για αυτό χρησιμοποιούνται για συνδέσεις μεγάλου εύρους ζώνης μεταξύ πόλεων ακόμα και για επιβαρυμένες επικοινωνιακά περιοχές.

Ασύρματα δίκτυα (WLANs και Wi - Fi):

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών.

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Τα τέσσερα τελευταία εξετάζονται σε αυτό το άρθρο. Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών.[5] [51]

LMDS (Local Multipoint Distribution System):

Πρόκειται για μια ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία, που χρησιμοποιείται για μετάδοση φωνής και δεδομένων, υπηρεσίες διαδικτύου και τηλεοπτικές υπηρεσίες. Είναι ένα σύστημα απευθείας μικροκυματικής μετάδοσης από μια τοπικά κεντρική κεραία προς το σπίτι ή την επιχείρηση. Χρησιμοποιεί πολύ υψηλές συχνότητες (συνήθως από την περιοχή των 25 GHz και άνω) και έχει κυψελοειδή δικτυακή αρχιτεκτονική. Εντούτοις, δε μπορεί να παράσχει κινητές υπηρεσίες. Οι ταχύτητες μετάδοσης που μπορεί να υποστηρίξει η LDMS αγγίζουν τα 1.5 Gbps για μετάδοση δεδομένων προς το χρήστη και τα 200 Mbps από το χρήστη προς το δίκτυο. Θεωρείται ότι είναι μια εναλλακτική λύση αντί της εγκατάστασης οπτικών ινών κι αυτό γιατί έχει πολύ χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης.

Δορυφορική ευρυζωνική πρόσβαση (satellites):

Η δορυφορική σύνδεση επιτρέπει να λαμβάνονται και να εκπέμπονται δεδομένα μέσω ενός δορυφορικού δίσκου, παρόμοια με το δορυφορικό δέκτη τηλεόρασης. Τα δορυφορικά συστήματα μπορούν να είναι μονόδρομα ή αμφίδρομα. Τα αμφίδρομα συστήματα χρησιμοποιούν το δορυφορικό εξοπλισμό για να ζητούν και να λαμβάνουν δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες και η μονόδρομη πρόσβαση επιτρέπει μόνο λήψη πληροφοριών σε υψηλή ταχύτητα. Εάν αυτή είναι η περίπτωση, θα χρειαστεί να υπάρχει και σύνδεση μέσω τηλεφωνικής κλήσης. Όταν ανοίγει μια σελίδα στο Web, η αίτηση μεταδίδεται μέσω της σύνδεσης τηλεφωνικής κλήσης και η απάντηση παραδίδεται μέσω του δορυφορικού δέκτη. Αυτό λειτουργεί παρόμοια με τις μονόδρομες συνδέσεις στο Διαδίκτυο. Η δορυφορική πρόσβαση λειτουργεί αρκετά παρόμοια με τις άλλες μορφές ευρυζωνικής σύνδεσης. Ένα ιδιαίτερα ευρύ εύρος ζώνης εκχωρείται σε έναν δορυφορικό πομπό και το φάσμα αυτό διαιρείται σε ζώνες δεδομένων. Κανονικά, τα τηλεοπτικά κανάλια εκπέμπονται σε αυτές τις ζώνες, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σήματα δεδομένων.[6] [51]

1.3 Ανάγκη για ευρυζωνικότητα

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που οδηγούν την ανάγκη για ευρυζωνικές επικοινωνίες είναι οι συνεχείς αλλαγές στις ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών. Με την ανάπτυξη του διαδικτύου η ανάγκη για ευρυζωνικές επικοινωνίες έγινε ξεκάθαρη.

Στις αρχές της δεκαετίας του 70 και τις αρχές του 80, οι εξελίξεις στα δημόσια δίκτυα ήταν εξ' ολοκλήρου εξαρτώμενες από τις ανάγκες της τεχνολογίας. Όμως οι ραγδαία αναπτυσσόμενες ανάγκες διακίνησης δεδομένων κατέδειξαν και τις αλλαγές στις ανάγκες και απαιτήσεις των

χρηστών, κυρίως για ταχύτερη ανταλλαγή δεδομένων καθώς ο όγκος τους αυξανόταν με ταχύτατους ρυθμούς. Επιπρόσθετα, υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που οδήγησαν σε ξαφνικές και δραστικές αλλαγές:

- Το χαμηλότερο σχετικό κόστος των τηλεπικοινωνιών που προκλήθηκε από την εισαγωγή στον τομέα αυτό των, χαμηλότερου κόστους και υψηλότερης απόδοσης ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (Integrated Circuits - ICs) και μικροεπεξεργαστών.

- Ο ανταγωνισμός των εταιρειών παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

- Η εισαγωγή των, χαμηλού κόστους και αξιόπιστων στη μετάδοση δεδομένων, οπτικών ινών.

- Η εξάπλωση των προσωπικών υπολογιστών (PC) και των τοπικών δικτύων (LAN), που συνδέουν με το διαδίκτυο.

Αλλά οι ανάγκες τους και οι απαιτήσεις τους σε εφαρμογές είναι τελείως διαφορετικές. Τη διαφορετικότητα αυτή και πολυσυλλεκτικότητα σε εφαρμογές και απαιτήσεις έρχεται να επιλύσει η ευρυζωνικότητα μέσω ενός μεγάλου πλήθους υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η τηλεφωνία με εικόνα (video telephony), οι χαμηλού κόστους τηλεδιασκέψεις, η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV), η διασύνδεση τοπικών δικτύων (LAN interconnection).

Επιπρόσθετα, υπάρχουν και ορισμένοι άλλοι παράγοντες που επιτείνουν την ανάγκη για ευρυζωνικότητα παγκοσμίως. Τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει η φύση των ζητούμενων υπηρεσιών καθώς οι πελάτες θέλουν πλέον ολοένα και πιο εξειδικευμένες υπηρεσίες με χαρακτηριστικά: κινητικότητα (mobility), εύρος ζώνης μετά από ζήτηση (bandwidth on demand), ευελιξία στη δημιουργία κι εγκατάσταση συνδέσεων, συνδέσεις από άκρο σε άκρο (end - to - end connectivity), διαχείριση κ.λπ.

Ένας επιπλέον παράγοντας επίσης είναι οι ανταγωνιστικές αγορές, οι οποίες λειτουργούν πολύ πιο αποδοτικά από τις ρυθμιζόμενες. Στις ανταγωνιστικές αγορές, η διαμάχη των εταιρειών για περισσότερους πελάτες και άρα μεγαλύτερα κέρδη, τις οδηγεί στην προσφορά ολοένα και πιο σύγχρονων υπηρεσιών, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν μέσα από τα παλαιότερα δίκτυα επικοινωνιών.

Τέλος, η συνεχής ελάττωση του κόστους του εξοπλισμού για την επεξεργασία και διακίνηση πληροφοριών δίνει πρόσβαση σε ολοένα και μεγαλύτερες πληθυσμιακές μάζες τη δυνατότητα να αποκτήσουν διαδικτυακές συνδέσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμφόρηση των υπαρχόντων

δικτύων και την ανάγκη για δίκτυα με χαρακτηριστικά όπως αυτά που καθορίζει η σύσταση I.113 της ITU.

1.3.1 Τεχνολογικά πλεονεκτήματα ευρυζωνικότητας

Η ευρυζωνικότητα, η οποία ως τεχνολογία βασίζεται κυρίως στην παροχή πολλαπλών καναλιών πάνω σε ένα επικοινωνιακό μέσο με τη χρήση της τεχνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας ή κύματος (Frequency Division Multiplexing και Wave Division Multiplexing) παρουσιάζει τρία βασικά τεχνολογικά πλεονεκτήματα:

- Οι ευρυζωνικές δικτυακές ταχύτητες είναι αισθητά γρηγορότερες από προηγούμενες τεχνολογίες, κάνοντας έτσι ταχύτερη και πιο εύκολη την πρόσβαση σε πληροφορίες και τη διεξαγωγή on - line συναλλαγών με τη χρήση του διαδικτύου. Σε σχέση με τις dial - up συνδέσεις, η ευρυζωνική πρόσβαση είναι 10 με 20 φορές ταχύτερη. Η υψηλή ταχύτητα των ευρυζωνικών συνδέσεων προσφέρει πλέον πρόσβαση σε υπηρεσίες που είτε δεν ήταν εφικτές με τη χρήση dial - up συνδέσεων είτε ήταν απαλυστικά αργές.

- Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας είναι δυνατόν να υπάρχουν οικονομικά οφέλη για τον απλό χρήστη, σχετιζόμενα με την ευρυζωνικότητα. Για παράδειγμα, με τη χρήση της DSL τεχνολογίας, οι χρήστες μπορούν να έχουν μια τυπική τηλεφωνική γραμμή για αμφότερες τις υπηρεσίες ήχου και βίντεο. Με τον τρόπο αυτό τους επιτρέπεται να μιλάνε για παράδειγμα με κάποιον στο τηλέφωνο, αλλά παράλληλα να είναι συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο, κάτι που δεν ήταν δυνατό να συμβεί στο παρελθόν χωρίς τη χρήση ευρυζωνικότητας.

- Η ευρυζωνικότητα βελτιώνει τις υπάρχουσες εφαρμογές στο διαδίκτυο, καθώς προετοιμάζει το έδαφος για νέες λύσεις, οι οποίες κατά το παρελθόν ήταν είτε υψηλού κόστους είτε αργές και μη αποδοτικές για να ληφθούν υπόψη.

1.3.2 Οικονομικά Οφέλη

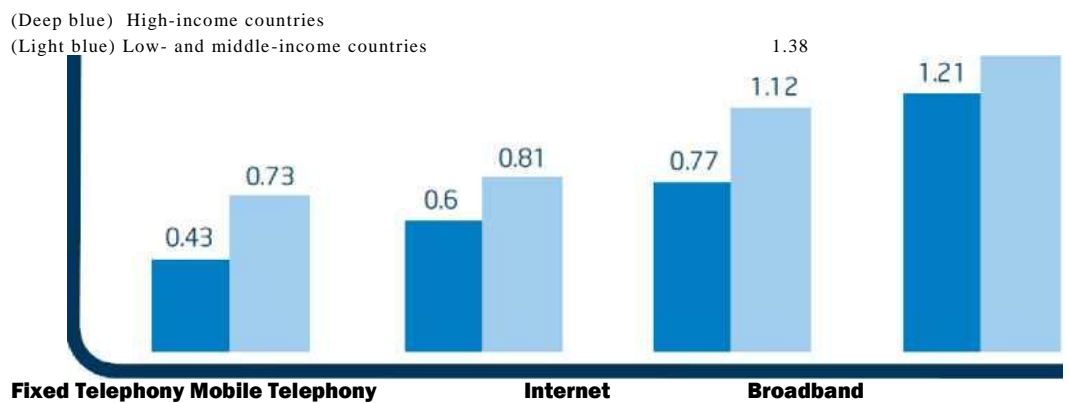
Τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να προσπελαστούν μέσω μίας ποικιλίας ενσύρματων και ασύρματων υπηρεσιών, κάθε μία από τις οποίες προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα στην ταχύτητα, την αξιοπιστία και το προσιτό κόστος. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας εξοπλισμού, όπως επιτραπέζιοι και φορητοί υπολογιστές, netbook, κινητά τηλέφωνα και smartphones. Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι συνδρομητές ευρυζωνικότητας και το ποσοστό διείσδυσης της σε διάφορες περιοχές περί τα τέλη του 2009.[7]

Region	Fixed Si Wireless Broadband*	Market Penetration Rate
	Subscribers (million)	(per 100 population)
Africa	24.4	2.4
China	103.0	7.7
Rest of Asia & Pacific	292.7	12.0
Eastern Europe	55.0	16.2
Latin America	62.6	10.8
Middle East	42.4	13.4
U.S. & Canada	174.9	51.4
Western Europe	262.1	64.3
Grand Total	1,017.1	15.0

(σχ. 1.4) Συνδρομητές και ποσοστό διείσδυσης ευρυζωνικότητας [7]

Οι χώρες που βρίσκονται στη κορυφαία βαθμίδα της ευρυζωνικής διείσδυσης έχουν πετύχει μία αύξηση του ΑΕΠ 2% υψηλότερη σε σχέση με τις χώρες που βρίσκονται στην κατώτερη βαθμίδα. Πιο συγκεκριμένα, μία αύξηση του ΑΕΠ κατά μια ποσοστιαία μονάδα οφείλεται σε αντίστοιχη αύξηση 10 ποσοστιαίων μονάδων της διείσδυσης της ευρυζωνικότητας.

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται η επίδραση των τηλεπικοινωνιών στην αύξηση του ΑΕΠ [8], η οποία είναι μεγαλύτερη σε χώρες με χαμηλές και μεσαίες οικονομίες.



(σχ1.5) Η επίδραση των τηλεπικοινωνιών στην αύξηση του ΑΕΠ κρατών με εισοδήματα διαφορετικής κλίμακας

Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι προς όφελος των αναπτυσσόμενων χωρών να προωθήσουν την ανάπτυξη των ευρυζωνικών υποδομών τους για να βελτιώσουν την Οικονομία τους μέσω της ανάπτυξης του ΑΕΠ . Άλλες οικονομικές επιπτώσεις της ευρυζωνικότητας περιλαμβάνουν τη δημιουργία και τη διευκόλυνση του εμπορίου, τη μείωση του κόστους με τις διεθνείς επικοινωνίες και τη μεγαλύτερη πρόσβαση στις διεθνείς αγορές.

Η ευρυζωνικότητα μπορεί επίσης να βοηθήσει τις χώρες να προσελκύσουν, να εκπαιδεύσουν και να διατηρήσουν μία δημιουργική τάξη εργαζομένων, καθώς η παρουσία της οδηγεί σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τα ευρυζωνικά δίκτυα παρέχουν μοναδικά πλεονεκτήματα που επιτρέπουν στις αναδυόμενες οικονομίες να διέλθουν με ανταγωνιστικό τρόπο στις διεθνείς αγορές.

Μερικά ενδεικτικά οφέλη των ευρυζωνικών συνδέσεων περιγράφονται παρακάτω:

- Απανταχού πρόσβαση: τα ευρυζωνικά δίκτυα είναι πάντα σε λειτουργία και διαθέσιμα για χρήση,
- Προηγμένες εφαρμογές πολυμέσων: οι υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση σε on-line βίντεο, διαδραστικές εφαρμογές, παιχνίδια και άλλες εφαρμογές,
- Μείωση κόστους: η περιήγηση στο Web, το e-mail και άλλες on-line δραστηριότητες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα της εργασίας και να μειώσουν το κόστος συλλογής πληροφοριών,

- Βελτιωμένη επικοινωνία: Τα ευρυζωνικά δίκτυα επιτρέπουν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, μέσω e-mail, instant messaging, Voice-over-Internet Protocol (VoIP). Με τον τρόπο αυτό οι επιχειρήσεις μπορούν να επικοινωνούν πιο συχνά και με χαμηλότερο κόστος με τους πελάτες τους προμηθευτές και συνεργάτες σε όλο τον κόσμο,

- Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ενέργειας: η ευρυζωνικότητα μειώνει τις ανάγκες μετακίνησης και οδηγεί έτσι σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μεγαλύτερη συνολική ενεργειακή απόδοση [9]

1.3.3 Κοινωνικά Οφέλη

Τα κοινωνικά οφέλη της ευρυζωνικής τεχνολογίας είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, αλλά παρόλα αυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της συνολικής αξίας της ευρυζωνικότητας. Με τη σύνδεση των πολιτών μεταξύ τους, όπως επίσης και των επιχειρήσεων, των κοινωνικών υπηρεσιών αλλά και γενικότερα των κυβερνήσεων, οι ευρυζωνικές υπηρεσίες βοηθούν τους ανθρώπους να γίνουν πιο ενημερωμένοι και πιο ενεργοί, κάτι που οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα ζωής και περισσότερες προσωπικές και επαγγελματικές ευκαιρίες.

Τα οφέλη και οι ευκαιρίες που δημιουργεί η ευρυζωνικότητα για όλους τους ανθρώπους -ανεξάρτητα από την θέση, τον τρόπο ζωής, και το εισόδημα τους- μπορεί να βοηθήσει τα έθνη να μειώσουν το ψηφιακό χάσμα. Δεδομένου ότι η ευρυζωνική πρόσβαση γίνεται περισσότερο διαθέσιμη και λιγότερο ακριβή, οι πολίτες και οι επιχειρήσεις σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές μπορούν να συμμετέχουν πιο άμεσα στην εθνική οικονομία. Η ευρυζωνικότητα αποτελεί μια πολιτική εξισορρόπηση, επειδή προσφέρει τη δυνατότητα σε όλους τους πολίτες να έχουν πρόσβαση σε βασικές κυβερνητικές υπηρεσίες (όπως π.χ. ηλεκτρονική υποβολή φορολογικών δηλώσεων, ηλεκτρονική ψηφοφορία κλπ.) και να επωφεληθούν από νέες οικονομικές ευκαιρίες όπως η εργασία από το σπίτι (tele-working).

Τα ευρυζωνικά δίκτυα παρέχουν επίσης ένα πιο αποτελεσματικό και λιγότερο δαπανηρό τρόπο για την παροχή βασικών δημόσιων υπηρεσιών, όπως η κοινωνική περίθαλψη, η εκπαίδευση, η δημόσια ασφάλεια καθώς και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (όπως π.χ. παροχή ιατρικών συμβουλών από απόσταση σε απομακρυσμένα ιατρεία ή κέντρα υγείας). Η ευρυζωνική Τηλε-ιατρική παρέχει καλύτερη πρόσβαση σε εξειδικευμένη φροντίδα, μειώνει τις

περιπτές μετακινήσεις και διευκολύνει την ταχύτερη διάγνωση και θεραπεία. Κινητοί επαγγελματίες υγείας προσφέρουν υγειονομική περίθαλψη σε απομακρυσμένες περιοχές σε όλο τον κόσμο και συχνά βασίζονται σε κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες για να κοινοποιήσουν τα ευρήματά τους καθώς και τις ανησυχίες των ασθενών που βρίσκονται σε περιφερειακά ιατρεία.

Η ευρυζωνικότητα μπορεί να μειώσει τις βλαβερές συνέπειες της αστικοποίησης με διάφορους τρόπους όπως:

α) αύξηση των οικονομικών ευκαιριών στις αγροτικές περιοχές, παρέχοντας την δυνατότητα σε πολίτες απομακρυσμένων περιοχών να εργάζονται από το σπίτι

β) βελτίωση της εκπαίδευσης, επειδή η ευρυζωνική πρόσβαση δίνει την δυνατότητα στους ανθρώπους της υπαίθρου να εκπαιδευτούν στις νέες τεχνολογίες χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση τους σε αστικές περιοχές και

γ) βελτίωση της αστικής ζωής, επειδή η ευρυζωνικότητα βελτιώνει την παραγωγικότητα, μειώνοντας παράλληλα τις απαιτήσεις σε ενέργεια, την ηχορύπανση και την εκπομπή καυσαερίων (λόγω της μείωσης των μετακινήσεων) [9].

1.3.4 Επίδραση στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα

Η διάδοση των ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών επιφέρει μεγάλες αλλαγές στη λειτουργία, την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών του δημοσίου τομέα. Η ευρυζωνικότητα υποστηρίζει την ανάπτυξη υπηρεσιών του δημοσίου τομέα (e-government) που επιτρέπουν την αποδοτικότερη αλληλεπίδραση μεταξύ δημόσιων υπηρεσιών και πολιτών, μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Με την εξασφάλιση των κατάλληλων υποδομών, παρέχεται η δυνατότητα αξιοποίησης νέων εφαρμογών και υπηρεσιών που έχει σημαντικές επιπτώσεις στις εκπαιδευτικές και ερευνητικές δραστηριότητες.

Οι δημόσιες υπηρεσίες αποτελούν συνήθως το μεγαλύτερο πελάτη των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών και καταβάλλουν σημαντικά τέλη. Με την ανάπτυξη και βελτίωση των ευρυζωνικών υποδομών δίνεται η δυνατότητα μείωσης αυτού του κόστους με την παράλληλη βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα του Δημοσίου Τομέα λόγω της χρήσης της ευρυζωνικότητας είναι τα εξής [9]:

- Εξοικονόμηση χρόνου με τη χρήση αυτόματων διαδικασιών,
- Μείωση ανάγκης για εργασίες διαχείρισης,

- Μείωση γραφειοκρατίας με παράλληλη αύξηση της ικανοποίησης των εργαζομένων,
- Βελτίωση της εικόνας της Δημόσιας Διοίκησης,
- Ενίσχυση της ομαδικότητας και συνεργασίας,
- Καλύτερα εκπαιδευμένοι υπάλληλοι,
- Ευκολότερη και ταχύτερη διάχυση της πληροφορίας.

Οι ιδιωτικές επιχειρήσεις μέσω των καινοτόμων χαρακτηριστικών των ευρυζωνικών δικτύων θα μπορέσουν να πετύχουν μια μεγαλύτερη οικονομική ανάπτυξη, η οποία θα βασιστεί στη χρήση των νέων υπηρεσιών της ευρυζωνικότητας. Θα μπορέσουν να πετύχουν την μεγαλύτερη προώθηση των προϊόντων και των υπηρεσιών τους ακόμα και σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές. Η ανάπτυξη των δραστηριοτήτων στον τομέα του ηλεκτρονικού εμπορίου μπορεί να ανατρέψει τα σημερινά δεδομένα αναφορικά με την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων.

Στην παρακάτω εικόνα [9], παρουσιάζεται η διεύθυνση της ευρυζωνικής υποδομής σε διάφορους τομείς του Δημόσιου και του Ιδιωτικού τομέα.



(σχ. 1.6) Διεύθυνση της ευρυζωνικότητας στο Δημόσιο και Ιδιωτικό τομέα

Οι τομείς αυτοί είναι συχνά αλληλεπιδρόμενοι με την έννοια ότι η ανάπτυξη του ενός μπορεί να επιδράσει θετικά και στους υπόλοιπους. Πιο συγκεκριμένα, η ευρυζωνική υποδομή μπορεί να οδηγήσει σε οικονομική ανάπτυξη, η οποία με τη σειρά της προκαλεί βελτίωση της παραγωγικότητας του δημοσίου τομέα και στην παροχή βελτιωμένων ηλεκτρονικών παροχών σε όλους τους πολίτες. Η παραγωγικότητα του Δημόσιου Τομέα μπορεί να έχει θετική επίδραση σε υπηρεσίες όπως ο Τουρισμός, οι μεταφορές, οι ηλεκτρονικές υπηρεσίες κλπ.

1.4 Στρατηγικές για εξάπλωση της ευρυζωνικότητας

Τόσο οι αναπτυσσόμενες όσο και οι ανεπτυγμένες χώρες αναγνωρίζουν ότι οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) παρέχουν μια πραγματική ευκαιρία για την βελτίωση των επιπέδων διαβίωσης μέσω της αύξησης παραγωγικότητας. Ελάχιστοι θα διαφωνούσαν με το επιχείρημα ότι οι τηλεπικοινωνίες και οι τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών χρησιμεύουν ως ισχυροί παράγοντες οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης με την βελτίωση της πρόσβασης στην πληροφόρηση, την ενίσχυση του εμπορίου σε αγαθά και υπηρεσίες, την μείωση του κόστους και την βελτίωση της αποτελεσματικότητας. Τα κράτη πρέπει να βελτιώνουν συνεχώς τις καινοτομίες στις ΤΠΕ και μία από αυτές είναι η βελτίωση της ευρυζωνικότητας.

Σημαντικός παράγοντας στην βελτίωση αυτή είναι η χρήση βέλτιστων στρατηγικών και πρακτικών. Με τον όρο αυτό νοούνται όλες εκείνες οι ενέργειες, οι στρατηγικές, οι πρακτικές και οι νόμοι που έχουν θεσπιστεί από χώρες, πόλεις ή κοινότητες και αφορούν την εξάπλωση και τη διάχυση της ευρυζωνικότητας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα τμήματα πληθυσμών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και εξάπλωση της ευρυζωνικότητας είναι πολλοί με πιο σημαντικούς τους εξής: το ρυθμιστικό πλαίσιο αλλά και το τεχνολογικό επίπεδο των χωρών στις οποίες αναπτύσσεται η ευρυζωνικότητα, τις τεχνολογικές εξελίξεις και την ανάγκη των χρηστών για γρηγορότερη πρόσβαση στις επιθυμητές πληροφορίες, το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών, τις εξελίξεις και βελτιώσεις των ευρυζωνικών υπηρεσιών κλπ.

Για την αξιολόγηση των βέλτιστων πρακτικών ευρυζωνικότητας, χρησιμοποιούνται δύο δείκτες: (α) ο δείκτης βέλτιστων πρακτικών (Best Practice Index - BPI) που δείχνει ότι μια χώρα ακολούθησε μερικές από τις καλύτερες πρακτικές σε όλο τον κόσμο για την υποστήριξη της ανάπτυξης ευρυζωνικών υπηρεσιών και (β) ο δείκτης καλών πρακτικών (Good Practice Index - GPI) που δείχνει ότι μια χώρα ακολούθησε μερικές από τις καλές

πρακτικές σε όλο τον κόσμο για την υποστήριξη της ανάπτυξης της ευρυζωνικότητας. Οι δείκτες αυτοί καθορίζονται με τη βοήθεια διαφορετικών κριτηρίων όπως:

- Η διείσδυση της ευρυζωνικότητας και του Διαδικτύου ανά 100 κατοίκους καθώς και ο ρυθμός αύξησης της διείσδυσης των ανωτέρω,
- Οι επενδύσεις των κρατών σε ΤΠΕ,
- Το επίπεδο ανταγωνισμού στις τηλεπικοινωνίες,
- Η οικονομική δυνατότητα ενός χρήστη για αγορά ευρυζωνικότητας (εκφράζεται από το κόστος 1 Kbps/\$),
- Τα ετήσια μέσα ποσοστά αύξησης του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) ανά ώρα εργασίας,
- Η βαθμολογία μιας χώρας σε σχέση με την ψηφιακή ετοιμότητα[10] [51]

Το παράδειγμα χωρών, με τις διαφορές και τις ομοιότητες που έχουν, οι οποίες έχουν οδηγηθεί στην αφομοίωση βέλτιστων πρακτικών και μέσα από τις κυβερνήσεις τους, όπως η Ιαπωνία, οι Η.Π.Α και ο Καναδάς με σκοπό την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας τόσο μέσω ενσύρματων όσο και ασύρματων τρόπων πρόσβασης, είναι από τα πλέον σημαντικά ζητήματα για την κατανόηση των ίδιων των στρατηγικών. Σε αυτά, αποδεικνύεται ότι οι κυβερνήσεις πρέπει να δημιουργήσουν και να ενισχύσουν ένα ευνοϊκό επιχειρηματικό περιβάλλον που θα οδηγήσει στην ανάπτυξη των τεχνολογιών ΤΠΕ και κατ' επέκταση στην ευρυζωνικότητα.

1.4.1 Το παράδειγμα των Η.Π.Α.

Παρά το γεγονός ότι το κράτος αυτό υστερεί σημαντικά σε αρκετούς δείκτες της ανάπτυξης των υποδομών ΤΠΕ, έχει πετύχει μια παγκόσμια κυριαρχία σε αρκετές αγορές ΤΠΕ με τη βοήθεια της κυβέρνησης. Το μοντέλο των ΗΠΑ για την ανάπτυξη των ΤΠΕ και συγκεκριμένα της ευρυζωνικότητας ευνοεί τον επιχειρηματικό κόσμο και τις ιδιωτικές επιχειρήσεις σε συνδυασμό με την άμεση και έμμεση οικονομική ενίσχυση από την κυβέρνηση. Εστίες υψηλής τεχνολογίας όπως η Silicon Valley στην Καλιφόρνια, έχουν αποδείξει την ύπαρξη σημαντικών παραγόντων για την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας.

Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικοί από αυτούς.

- Το ανοιχτό περιβάλλον που υπάρχει στον χώρο των επιχειρήσεων έχει ως αποτέλεσμα τον ισχυρότερο ανταγωνισμό αλλά και την ανταλλαγή γνώσεων. Η δικτύωση των επιχειρήσεων αποτελεί μια σημαντική τεχνολογική καινοτομία, επειδή απαρτίζεται από δίκτυα υψηλής ευρυζωνικότητας.

- Πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα αλληλεπιδρούν με την βιομηχανία και έτσι ενθαρρύνεται η γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων μέσω δικτύων υψηλής ευρυζωνικότητας.

- Η συνεργασία μεταξύ επιχειρήσεων, κυβέρνησης και μη κυβερνητικών οργανώσεων απαιτεί την χρήση δικτύων υψηλών ταχυτήτων.

- Η εξειδικευμένη υποδομή πολλών επιχειρήσεων πρέπει να παρέχει πρόσβαση σε συμβούλους, δικηγόρους, επιχειρηματικά κεφάλαια αλλά και ανθρώπους ανειδίκευτους. Μια επιτυχημένη συνεργασία όλων των ανωτέρω απαιτούνται δίκτυα υψηλής ευρυζωνικότητας

Αλλά έθνη, όπως ο Καναδάς, η Ιαπωνία και η Κορέα θεωρούν ότι για να επιτευχθεί η μέγιστη ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας, πρέπει οι κυβερνήσεις να έχουν το σημαντικότερο λόγο στην ανάπτυξη των τεχνολογιών ΤΠΕ, ενώ στις ΗΠΑ θεωρούν ότι είναι πιο αποτελεσματικό να θεσπιστεί ένα ευέλικτο επιχειρηματικό περιβάλλον χωρίς μεγάλη συμμετοχή του κράτους. Τα έθνη μπορούν να πετύχουν μια σημαντική ανάπτυξη των ΤΠΕ αν δημιουργήσουν, ελέγξουν και ενισχύσουν ένα ευνοϊκό επιχειρηματικό περιβάλλον. Αυτό το περιβάλλον πέρα από την ικανότητα ανάπτυξης τεχνολογικών πάρκων, θα μπορέσει επίσης να πετύχει τα εξής:

- τη συνεργασία τόσο σε βασική όσο και σε εφαρμοσμένη έρευνα με ερευνητικά ινστιτούτα και εργαστήρια,

- τη διευκόλυνση της πρόσβασης σε επιχειρηματικά κεφάλαια,

- τη διαθεσιμότητα επαγγελματικής, τεχνικής, διοικητικής και νομικής βοήθειας,

- μια δίκαιη και διαφανή επιχειρηματική υποδομή.

1.4.2 Το παράδειγμα του Καναδά

Η Καναδική κυβέρνηση είχε ξεκινήσει ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 μια σειρά πρωτοβουλιών για την ανάπτυξη των ΤΠΕ. Το Υπουργείο Βιομηχανίας της χώρας κατάστρωσε μία στρατηγική που θα καθιστούσε τη χώρα αυτή την πιο συνδεδεμένη στον κόσμο. Για την επίτευξη της ανάπτυξης

των ΤΠΕ, προωθήθηκε η on-line πρόσβαση, και αναπτύχθηκε το ηλεκτρονικό εμπόριο και η παροχή υπηρεσιών ηλεκτρονικής διακυβέρνησης.[10]

Η ομάδα εργασίας (Task Force) που είχε συσταθεί για το σκοπό αυτό, ανέπτυξε μία σειρά δραστηριοτήτων έτσι ώστε όλες οι κοινωνικές ομάδες της χώρας, συμπεριλαμβανομένων των μικρών επιχειρήσεων και των οικιακών χρηστών, να μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο με ταχύτητες διέλευσης άνω των 1.5 Mbits/sec. Επίσης διατύπωσε την άποψη ότι η τοπική ευρυζωνική υποδομή πρέπει να επεκταθεί σε σχολεία, δημόσιες βιβλιοθήκες και άλλα δημόσια σημεία πρόσβασης μέσω δύο μοντέλων:

- ένα κυβερνητικό μοντέλο που ακολουθεί την σχεδίαση top-down και το οποίο δημιουργεί υποδομές ευρυζωνικών δικτύων και κίνητρα επενδύσεων προς την κατεύθυνση αυτή.

- ένα συγκεντρωτικό μοντέλο που ακολουθεί την σχεδίαση bottom-up όπου η κυβέρνηση χρηματοδότησε πιλοτικά προγράμματα και η παροχή ηλεκτρονικών δημόσιων υπηρεσιών βοήθησε στην ανάπτυξη επαρκούς ζήτησης τόσο για την υπάρχουσα χωρητικότητα του δικτύου όσο και την κατασκευή νέων καταστάσεων.

1.4.3 Το παράδειγμα της Κορέας και της Ιαπωνίας

Η Κορεάτικη κυβέρνηση κατήρτισε ένα πλάνο δράσης, όταν το Υπουργείο Πληροφοριών και Επικοινωνιών διατύπωσε ένα όραμα για μία οικονομία βασισμένη στη γνώση, όπου κάθε πολίτης θα έχει πρόσβαση σε ένα προσωπικό υπολογιστή, η κυβέρνηση θα επισπεύσει την ανάπτυξη της πληροφοριακής υποδομής και όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς στον τομέα των ΤΠΕ θα συνεργαστούν για την αύξηση της παραγωγικότητας, της απασχόλησης, των εξαγωγών. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, προτάθηκε μια σειρά πρωτοβουλιών όπως:

- προσπάθειες των αρχών για ενθάρρυνση των επενδύσεων υποδομής από υπάρχοντες αλλά και νεοεισερχόμενους στην αγορά φορείς,

- άμεση χρηματοδότηση, δάνεια και ευνοϊκή φορολογική μεταχείριση για την κατασκευή νέων ευρυζωνικών δικτύων υψηλής χωρητικότητας,

- οικονομική ενίσχυση για ερευνητικά, αναπτυξιακά και τεχνολογικά project,

- επιδότηση για αγορά προσωπικών υπολογιστών από πολίτες με χαμηλά εισοδήματα,

- προώθηση ψηφιακού αναγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας χρήσης τεχνολογιών πληροφορικής για την αλληλεπίδραση για την κυβέρνηση και την απόκτηση πληροφοριών, επικοινωνίας και ψυχαγωγίας,

- Υποστήριξη ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, ηλεκτρονικής εκπαίδευσης, ηλεκτρονικού εμπορίου και άλλων βασισμένων στις ΤΠΕ υπηρεσιών.

Η Ιαπωνία, από την άλλη μεριά, ανέπτυξε μία στρατηγική για υψηλού επιπέδου πληροφορίες, με φιλόδοξους στόχους όπως την βελτίωση των υποδομών, των ανθρώπινων πόρων, το ηλεκτρονικό εμπόριο, την ηλεκτρονική διακυβέρνηση και την ασφάλεια των δικτύων. Σε αντίθεση με την Κορέα, η Ιαπωνία πέτυχε μία ταχεία ανάπτυξη των πλέων προηγμένων τηλεπικοινωνιών στο κόσμο και των δικτύων πληροφόρησης. Η στρατηγική αυτή πέτυχε τη σύνδεση 30 εκατομμυρίων νοικοκυριών σε υψηλές ταχύτητες πρόσβασης στο Internet και την παροχή των υψηλότερων ταχυτήτων σύνδεσης στο κόσμο σε συνδυασμό με το χαμηλότερο κόστος ανά Mbit.

Το κλειδί επιτυχίας στον τομέα της ευρυζωνικότητας από έθνη όπως ο Καναδάς, η Κορέα, η Ιαπωνία βρίσκεται στην αποτελεσματική αλλαγή του κανονιστικού περιβάλλοντος χωρίς να προκληθεί μια παρατεταμένη δαπανηρή περίοδος, όπως αυτή που είχε ανατρέψει την πρόοδο στις ΗΠΑ. Τα έθνη μπορούν να χρησιμοποιήσουν ρυθμιστικές διατάξεις για να προωθήσουν τον ανταγωνισμό με σταδιακή απελευθέρωση κλειστών τομέων όπως οι τηλεπικοινωνίες. Προοδευτικές φορολογικές πολιτικές, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων και των εκπτώσεων φόρου τονώνουν την αγορά και δίνουν κίνητρα σε υποδομές Η/Υ. Οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές πρέπει να βρουν ένα τρόπο για να δημιουργήσουν κίνητρα για επενδύσεις σε υποδομές που απαιτούνται για την παροχή υψηλής ταχύτητας ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Η βασική κινητήρια δύναμη έγκειται στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου ανταγωνισμού σε κάθε μία από τις τεχνολογίες που παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως π.χ.. οι τεχνολογίες χαλκού και η χρήση οπτικών ινών αλλά και οι επιχειρήσεις καλωδιακής τηλεόρασης. Ως αποτέλεσμα του ανταγωνισμού από τις παραδοσιακές τηλεφωνικές υπηρεσίες, οι υφιστάμενοι φορείς έχουν μικρά περιθώρια και περιορισμένες δυνατότητες για την τιμολόγηση των βασικών προϊόντων τους και όντας αντιμέτωπες με τέτοιο ανταγωνισμό, πρέπει να διαφοροποιήσουν τις υπηρεσίες τους και να ακολουθήσουν νέους δρόμους κέρδους όπως οι ασύρματες υπηρεσίες καθώς και υπηρεσίες δεδομένων.

1.5 Ευρυζωνικότητα και οικονομική κρίση

Πολλοί οργανισμοί όπως π.χ. η Παγκόσμια Τράπεζα, ο ΟΟΣΑ και άλλοι έχουν διατυπώσει την άποψη ότι η ευρυζωνικότητα μπορεί να συμβάλει στην έξοδο από τη παρούσα οικονομική κρίση. Πιο συγκεκριμένα, τα ευρυζωνικά δίκτυα, τα οποία λειτουργούν ως πλατφόρμα επικοινωνίας και συναλλαγής, μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα και να αυξήσουν τις δημόσιες και τις ιδιωτικές επενδύσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τηλεπικοινωνίες υψηλής ταχύτητας. Η ευρυζωνικότητα σε συνδυασμό με άλλες υποδομές όπως κτίρια, δρόμοι, συστήματα μεταφοράς κλπ. μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια και να βελτιώσει την ασφάλεια. Ο ΟΟΣΑ πιστεύει ότι **οι επενδύσεις στο χώρο των ευρυζωνικών συνδέσεων και γενικότερα των τηλεπικοινωνιών μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κρίσης.** Η κατάλληλη επιλογή επενδύσεων για την ανάπτυξη των υποδομών των τηλεπικοινωνιών μπορούν να επεκτείνουν τις παραγωγικές δυνατότητες της οικονομίας. Η ευρυζωνικότητα σήμερα είναι τόσο ζωτικής σημασίας όσο ήταν ο ηλεκτρισμός τη δεκαετία του 1930 και έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Σε περιόδους οικονομικής κρίσης οι εθνικές κυβερνήσεις ψάχνουν για πολιτικές που μπορούν να πετύχουν ταχεία αντιμετώπιση της αύξησης της ανεργίας και της μείωσης της παραγωγής. Οι επενδύσεις σε έργα υποδομής έχουν αναγνωριστεί ως βασικά εργαλεία της οικονομικής πολιτικής για την καταπολέμηση της οικονομικής κρίσης. **Η κατασκευή ευρυζωνικών δικτύων αποτελεί σημαντική επίδραση προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας και της τόνωσης την Οικονομίας.** Πολλές κυβερνήσεις έχουν αποφασίσει να αυξήσουν τις επενδύσεις τους και σε υποδομές εκτός από την κατασκευή δρόμων, γεφυρών και τηλεπικοινωνιακών υποδομών.

Σε οικονομίες που εξαρτώνται από τη συλλογή και την επεξεργασία πληροφοριών, όπως π.χ. η γερμανική, όπου το 54% του οικονομικά ενεργού εργατικού δυναμικού θεωρείται ότι βασίζεται σε πληροφορίες [11], η κατασκευή υποδομών για τη διευκόλυνση της ροής των πληροφοριών στην Οικονομία, μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα, την καινοτομία και την ανάπτυξη των επιχειρήσεων. Διάφορες μελέτες επισημαίνουν ότι οι κατατάξεις στην εθνική ανταγωνιστικότητα διαφόρων κρατών σχετίζεται άμεσα με την ετοιμότητα των δικτύων.

Η κατασκευή δικτύων έχει υπολογιστεί ότι έχει δημιουργήσει συνολικά 304.000 θέσεις για τα έτη 2010-2014 και επιπλέον 237.000 θέσεις εργασίας για τα έτη 2015-2020. Επιπλέον, όταν η ευρυζωνική υποδομή αναπτυχθεί περαιτέρω, θα προκύψουν και νέες υπηρεσίες που θα οδηγήσουν στη δημιουργία επιπλέον θέσεων εργασίας. Εκτιμάται επίσης ότι μπορούν να

προκύπτουν 427.000 νέες θέσεις εργασίας έως το έτος 2020, με συνολικό αριθμό θέσεων εργασίας τις 968.000.[11]

Σε όρους παραγωγής, η κατασκευή του ευρυζωνικού δικτύου οδηγεί σε επιπλέον ΑΕΠ κατά 18.8 δισ. ευρώ για τα έτη 2010-2014 και κατά 14.6 δισ. ευρώ για τα έτη 2015-2020 ,ενώ η προκύπτουσα σταδιακή διείσδυση της ευρυζωνικότητας θα προσθέσει 137.5 δισ. ευρώ στο ΑΕΠ και συνολικά προβλέπεται μία συνολική αύξηση του γερμανικού ΑΕΠ κατά 60%.[11]

Κεφάλαιο 2ο

Οπτικές Ίνες

Εισαγωγή

Τα καλώδια ως μέσα μεταφοράς πληροφοριών, είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή κράματα και παράγονται σε λίγες χώρες του κόσμου. Έτσι οι υπόλοιπες χώρες είναι εξαρτημένες από αυτές που τον παράγουν. Για το λόγο αυτό οι ερευνητές ωθήθηκαν από πολύ νωρίς στο να προτείνουν πιο συμφέρουσες εναλλακτικές λύσεις για γρήγορη και αποδοτική μεταφορά πληροφοριών με σκοπό την προσπάθεια απεξάρτησης από τις χώρες παραγωγής χαλκού, την αποτροπή υποκλοπών στις τηλεπικοινωνίες και την μεταφορά μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών. Έτσι οδηγηθήκαμε στην κατασκευή των οπτικών ινών.

Η χρήση του φωτός για τη μεταφορά πληροφορίας δεν αποτελεί μία καινούργια ιδέα καθότι ο άνθρωπος από πολύ νωρίς χρησιμοποίησε οπτικές περιοχές για να μεταδώσει πληροφορίες σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Οι οπτικές ίνες (optical fibers) αποτελούν ένα μεγάλο κεφάλαιο των τηλεπικοινωνιών, το οποίο προσφέρει μετάδοση ήχου εικόνας και video σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε τοπικά δίκτυα (local networks) όσο και σε δίκτυα ευρείας περιοχής (wide area networks). Οι οπτικές ίνες είναι ειδικά νήματα που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί με πάρα πολύ λεπτή διάμετρο και αποτελούν τα πλέον κατάλληλα μέσα για την οδήγηση της οπτικής δέσμης που μεταφέρει την πληροφορία σε ψηφιακή μορφή [12]. Με τη χρήση τους μειώνεται το κόστος κατασκευής ενός δικτύου καθώς το γυαλί των οπτικών ινών κοστίζει λιγότερο από τα καλώδια χαλκού. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα επιστημονικά όργανα ανίχνευσης παραμορφώσεων, πίεσης, θερμοκρασίας (ηφαιστειών και πυρηνικών αντιδραστήρων) καθώς και άλλων μεγεθών.

Τα οπτικά δίκτυα υψηλής χωρητικότητας έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες, γιατί προσφέρουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (bandwidth), το οποίο δεν μπορεί να επιτευχθεί από καμία άλλη τεχνολογία. Η οπτική ίνα έχει αποδείξει ότι έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων.

Συνεπώς τα δίκτυα που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες είναι σε θέση να ανταποκριθούν σε μεγάλες απαιτήσεις χωρητικότητας, ταχύτητας και απόστασης. Σε πολλά εγκατεστημένα οπτικά δίκτυα επιτυγχάνονται ρυθμοί της τάξης των 2.5 Gbps , 5 Gbps και 10 Gbps ανά κανάλι, ενώ σε ερευνητικό επίπεδο ακόμα βρίσκονται τεχνικές μετάδοσης που υποστηρίζουν ρυθμούς 40 Gbps ανά κανάλι.

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη μορφή τηλεπικοινωνιών μπορεί να θεωρηθεί ότι εμφανίζονται στην αρχαιότητα, όπου με την χρήση της φωτιάς ή κατόπτρων επιτυγχανόταν η αποστολή μηνυμάτων μεταξύ δύο σημείων σε απόσταση.

Στην σύγχρονη ιστορία όμως έχουμε:

- Την επινοήση από τον Alexander Graham Bell του φωτοφώνου το 1880, όπου ένα σύστημα ασύρματης μετάδοσης φωνής που λειτουργεί με κάτοπτρα τα οποία κινούνται ανάλογα με την ένταση της φωνής και ανακλούν το ηλιακό φως.
- Ο Heinrich Lamm στα 1930 θεωρείται ο πρώτος κατασκευαστής οπτικής ίνας με την κατασκευή μιας λαπαροσκοπικής διάταξης.
- Στα 1956 ο Karany κατασκεύασε μία οπτική ίνα κατάλληλη για εφαρμογή στις τηλεπικοινωνίες.
- Στα 1958 σημειώνεται η εφεύρεση του L.A.S.E.R, πηγής οπτικού σήματος κατάλληλου για επικοινωνίες.
- Το 1966 σημειώνεται για πρώτη φορά χρήση της οπτικής ίνας στις τηλεπικοινωνίες από τον C.Kao. Η εξασθένιση όμως του συστήματος του Kao ήταν ιδιαίτερα υψηλή, της τάξης των 1000 dB/Km, ενώ ορίστηκε ως μέγιστη επιτρεπτή εξασθένιση αυτή των 20 dB/Km κάτι που έγινε εφικτό το 1970.

- Το 1977 εγκαθίσταται το πρώτο δίκτυο στο Chicago-USA από την Bell Labs. Η ίνα είχε συνολικό μήκος 2400 μέτρα και υποστήριξε 672 κανάλια ταυτόχρονα.
- Το 1988 εγκαθίσταται το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο οπτικών ινών με μήκος 5066 Km και δυνατότητα εξυπηρέτησης 120.000 κλήσεων.
- Το 1992 γίνεται χρήση της τεχνολογίας πολυπλεξίας μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing-WDM) η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών καναλιών μέσω της ίδιας οπτικής ίνας.
- Το 2001 αποτελούν γεγονός οπτικά συστήματα τα οποία λειτουργούν με ταχύτητα 10 Tb/s με τη χρήση της τεχνολογίας WDM όπου τα κανάλια λειτουργούν με ταχύτητα 40 GB/s.



(σχ. 2.1) Καλώδιο Οπτικών ινών

Πολύ σημαντική εφαρμογή της οπτικής ίνας στις μέρες μας είναι στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης, όπου η πιο δημοφιλής λύση είναι τα παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Networks).

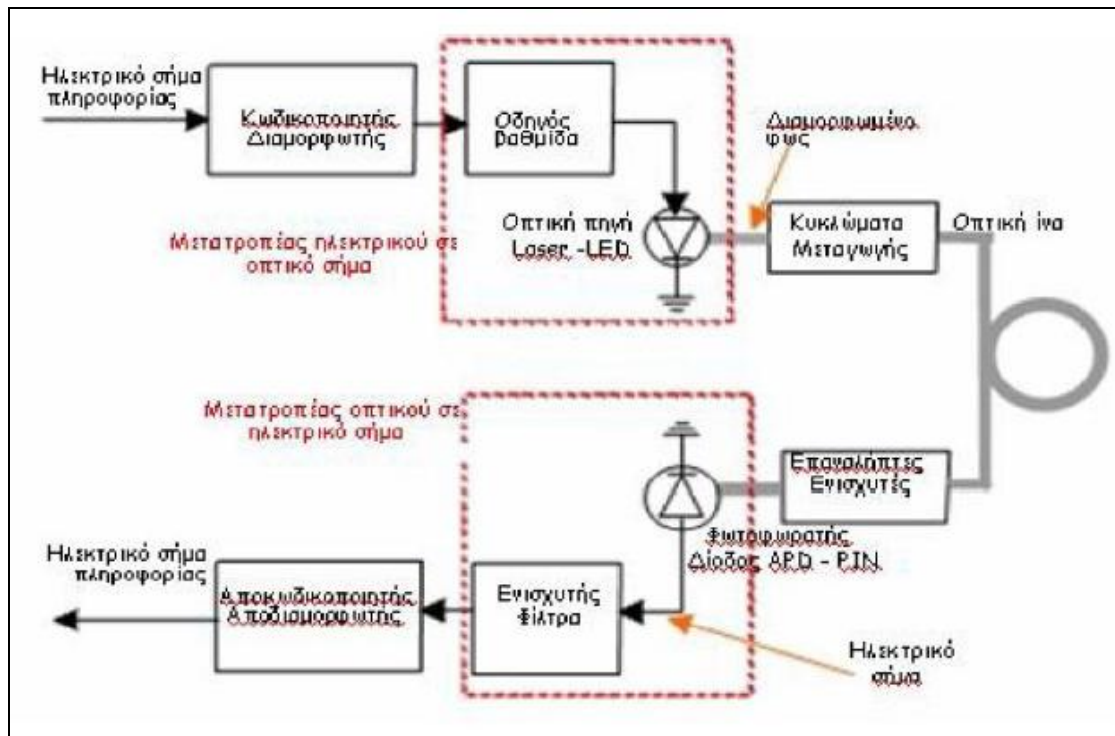
Τέλος ένας πρωτεύων στόχος είναι η ανάπτυξη και η εδραίωση των υπηρεσιών Fiber-to-the- home (FTTH) οι οποίες θα καλύπτουν ανάγκες των χρηστών της τάξης των 100 Mb/s.

2.2 Οπτικές Τεχνολογίες

Η επεξεργασία της πληροφορίας και η μεταγωγή των οπτικών σημάτων κατά μήκος της οπτικής ίνας γίνεται σε ηλεκτρική μορφή. Παλιότερα το ίδιο συνέβαινε και με την ενίσχυση του οπτικού σήματος, το οποίο αφού μετατρεπόταν σε ηλεκτρικό, ενισχυόταν και στη συνέχεια μετατρεπόταν ξανά σε οπτικό προκειμένου να συνεχίσει η μετάδοσή του δια μέσου της οπτικής ίνας. Σήμερα όμως όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται σε οπτική μορφή με τη χρήση κατάλληλων διατάξεων όπως π.χ. οπτικοί ενισχυτές και φίλτρα με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης της οπτικής ζεύξης [13] [51].

Στην αρχή η τεχνολογία των οπτικών ινών χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών σημάτων ταχύτητας έως 560 Mbps. Στη συνέχεια όμως η διείσδυση των οπτικών ινών στα δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε με την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών, οι οποίοι επέτρεψαν την ενίσχυση σημάτων απευθείας σε οπτικό επίπεδο, κάτι που έδωσε την δυνατότητα υλοποίησης οπτικών δικτύων σε μεγάλες αποστάσεις. Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα οπτικών ινών δεν διαφέρει όσον αφορά τις βασικές αρχές λειτουργίες του σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβατικό. Στο σχήμα 2.2 [13], παρουσιάζεται ένα βασικό οπτικό σύστημα Τηλεπικοινωνιών.

Η μεταδιδόμενη πληροφορία, μετατρέπεται από την αρχική ηλεκτρική της μορφή σε οπτικό σήμα, το οποίο οδηγείται στη συνέχεια μέσω της οπτικής ίνας. Σε μερικά σημεία της διαδρομής είναι δυνατόν να δρομολογηθεί σε άλλα κανάλια εάν χρειάζεται, με τη βοήθεια διατάξεων (κυκλωμάτων) μεταγωγής. Στα πραγματικά συστήματα το οπτικό σήμα υφίσταται εξασθένιση κατά τη μετάδοση του, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται ίνες μεγάλου μήκους. Τα βασικά συστατικά που διαμορφώνουν την οπτική τεχνολογία είναι οι οπτικές ίνες, οι πομποί, οι ενισχυτές και οι δέκτες.



(σχ. 2.2) Βασικό Οπτικό Σύστημα Τηλεπικοινωνιών

2.2.1 Οπτικοί Πομποί

Ο ρόλος των οπτικών πομπών είναι να μετατρέπουν ένα ηλεκτρικό σήμα εισόδου σε αντίστοιχο οπτικό σήμα και κατόπιν να το εκπέμπουν στο εσωτερικό της οπτικής ίνας ,η όποια χρησιμεύει σαν κανάλι επικοινωνίας. Το κυριότερο εξάρτημα των οπτικών πομπών είναι η οπτική πηγή ,ενώ τα συστήματα επικοινωνίας οπτικών ινών συχνά χρησιμοποιούν οπτικές πηγές με ημιαγωγούς. Οι τύποι των οπτικών πηγών χωρίζονται σε κατηγορίες και μπορεί να είναι: [13]

α) Οι Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (LED), οι οποίοι παράγουν δεδομένα με χαμηλό ρυθμό και χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων σε μικρές αποστάσεις. Αποτελούν σχετικά αργές συσκευές, κατάλληλες για εφαρμογές με ταχύτητες χαμηλότερες από 1Gbps, ενώ εμφανίζουν ένα σχετικά ευρύ πλάτος φάσματος. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε επικοινωνιακές εφαρμογές πολύτροπων οπτικών ινών.

β) Τα Διοδικά laser, τα οποία παράγουν δέσμες φωτονίων μέσω της διέγερσης με ηλεκτρικό ρεύμα ιονισμένων υλικών. Οι δέσμες φωτονίων ενισχύονται με σύστημα καθρεπτών και στη συνέχεια εξέρχονται με τη μορφή

εστιασμένων ακτινών. Τα Lasers μπορούν να συντονιστούν, όσον αφορά το μήκος κύματος τους, με χρήση κατάλληλων μεθόδων. Τα μηχανικά συντονιζόμενα Lasers χρησιμοποιούν όλο το ωφέλιμο φάσμα (~100nm), αλλά ο χρόνος εναλλαγής καναλιών είναι της τάξης msec εξαιτίας των μηχανικών στοιχείων του συντονισμού. Τα ακουστοπτικά Lasers συνδυάζουν μέσο εύρος και μέσο χρόνο συντονισμού (~10μsec).

γ) Τα Laser ημιαγωγών, όπως τα Distributed-Feedback Laser (DFB) και Distributed-Bragg-Reflector (DBR) έχουν χρόνο συντονισμού μικρότερο των 10nsec ,αλλά έχουν περιορισμένο εύρος μήκους κύματος. Διαθέτουν κατάλληλα χαρακτηριστικά για εφαρμογές μονότροπης οπτικής ίνας.

Πλεονεκτήματα τεχνολογίας Laser	Πλεονεκτήματα τεχνολογίας Led
Μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής	Χαμηλότερο κόστος
Υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης (bit)	Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
Στενή δέσμη φωτός	Μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας
Ταιριάζει σε τύπο multimode/ single οπτικής ίνας	
Δεν υπόκειται σε χρωματική	

(σχ. 2.3) Πλεονεκτήματα τεχνολογιών laser και LED σε θέματα οπτικού πομπού

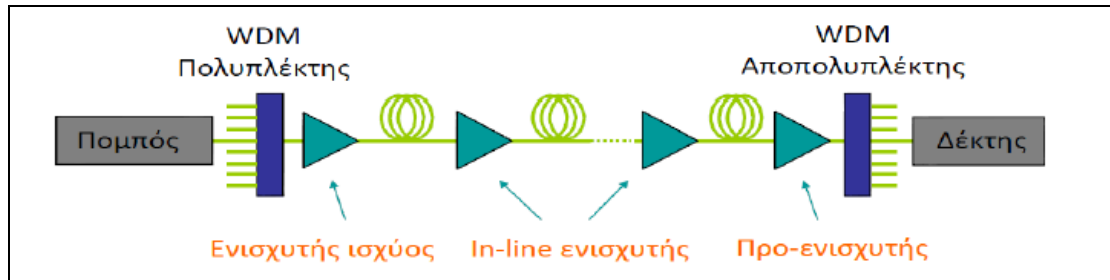
2.2.2 Οπτικοί ενισχυτές

Μετά από κάποιο σημαντικό διάστημα που έχει διανύσει ένα οπτικό σήμα κατά μήκος της ίνας, θα υπάρξουν και απώλειες της ισχύος κατά την διάδοση του μέσα σε αυτό το σύστημα επικοινωνιών, που σημαίνει ότι θα εξασθενήσει. Σε αυτό το σημείο, το σήμα πρέπει να ενισχυθεί.

Οι οπτικοί ενισχυτές ενισχύουν το οπτικό σήμα εισόδου, αλλά προσθέτουν -όπως όλοι οι ενισχυτές- θόρυβο. Παραδοσιακά, ένα οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό, ενισχύεται ηλεκτρικά και μετατρέπεται πάλι πίσω σε οπτικό. Η ανακάλυψη των οπτικών ενισχυτών, που ενισχύουν το σήμα μόνο σε οπτικό επίπεδο βοήθησε στην αποφυγή συμφορήσεων στις μεταδόσεις.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες οπτικών ενισχυτών, όπως π.χ. ο ενισχυτής ισχύος, ο ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) που χαρακτηρίζεται από χαμηλό θόρυβο και ο προ-ενισχυτής (pri-amplifier) που χαρακτηρίζεται

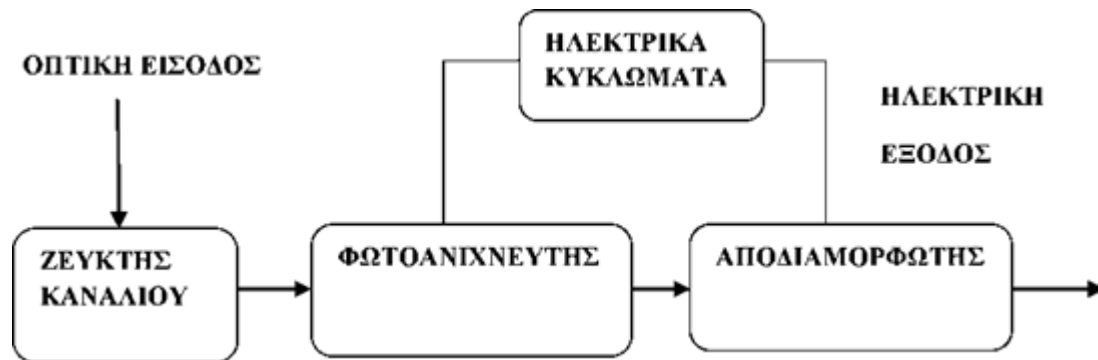
επίσης από χαμηλό θόρυβο και υψηλό κέρδος. Στο σχήμα 2.4 [12], φαίνεται η κατηγοριοποίηση των οπτικών ενισχυτών:



(σχ. 2.4) Κατηγοριοποίηση ενισχυτών

2.2.3 Οπτικοί Δέκτες

Στην απέναντι πλευρά από τον πομπό βρίσκεται ο δέκτης (receiver). Ο ρόλος ενός οπτικού δέκτη είναι να μετατραπεί το οπτικό σήμα πάλι σε ηλεκτρικό και να ανακτά τις πληροφορίες που έχουν μεταδοθεί μέσω ενός οπτικού συστήματος (σχήμα 2.5). Το βασικό του εξάρτημα είναι ένας φωτοανιχνευτής που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικό παλμό μέσω φωτοηλεκτρικού φαινομένου. [12]



(σχ. 2.5) Τμήματα του οπτικού δέκτη

Οι απαιτήσεις για έναν φωτοανιχνευτή είναι όμοιες με εκείνης μιας οπτικής πηγής. Θα πρέπει να έχει μεγάλη ευαισθησία, γρήγορη απόκριση, χαμηλό θόρυβο, χαμηλό κόστος και μεγάλη αξιοπιστία, ενώ ζητούμενο είναι επίσης το μήκος κύματος που αναγνωρίζει ο δέκτης να είναι παρόμοιο με αυτό που στάλθηκε από τον πομπό.

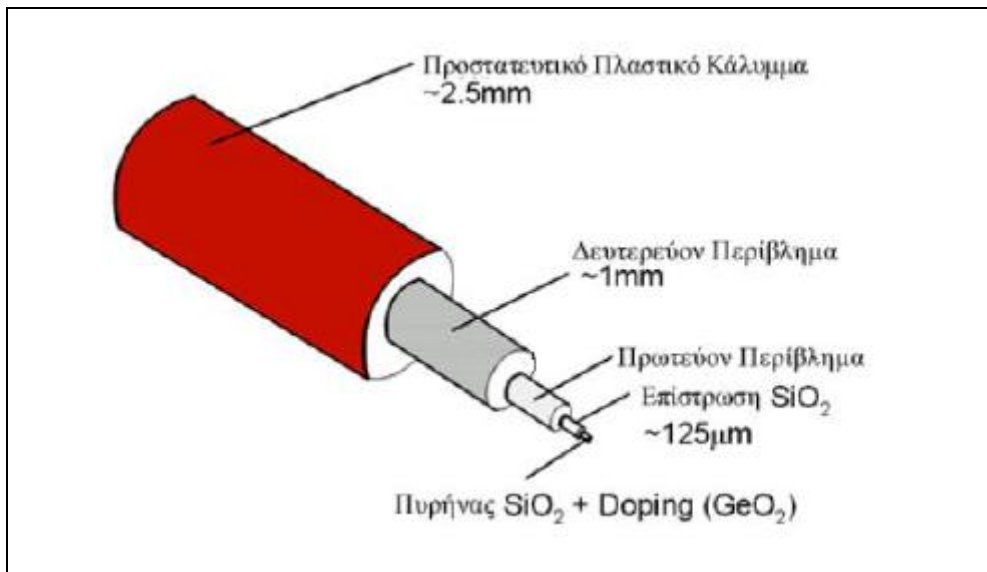
Σημαντικά χαρακτηριστικά είναι το ποσοστό λάθους ψηφίων (BER - Bit Error Rate) για τα ψηφιακά συστήματα, που είναι το ποσοστό λαθών μεταξύ πομπού και δέκτη, η αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR - Signal to Noise Ratio) για τα αναλογικά συστήματα, που δηλώνει την ισχύ του σήματος σε σχέση με το θόρυβο, ο κορεσμός (saturation), που δείχνει τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να δεχθεί, καθώς υπερβολική ισχύς σημαίνει παραμόρφωση στο σήμα και η ευαισθησία (sensitivity) που είναι η ελάχιστη ισχύς που πρέπει να υπάρχει σε ένα εισερχόμενο σήμα.

Τέλος, οι οπτικοί δέκτες μπορεί να είναι παθητικοί (passive), ενεργοί (active) και διόδου Laser (Laser-diode-amplifier-based). Το πλεονέκτημα των παθητικών δεκτών είναι ότι μπορούν να πετύχουν υψηλή ανάλυση. Το μειονέκτημα τους είναι οι σημαντικές απώλειες και ο μεγάλος χρόνος συντονισμού (της τάξεως msec) καθώς στην κατασκευή τους περιλαμβάνουν μηχανικά στοιχεία. Οι ενεργοί και οι διόδου Laser δέκτες, μπορούν να συντονιστούν με μεγαλύτερες ταχύτητες (της τάξεως nsec) έχοντας όμως μικρότερη ανάλυση με αποτέλεσμα να μπορούν να συντονιστούν σε λιγότερα κανάλια.

2.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά οπτικών ινών

Η οπτική ίνα είναι ένας γυάλινος κυματοδηγός κυλινδρικής διατομής στον οποίο έχουμε μετάδοση φωτός, ενώ κάποιες φορές είναι κατασκευασμένη και από υψηλής διαύγειας πλαστικό.

Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός είναι πάντα ευθύγραμμη, εφόσον δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και αποτελεί μία ακτίνα φωτός. Πολλές ακτίνες μαζί συγκροτούν μια δέσμη φωτός. Οι δέσμες φωτός με τη σειρά τους εσωτερικά ανακλώμενες μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις αφού ισχύει η αρχή της φυσικής: «Όταν μία ακτίνα φωτός περνά από το ένα μέσο σε άλλο, π.χ. από γυαλί σε αέρα η ακτίνα διαθλάται στη διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού/αέρας». Έτσι λοιπόν, για τα κύματα του φωτός, ισχύουν τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης, όταν αυτά προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων. Η ακτίνα φωτός, που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας. Στην επόμενη εικόνα, φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας [14].



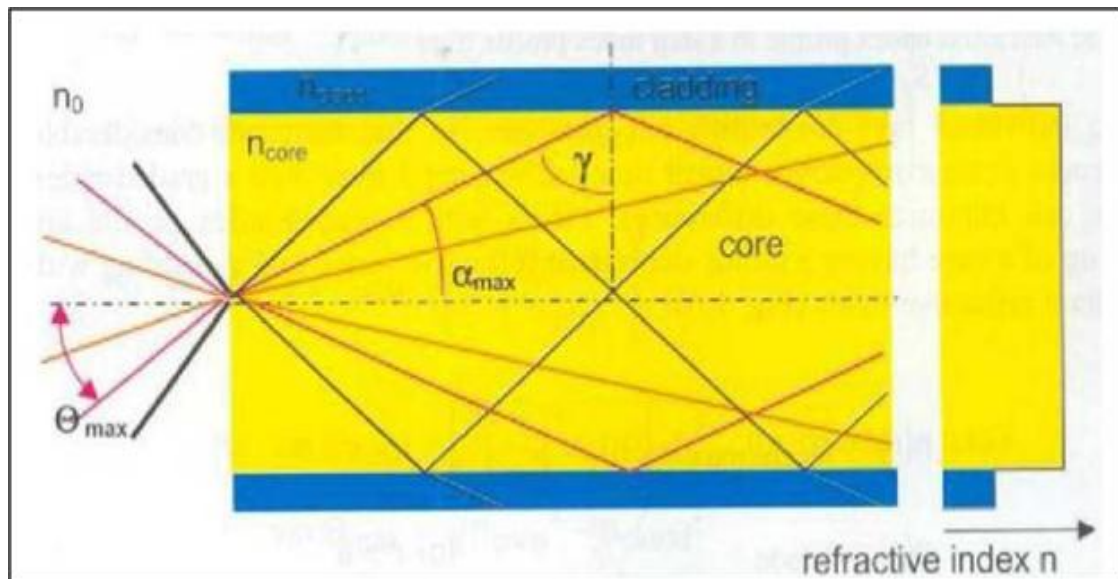
(σχ. 2.6) Τυπική δομή οπτικής ίνας

Μπορεί κάποιος να φανταστεί την οπτική ίνα σαν ένα οδηγό για το φως. Τα συστατικά μέσα σε μια οπτική ίνα αποτελούνται από υλικά διαφορετικών δεικτών διάθλασης ώστε να περιορίζουν - οδηγούν το φως. Η οπτική ίνα τοποθετείται μέσα σε ένα καλώδιο (καλώδιο οπτικής ίνας) ώστε να της παρέχεται μηχανική και περιβαλλοντική προστασία, καθώς είναι ευαίσθητη και μπορεί να σπάσει εύκολα.

Η φωτεινή αυτή δέσμη οδεύει, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας, από το ένα προς το άλλο άκρο. Η επιτυχία της μετάδοσης αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα. Βασική προϋπόθεση για να συμβεί η ολική ανάκλαση είναι ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού υλικού να είναι μικρότερος του εσωτερικού. Η ποσότητα διάθλασης εξαρτάται από τις ιδιότητες των δύο μέσων.

Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, το φως διαθλάται πίσω στο γυαλί και δεν διαφεύγει στον αέρα. Συνεπώς μια ακτίνα φωτός προσπίπτουσα με γωνία ίση ή μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής παγιδεύεται εντός της ίνας. Με αυτό τον τρόπο η ακτίνα μπορεί να διαδοθεί για πολλά χιλιόμετρα, με σχεδόν μηδενική απώλεια. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να διαδίδονται πολλές διαφορετικές ακτίνες αρκεί να στέλνονται με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και η γωνία αυτή να είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης [14].

Ο τρόπος διέλευσης της ακτίνας μέσα από την οπτική ίνα παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί:

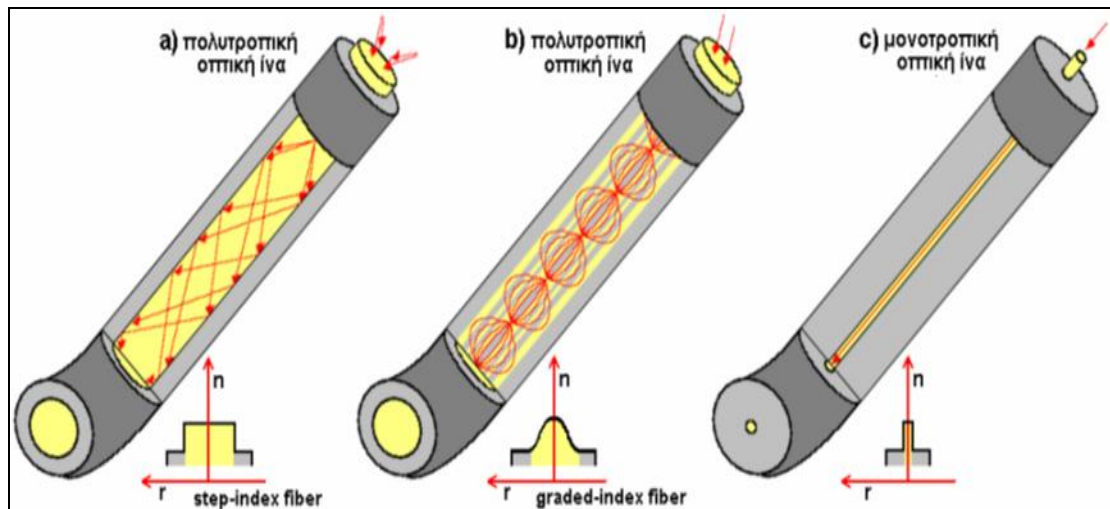


(σχ. 2.7) Οδήγηση οπτικού σήματος στην οπτική ίνα

Οι οπτικές ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, από τον τρόπο που μεταδίδεται το σήμα σε αυτές. Υπάρχουν πολλές γωνίες με τις οποίες το φως μπορεί να εισέλθει σε μία οπτική ίνα και να δημιουργήσει διαφορετικές γωνίες προσβολής της επικάλυψης, οι οποίες αναφέρονται και ως τρόποι (modes). Ο αριθμός των τρόπων (modes) αυξάνει καθώς αυξάνει η διάμετρος του πυρήνα. Οι μονότροπες (single-mode) οπτικές ίνες έχουν συνήθως διάμετρο πυρήνα περίπου 10μm, ενώ οι πολύτροπες 50-100μm (σχήμα 2.8).

Οι μονότροπες οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τις πολύτροπες δεν διαχέουν τη δέσμη φωτός αλλά απαιτούν συγκέντρωση φωτός μεγάλης έντασης σε πυρήνα μικρής διαμέτρου, γεγονός που απαιτεί τη χρήση Laser. Η διάμετρος δηλαδή του πυρήνα να είναι στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου οπτικού σήματος. Αναφέρεται επίσης και σαν ομοαξονική μετάδοση.[14]

Όσο για τις πολύτροπες ίνες, υπάρχει ένας επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους και πιο συγκεκριμένα με το αν η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως μεταξύ του πυρήνα και της επικάλυψης είναι απότομη (step index) ή είναι βαθμιαία όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του πυρήνα της ίνας (graded index). Οι τρόποι διάδοσης του οπτικού σήματος σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις φαίνονται στο (Σχήμα 2.8).



(σχ. 2.8) Τύποι οπτικών ινών και τρόποι μετάδοσης

2.3 Ισολογισμός ισχύος και Τεχνικές Πολυπλεξίας

Για να αντιμετωπίσουμε τις απώλειες που υπεισέρχονται λόγω της οπτικής ίνας αλλά και των διάφορων στοιχείων ενός δικτύου θα πρέπει να κάνουμε ισολογισμό ισχύος (power budget) της ζεύξης. Ο υπολογισμός αυτός καθορίζει διάφορες κρίσιμες παραμέτρους του δημιουργούμενου συστήματός όπως το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόγχου, την ισχύ εκπομπής των οπτικών πηγών (άρα τόσο το κόστος αγοράς αυτών, όσο και την κατανάλωση ρεύματος εκ μέρους τους), την απαιτούμενη ευαισθησία του δέκτη κ.τ.λ.

Το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας μπορεί να υποστηρίξει μετάδοση αρκετών Tbps, αλλά και τα ηλεκτρονικά συστήματα δεν έχουν λειτουργίας μεγαλύτερη από μερικές δεκάδες Gbps (το όριο των ηλεκτρονικών συστημάτων φαίνεται να μην υπερβαίνει τα 80Gbps), οπότε και βρίσκονται 2 τάξεις μεγέθους κάτω από την ταχύτητα της οπτικής ίνας. Αυτό ακριβώς το γεγονός αναγκάζει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές πολυπλεξίας.

A. Πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM)

Η πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM) αποτελεί μια αξιόπιστη τεχνική για την αύξηση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης μέσα σε μία οπτική ζεύξη καθώς και την αποδοτικότερη διαχείριση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η συγκεκριμένη πολυπλεξία παρέχει συμβατότητα μεταξύ του εύρους ζώνης του οπτικού μέσου (οπτική ίνα) και του εύρους ζώνης του τερματικού εξοπλισμού που απαρτίζεται κυρίως από ηλεκτρονικές διατάξεις. Η ιδέα της χρήσης των συστημάτων WDM σε μητροπολιτικά δίκτυα κορμού (regional WDM systems) είναι σχετικά νέα. Επιτρέποντας την μεταφορά των απλών WDM καναλιών

πάνω από μία οπτική ίνα, επιτυγχάνεται πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα είναι ευκολότερο να υλοποιηθούν τα δομικά στοιχεία των δικτύων WDM, επειδή υποστηρίζουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ανά κανάλι [15].

Β. Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (DWDM)

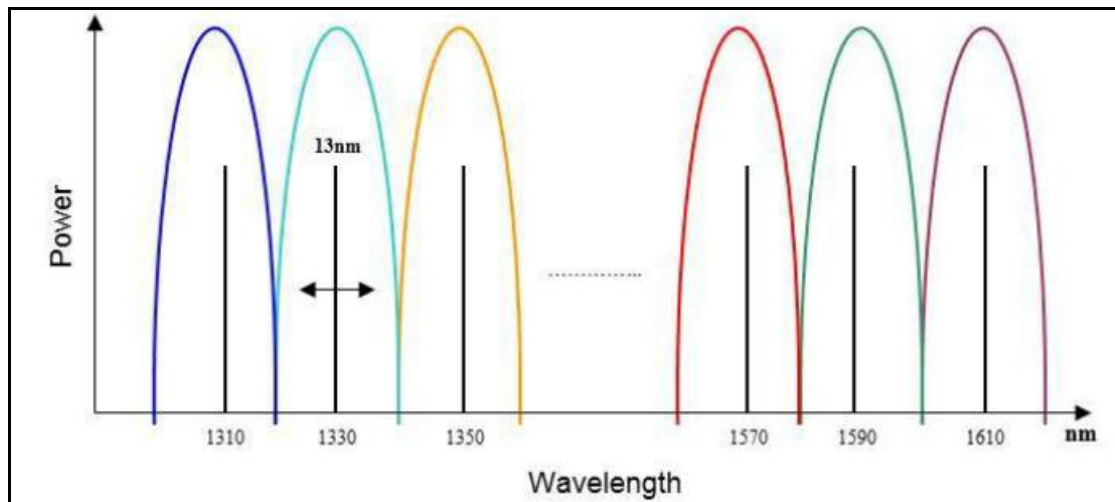
Ενώ στην τεχνολογία WDM είναι εφικτή μόνο η παράλληλη μετάδοση δεδομένων σε δύο μήκη κύματος με μεγάλο διάστημα μεταξύ τους και με μικρές σχετικά αποστάσεις διάδοσης του σήματος, οι εξελίξεις στην τεχνολογία των οπτικών φίλτρων, έκαναν εφικτή την πολύπλεξη περισσότερων από δύο μηκών κύματος ανά ίνα. [15]

Αυτό οδήγησε στην τεχνολογία της πυκνής πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Dense wavelength division multiplexing - DWDM) που επιτρέπει μετάδοση video, πολυμέσων, δεδομένων και φωνής πάνω στην οπτική ίνα. Η ικανοποίηση της ανάγκης των χρηστών για υψηλό εύρος ζώνης θα πρέπει να συνοδεύεται απαραίτητα κι από τη βελτίωση των δικτύων των Παρόχων Υπηρεσιών Διαδικτύου. Τα DWDM συστήματα προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα με αυξημένο κόστος και έτσι χρησιμοποιούνται συνήθως για τη κατασκευή μητροπολιτικών δικτύων και όχι δικτύων πρόσβασης. Σήμερα ωστόσο, είναι διαθέσιμες διάφορες τεχνολογίες οπτικής δικτύωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Για παράδειγμα, τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων υιοθετούν τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον, για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη αστικών κέντρων μεταξύ απομακρυσμένων πόλεων (οι ενδεικτικές αποστάσεις ξεπερνούν τα 600 χλμ.).

Γ. Πολυπλεξία μήκους κύματος ευρύτερων διαστημάτων (CWDM)

Ονομάζεται Coarse Wavelength Division Multiplexing –CWDM και είναι μία μορφή πολυπλεξίας που εμφανίζει μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φερόντων μηκών κύματος σε σχέση με την DWDM. Χρησιμοποιεί διαφορετικά μήκη κύματος (χρώματα) του φωτός για την εκτέλεση κάθε επιμέρους σήματος και παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στην αγορά λόγω του χαμηλότερου κόστους και της απλότητας στον σχεδιασμό της. Ακολουθεί την WDM αρχιτεκτονική με μεγαλύτερα όμως διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος και υλοποιείται πάνω από μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες με χαμηλότερες δαπάνες.

Τα σύγχρονα CWDM συστήματα χρησιμοποιούν μόλις 18 κανάλια, τα οποία βρίσκονται μεταξύ των ορίων 1270 nm - 1610 nm και η απόσταση μεταξύ των καναλιών είναι 20 nm (ως απόσταση ορίζεται η διαφορά των κεντρικών συχνοτήτων των δύο καναλιών, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα [16]).



(σχ 2.9) Κατανομή CWDM καναλιών

Λόγω της απόστασής τους, τα κανάλια επηρεάζουν ελάχιστα τα γειτονικά κανάλια, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα χρήσης φθηνών οπτικών στοιχείων, όπως laser, φωτοδιόδοι κλπ. Η δυνατότητα της παροχής πολλαπλών μηκών κύματος με λογικό κόστος οδηγεί τις εταιρείες παροχής υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών να την επιλέγουν. Από την άλλη μεριά, το βασικότερο μειονέκτημα της CWDM τεχνικής είναι ότι λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ των καναλιών δεν μπορεί να γίνει μαζική ενίσχυση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα είτε να μην γίνεται ενίσχυση και να περιορίζεται η απόσταση σε μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, είτε να ενισχύονται χωριστά τα κανάλια, κάτι που ανεβάζει όμως κατακόρυφα το κόστος του δικτύου.

	Coarse WDM	Wide-WDM	DWDM
Απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων	Μεγάλη, από 1,6nm έως 25 nm	1310 nm και 1550 nm laser	Μικρή, 200GHz και μικρότερη
Αριθμός παραθύρων	O,E,S,C και L	OC	CL
Κόστος ανά κανάλι	χαμηλό	χαμηλό	υψηλό
Αριθμός καναλιών	17 - 18	2	Μεγάλος αριθμός
Εφαρμογές	Short-haul,metro	Passive Optical Networks	Long-Haul

(σχ. 2.10) Σύγκριση μορφών Πολυπλεξίας

Κεφάλαιο 3ο

Ανάλυση Δικτύων FTTX

Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης επεκτείνεται ολοένα και περισσότερο. Οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες που είναι υλοποιημένες αυτή τη στιγμή είναι η DSL (Digital Subscriber line - Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή) και η τεχνολογία καλωδιακών μόντεμ (cable modem). Επίσης, τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης έχουν ένα σημαντικό μερίδιο. Η πιο πρόσφατη τεχνολογία DSL, που είναι το VDSL, παρέχει ασυμμετρικές ταχύτητες μέχρι 6 και 52 Mbps στην αποστολή και λήψη από το χρήστη αντίστοιχα ή συμμετρικές ταχύτητες μέχρι 26 Mbps. Ωστόσο, η απόσταση περιορίζει την τεχνολογία DSL, αφού για μεγάλες αποστάσεις η ταχύτητα μειώνεται. Τα καλωδιακά μόντεμ από την άλλη με το πρότυπό τους DOCSIS 2.0 μπορούν να παρέχουν ταχύτητες 30 και 40 Mbps για αποστολή και λήψη από το χρήστη. Ωστόσο, χάρη στην τεχνολογία του συστήματος που βασίζεται στην εκπομπή (broadcast), το εύρος αυτό διανέμεται μεταξύ ομάδας συνδρομητών. Τέλος, στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, η ταχύτητα μπορεί να είναι συμμετρική μέχρι 134.4 Mbps. Η τεχνολογία τους είναι το WiMax, ωστόσο το πρότυπο ορίζει οπτική επαφή στα δίκτυα αυτά (line of sight). Στα ασύρματα δίκτυα χωρίς οπτική θέα, η ταχύτητα περιορίζεται στα 75 Mbps. Έτσι, όπως και πριν το εύρος μοιράζεται μεταξύ ομάδων συνδρομητών.

Σε αυτό το σημείο υπεισέρχονται με ολοένα αυξανόμενους ρυθμούς τα FTTx δίκτυα (Fiber to the x), όπως θα ονομάζουμε στο εξής τα δίκτυα πρόσβασης των πελατών με χρήση οπτικών ινών, που παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Κάποια επιπλέον κίνητρα για την ανάπτυξη των FTTx δικτύων είναι:

A) Διαθεσιμότητα και ανεξαρτησία όσον αφορά το ξετύλιγμα τοπικού βρόχου (**Local Loop Unbundling - LLU**) ειδικά σε μελλοντικά ανεπτυγμένες περιοχές.

B) Βελτίωση και σταθεροποίηση των δικτύων πρόσβασης.

Γ) Ανταγωνιστική απειλή απέναντι στις τεχνολογίες των τωρινών παραδοσιακών δικτύων πρόσβασης.

Δ) Ανάγκη για πολύ υψηλή και συμμετρική ταχύτητα στη μετάδοση δεδομένων. Το εύρος των σύγχρονων εφαρμογών όπως για παράδειγμα η τηλεδιάσκεψη έχουν απαίτηση για υψηλές ταχύτητες τόσο στη λήψη (download) όσο και στην αποστολή (upload) δεδομένων. Τα σημερινά δίκτυα υστερούν κυρίως ως προς την αποστολή κάτι που λύνεται με τη συμμετρικότητα των FTTx δικτύων.

Τέλος, βασικός λόγος που οδήγησε στην χρήση οπτικών δικτύων είναι και το υψηλό κόστος του χαλκού σε συνδυασμό με τις ανάγκες των χρηστών για μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Έτσι λοιπόν, τα κύρια χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα καλώδια οπτικών ινών από τα προηγούμενα είδη καλωδίων είναι το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, το μικρό μέγεθος και βάρος τους, η μικρή εξασθένηση σήματος, η μεγάλη προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και τέλος η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των οπτικών επαναληπτών (optical repeaters).

3.1 Κατηγορίες δικτύων FTTx

Στα FTTx δίκτυα, το “x” αναφέρεται στην τοποθεσία όπου καταλήγει το τελικό σημείο της οπτικής ίνας κοντά στον πελάτη. Το σημείο αυτό είναι η οπτικο-ηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται μέσα σε κάποιο είδος εξοπλισμού μετάδοσης, που ονομάζεται **Οπτική Μονάδα Δικτύου (Optical Network Unit - ONU)** ή **Οπτικό Τερματικό Δικτύου (Optical Network Terminal - ONT)**. Τα ONU και ONT ωστόσο δεν είναι ακριβώς ίδια, αφού το ONU χρησιμοποιείται όταν η οπτική ίνα καταλήγει σε τηλεπικοινωνιακές καμπίνες (cabinets), ενώ το ONT όταν η ίνα φτάνει μέχρι μέσα στο κτίσμα του πελάτη.[51]

Έτσι, για τα FTTH (οπτική ίνα μέχρι το σπίτι) μιλάμε πάντα για ONT στο άκρο της οπτικής ίνας του δικτύου. Το εναρκτήριο σημείο για τα δίκτυα πρόσβασης/ FTTX δίκτυα βρίσκεται μέσα στο **Κεντρικό Γραφείο (CO)**, που πολλές φορές αναφέρεται σαν σημείο παρουσίας του FTTX (POP). Ουσιαστικά, ορίζοντας τις διάφορες παραλλαγές του FTTX, ορίζεται και το τελικό σημείο που φτάνει η οπτική ίνα. Οι πιο σημαντικές παραλλαγές περιγράφονται παρακάτω:

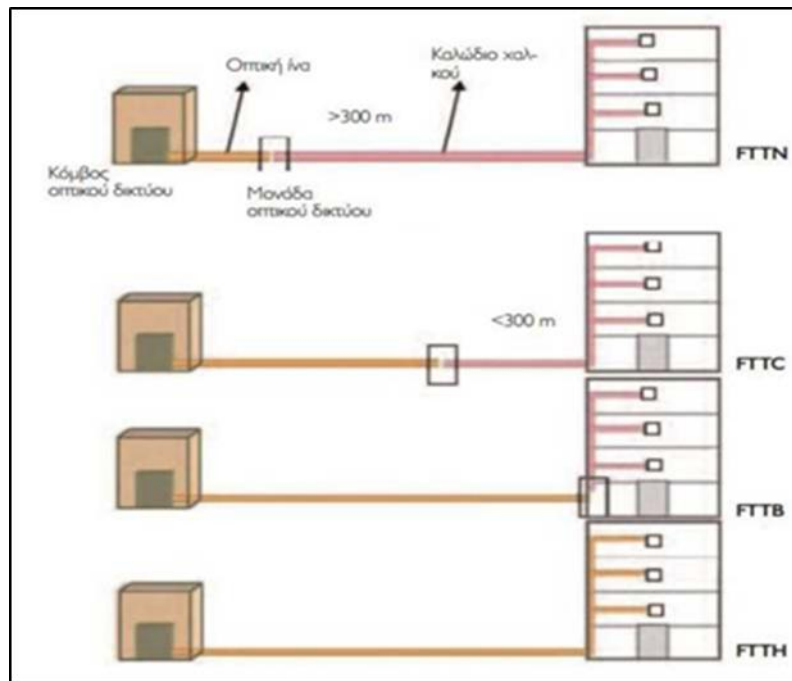
- **FTTH** (Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι - Fiber to the home): υποδηλώνει την πλήρη ανάπτυξη ινο-οπτικού δικτύου μέχρι την ιδιοκτησία του συνδρομητή, όπου και τοποθετείται η τερματική οπτικοηλεκτρική διάταξη για τη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό.

- **FTTB** (Οπτική ίνα μέχρι το κτίριο - Fiber to the building): η ίνα τερματίζει σε κατάλληλο χώρο κοντά στην είσοδο μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων και από εκεί οι συνδρομητές εξυπηρετούνται με την εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου.

- **FTTC** (Οπτική ίνα μέχρι το διακλαδωτή - Fiber to the cabinet ή curb): η ίνα φθάνει μέχρι τον υπαίθριο κατανεμητή (τηλεπικοινωνιακή καμπίνα

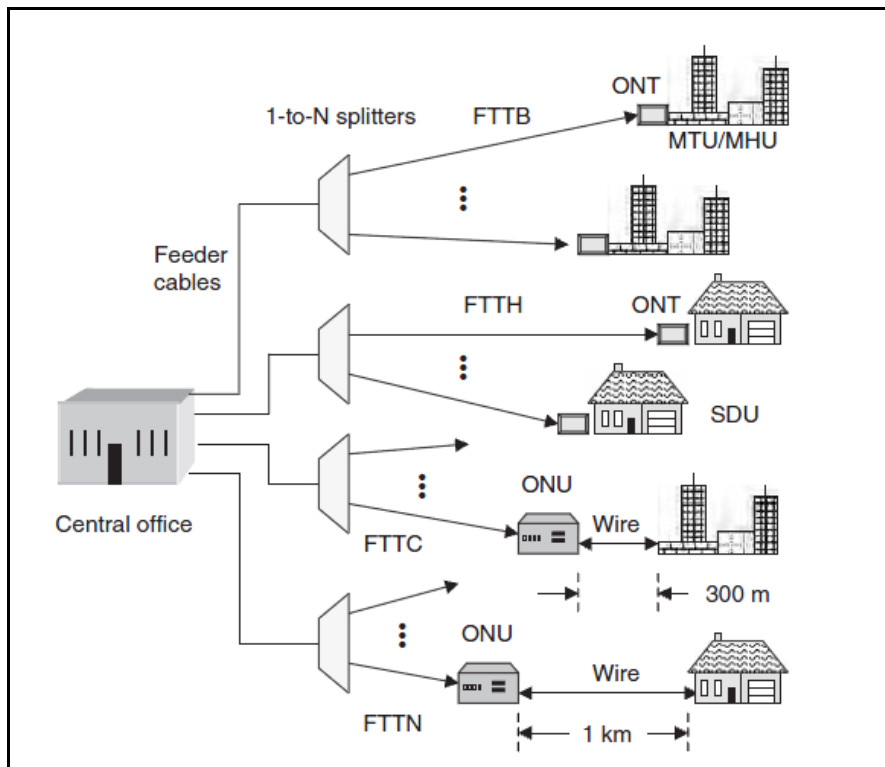
– ΚΑΦΑΟ) και οι συνδρομητές εξυπηρετούνται από εκεί με το υπάρχον δίκτυο χαλκού.

- **FTTN** (Οπτική ίνα μέχρι το κόμβο - Fiber To The Node ή Fiber To The Neighborhood): Μοιάζει με το FTTC, όμως η οπτική ίνα καταλήγει να βρίσκεται σε πιο μακρινή απόσταση από την κατοικία και συγκεκριμένα έως και αρκετά χιλιόμετρα.



(σχ. 3.1) Αρχιτεκτονικές Δικτύων FTTX [17]

Ο βασικός παράγοντας διαφοροποίησης των ανωτέρων αρχιτεκτονικών είναι το σημείο τερματισμού της οπτικής ίνας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο κοντά φτάνει στο συνδρομητή, τόσο περισσότερο αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματά της. Σε όλες τις αρχιτεκτονικές εκτός της FTTH, χρησιμοποιείται ως υλικό ο χαλκός, ο οποίος περιορίζει τις δυνατότητες του δικτύου [17].



(σχ. 3.2) Διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις μονάδες και τα τερματικά δικτύων

3.2 Αρχιτεκτονικές και τοπολογίες FTTx δικτύων

Οι αρχιτεκτονικές στα FTTH δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε 2 βασικές κατηγορίες: Την αρχιτεκτονική Home Run, όπου υπάρχει για κάθε κατοικία μια αφιερωμένη ίνα μέχρι το κεντρικό γραφείο (CO) και τις αρχιτεκτονικές αστέρα (STAR), όπου πολλά σπίτια μπορούν να μοιράζονται την ίδια οπτική ίνα τροφοδοσίας από το κεντρικό γραφείο μέχρι ένα σημείο - απομακρυσμένο κόμβο, στο οποίο γίνεται μεταγωγή, πολυπλεξία ή διαχωρισμός (μπορεί και συνδυασμός τους). Το σημείο αυτό βρίσκεται μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των σπιτιών των πελατών. Η star αρχιτεκτονική μπορεί να είναι είτε ενεργός (active) ή παθητική (passive), ανάλογα με το αν ο απομακρυσμένος κόμβος τροφοδοτείται από ρεύμα (ενεργός) ή όχι (παθητική). Επιπλέον, όπως θα δούμε και μετά στην παθητική αρχιτεκτονική μπορούν να είναι είτε απλά συστήματα μήκους κύματος (όλα τα σπίτια θα συνδέονται στο ίδιο μήκος κύματος δηλαδή) ή συστήματα με πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM).

Επίσης, σπανιότερα, εκτός από τους δύο παραπάνω τύπους αρχιτεκτονικών, υπάρχει κι αυτή του δακτυλίου (ring), η οποία επιτρέπει την κοινή χρήση οπτικού μέσου το οποίο συνδέει χρήστες ή/και παρόχους ή/και εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Ο διαχωρισμός των κινήσεων μπορεί να

γίνει είτε με παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας στο φυσικό επίπεδο όπως WDM (passive rings) είτε με ενεργά στοιχεία (active rings). [18]

Ανεξάρτητα από την αρχιτεκτονική, τα καλώδια τροφοδοσίας οπτικών ινών (feeder cables) τερματίζουν στο κεντρικό γραφείο πάνω σε μια **μονάδα τερματισμού οπτικών γραμμών (Optical Line Termination - OLT)**. Ο εξοπλισμός του κεντρικού γραφείου σχεδιάζεται για να υποστηρίξει διάφορους τύπου διασυνδέσεων του επιπέδου συνδέσμου δεδομένων, όπως π.χ. 100FX Fast Ethernet, SONET, ATM, Gigabit Ethernet. [18]

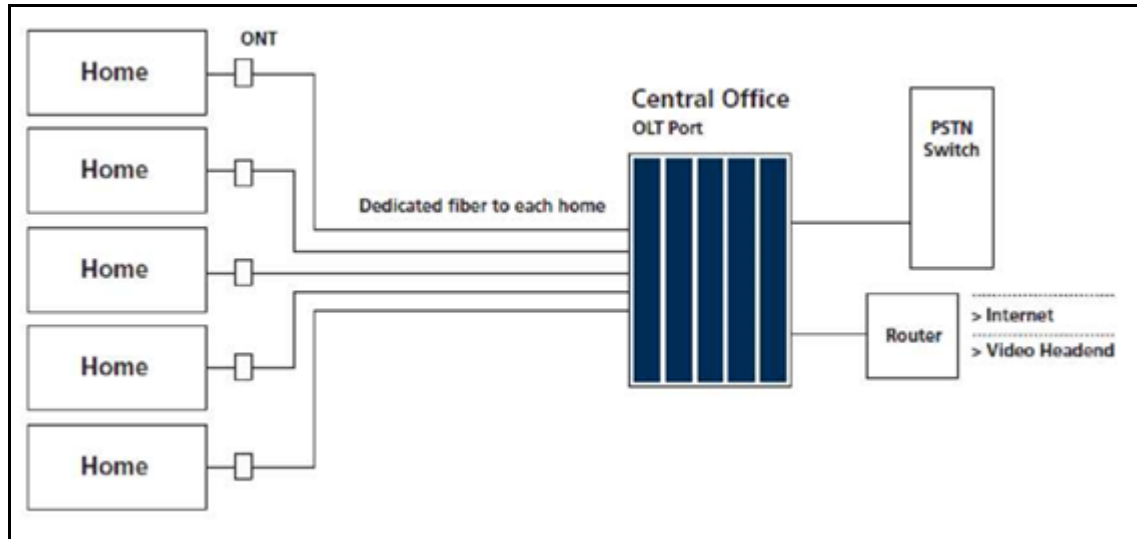
Στην πλευρά του χρήστη υπάρχει ο εξοπλισμός του κτιρίου του πελάτη (CPE – customer personal equipment), που περιλαμβάνει την **Οπτική Μονάδα Δικτύου (ONU)** ή **Οπτικό Τερματικό Δικτύου (ONT)**. Τα καλώδια που φτάνουν μέχρι μέσα στο σπίτι (είτε σε ONT ή ONU) λέγονται τελικά καλώδια/ καλώδια πρόσβασης (drop cables), ενώ τα καλώδια που φτάνουν μέχρι ένα σημείο εκτός των σπιτιών και ουσιαστικά κάνουν διανομή του δικτύου λέγονται καλώδια διανομής (distribution cables). [18]

3.2.1 Home Run – P2P Δίκτυα

Η **Home Run** αρχιτεκτονική (αλλιώς αναφέρεται και σαν από σημείο σε σημείο αρχιτεκτονική - point to point/ **P2P** ή σαν single star) αποτελείται από οπτικές ίνες που είναι αποκλειστικές για τους συνδρομητές από το κεντρικό γραφείο μέχρι τις κατοικίες τους στα ONTs. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι ακριβή, γιατί απαιτεί σημαντικά περισσότερη οπτική ίνα αλλά και περισσότερο ενεργό εξοπλισμό - OLT - στο κεντρικό γραφείο (συγκεκριμένα μία OLT θύρα για κάθε σπίτι ή δύο αν δεν υπάρχει τεχνολογία WDM), σε σχέση με τις διαμοιραζόμενες υποδομές που θα δούμε μετά. Οι συνδρομητές μπορούν να βρίσκονται σε απόσταση μέχρι και 80 χιλιόμετρα από το κεντρικό γραφείο. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι αρκετά ελκυστική σε σχέση με τις υπόλοιπες για το χρήστη, αλλά με υψηλά κόστη, λόγω των πολλών ανεξάρτητων καλωδίων ινών, κάνοντας το δίκτυο μερικές φορές άβολο και ακριβό στη συντήρηση. Σε έρευνα που έγινε [19], το κόστος για τερματισμό οπτικών ινών σε CO είναι \$22,600.

Σε μια τοπολογία Home Run, οι διαδρομές του δικτύου μπορούν να αποτελούνται από πολλαπλά τμήματα καλωδίων ινών, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με συνδετήρες (connectors) ή με μόνιμες συνδέσεις (splices). Ωστόσο, το μονοπάτι από το κεντρικό γραφείο έως τις κατοικίες των συνδρομητών πάντα είναι συνεχές και δε διακόπτεται σε κάποιο σημείο του δικτύου. Οι συνδρομητές μπορούν να βρίσκονται σε απόσταση μέχρι και 80 χιλιόμετρα από το κεντρικό γραφείο.

Σε ένα τέτοιο σύστημα οπτικής πρόσβασης που κάνει χρήση του πρωτοκόλλου Ethernet και διατίθεται μια οπτική ίνα WDM, (για την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσα από την ίδια ίνα) το εύρος του κύματος για την λήψη από το χρήστη είναι 1480 - 1580 nm και για την αποστολή 1260 - 1360.



(σχ. 3.3) Home Run Τοπολογία [20]

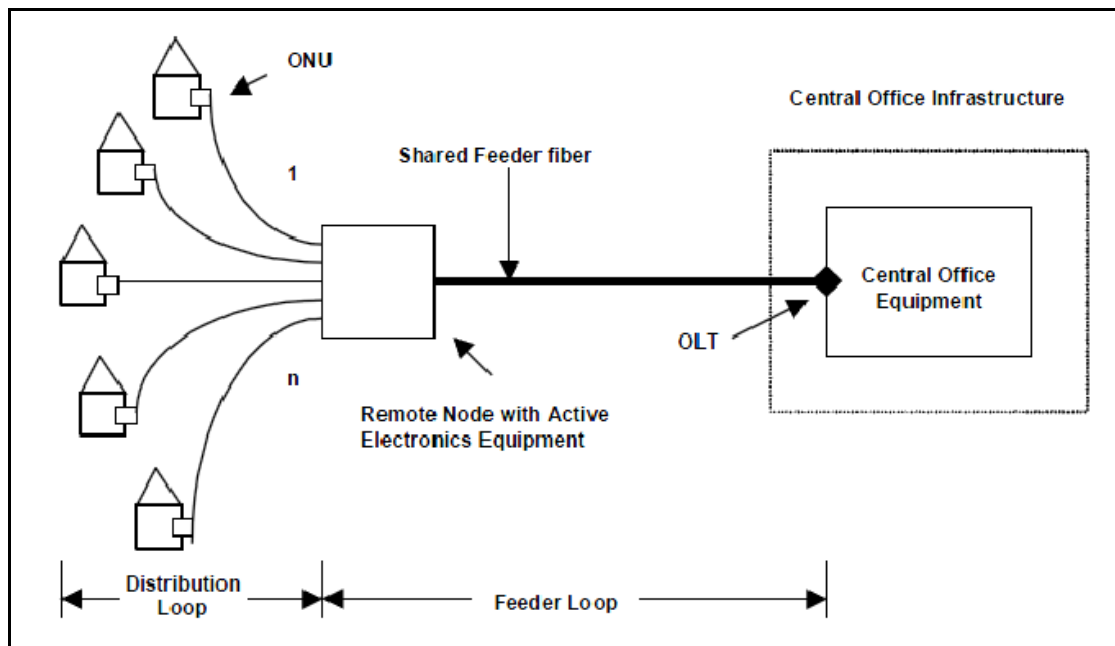
3.2.2 Active Star – AON Δίκτυα

Η αρχιτεκτονική αστέρα (star) είναι μια προσπάθεια να μειωθεί συνολικά το πλήθος των οπτικών ινών και ειδικότερα των καλωδίων οπτικών ινών τροφοδοσίας (feeder), που βρίσκονται κοντά στο κεντρικό γραφείο. Σε μια αρχιτεκτονική αστέρα, ένας απομακρυσμένος κόμβος (remote node - RD) τοποθετείται μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των κατοικιών των πελατών. Κάθε θύρα OLT μαζί με τα καλώδια τροφοδοσίας (feeder) οπτικής ίνας μπορούν για παράδειγμα να μοιράζονται από 4 έως 1000 σπίτια (δηλαδή ο λόγος 4:1000 θα είναι ο λόγος διαχωρισμού - split ratio), μέσω αποκλειστικών καλωδίων διανομής (distribution) από τους απομακρυσμένους κόμβους.

Όταν ο απομακρυσμένος κόμβος περιέχει ενεργές συσκευές Ethernet/IP, όπως πολυπλέκτες, αποπολυπλέκτες ή μεταγωγείς, τότε η αρχιτεκτονική λέγεται ενεργού αστέρα (Active Star) και τα αντίστοιχα δίκτυα ενεργά οπτικά δίκτυα (Active Optical Network - AON). Ο απομακρυσμένος κόμβος, καθώς περιέχει τέτοιες συσκευές, θα πρέπει να έχει συνεχή παροχή ρεύματος. Σε αυτόν πραγματοποιούνται οπτικο-ηλεκτρονικές μετατροπές. Αφού το εύρος ζώνης των καλωδίων τροφοδοσίας μοιράζεται μεταξύ πολλαπλών τελικών σημείων, η μέγιστη χωρητικότητα που θα είναι διαθέσιμη σε κάθε χρήστη - τόσο για αποστολή και λήψη - είναι σαφώς μικρότερη για τα AON οπτικά

δίκτυα σε σχέση με τα Home Run. Συνήθως, ένας απομακρυσμένος κόμβος μπορεί να υποστηρίξει από 16 έως 1000 κατοικίες.

Χρησιμοποιείται Ethernet και ενεργός εξοπλισμός, που υποστηρίζουν ταχύτητες 100 Mbps και 1 Gbps. Παρόμοια με το Home Run, στα καλώδια μετά τον ενεργό εξοπλισμό και προς τις κατοικίες, μπορεί να υπάρχει μια οπτική ίνα για αποστολή και λήψη ή ένα ζευγάρι ινών. Για το ζεύγος ινών, η μετάδοση γίνεται σε εύρος ζώνης 1260 - 1360 nm μήκος κύματος. Σε απλή οπτική ίνα, για την αποστολή από τους χρήστες το εύρος είναι 1260 - 1360 nm, ενώ για τη λήψη είναι 1480 - 1580 nm (στα 100 Mbps) και 1480 - 1500 nm (στο 1 Gbps) [19].



(σχ. 3.4) Τοπολογία Active Star – AON [19]

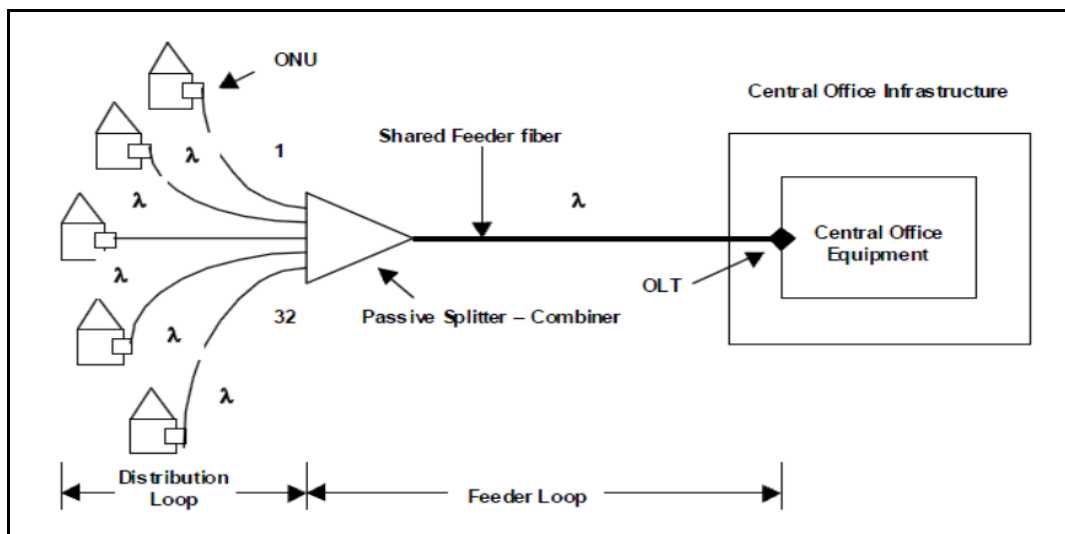
Πολύ συχνά, τα δίκτυα Home Run και τα ενεργά οπτικά δίκτυα AON αναφέρονται γενικά με την ορολογία Ethernet P2P (point to point). Αν και τα ενεργά οπτικά δίκτυα AON κάνουν χρήση τοπολογίας αστέρα (από σημείο σε πολλαπλά σημεία - point to multipoint **P2M**) όσον αφορά τη διάταξη των καλωδίων, στην πραγματικότητα υπάρχει λογική σύνδεση από σημείο σε σημείο (point to point) από το κεντρικό γραφείο μέχρι τις κατοικίες των συνδρομητών. Αυτό γίνεται, καθώς τα δεδομένα κωδικοποιούνται με τέτοιο τρόπο από το πρωτόκολλο Ethernet, ώστε να τα λαμβάνουν οι χρήστες, όταν πραγματικά προορίζονται για αυτούς. Έτσι, τα Home Run δίκτυα ουσιαστικά λειτουργούν (όσον αφορά το θέμα της μετάδοσης, πρωτόκολλο Ethernet) όπως ακριβώς τα Active Star δίκτυα, αλλά με τον ενεργό εξοπλισμό να βρίσκεται μόνο στο κεντρικό γραφείο σε αντίθεση με τα AONs που βρίσκεται σε καμπίνες δρόμου κι άλλους χώρους σε διάφορα σημεία του δικτύου.

3.2.3 Passive Star – PON – P2M Δίκτυα

Στην παθητικού αστέρα (**Passive Star**) τοπολογία δεν υπάρχουν καθόλου ενεργά στοιχεία μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των κατοικιών (εκτός φυσικά από αυτά που βρίσκονται μέσα στο κεντρικό γραφείο). Ως εκ τούτου, δε χρειάζεται κάποια εξωτερική ηλεκτρική τροφοδοσία το εξωτερικό δίκτυο και οι απομακρυσμένοι κόμβοι του. Εδώ, ο απομακρυσμένος κόμβος περιέχει οπτικούς διαχωριστές (splitters). Τα δίκτυα με αυτήν την τοπολογία λέγονται παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Network - **PON**) και είναι δίκτυα με τη διάταξη καλωδίων ινών όπως και τα AON, όπου γίνεται διαμοιρασμός καλωδίων ινών (κυρίως στο feeder κομμάτι του δικτύου).

Είναι επίσης δίκτυα από ένα σημείο σε πολλαπλά σημεία (**point to multipoint – P2M**) με όλη την κίνηση λήψης (downstream) να εκπέμπεται σε όλα τα ONTs από ένα διαχωριστή (συγκεκριμένα σε 4-64 ανεξάρτητα καλώδια διανομής κι από εκεί στα ONTs) αλλά και ένα συζευκτήρα (coupler), που αναλαμβάνει να συνδυάσει οπτικά σήματα από μεμονωμένα σπίτια και καλώδια τροφοδοσίας. Στην κίνηση αποστολής (upstream), τα OLTs και ONUs θα πρέπει να υποστηρίζουν ένα επιπλέον πρωτόκολλο πρόσβασης και ελέγχου που να ορίζει χρονικές σχισμές για την αποστολή πληροφορίας από το χρήστη [20].

Όπως και στο Home Run, έτσι και τα PON συστήματα χρησιμοποιούν 2 μήκη κύματος: 1310 nm για την αποστολή δεδομένων από το χρήστη και 1510 nm για τη λήψη. Από το επόμενο σχήμα βλέπουμε ότι η περιοχή έκτασης για τα PON δίκτυα είναι μικρότερη τόσο από τα Home Run αλλά και AON δίκτυα. Οι συνδρομητές στα PON δίκτυα δεν μπορούν να ξεπερνούν σε απόσταση τα 20 χιλιόμετρα από το κεντρικό γραφείο.



(σχ. 3.5) Τοπολογία Passive Star – PON Δικτύου [19]

3.2.4 Παραλλαγές PON Δικτύων

Η πιο φθηνή τεχνολογία οπτικών δικτύων πρόσβασης είναι η τεχνολογία των xPON (Passive Optical Network). Υπάρχουν 3 βασικές οικογένειες xPON δικτύων :

- **GPON** (πλέον NG-GPON, ενώ σε φάση σχεδιασμού βρίσκεται το NG-GPON2), δηλαδή Gigabit Passive Optical Network.
- **EPON** (πλέον 10G-EPON), δηλαδή Ethernet Passive Optical network.
- **WDM-PON**, δηλαδή Wavelength Division Multiplex Passive Optical Network.

Η τρίτη επιλογή είναι η λιγότερο διαδεδομένη ακόμα, αν και φαίνεται αρκετά ελκυστική, ενώ οι δύο πρώτες έχουν ταυτόσημη διάταξη.

Η επιλογή P2M τοπολογίας για παθητικά οπτικά δίκτυα είναι η μόνη η οποία χρησιμοποιείται τόσο πολύ στην πράξη (σε συνδυασμό είτε με FTTH είτε με FTTB Αρχιτεκτονική). Έτσι, χρησιμοποιούνται λιγότερες ίνες, χρειάζονται μικρότερες τάφροι και εν γένει μειώνεται το κόστος κατασκευής του δικτύου. Ειδικά οι GPON και EPON τεχνολογίες είναι ιδιαίτερα ώριμες, έχοντας βρει ευρεία εφαρμογή σε πολλά οπτικά δίκτυα πρόσβασης παγκοσμίως. Ως αποτέλεσμα, ξεκινάει μία ίνα ανά (συνήθως) 32 συνδρομητές και με διαδοχικά splitter, το οπτικό σήμα μοιράζεται στα 32. Σε κάθε splitter το σήμα μοιράζεται στα 2, οπότε προκύπτει ότι ο αριθμός συνδρομητών που μπορούν να εξυπηρετηθούν (έστω x) είναι ακέραια δύναμη του 2. Εάν έχουμε x συνδρομητές, τότε χρειαζόμαστε y splitters, όπου y είναι ο δυαδικός λογάριθμος του 2 [21].

Κάθε splitter επιφέρει μία αντίστοιχη απόσβεση, η οποία εν γένει διαφέρει, αλλά μία τυπική τιμή της είναι περίπου 0.5 dB ,πέραν των 3dB που απαιτούνται ώστε να διαιρεθεί στη μέση η οπτική ισχύς του σήματος. Αυτό επιβαρύνεται προσθετικά ανά splitter. Με βάση τα προηγούμενα για ένα τυπικό split ratio 1:32 θα χρειαστούν 5 splitters επιφέροντας συνολική απόσβεση 2.5 dB στο σήμα μας, πέραν των 15 dB που χρειάζονται έτσι κι αλλιώς, προκαλώντας συνολική απόσβεση 17.5dB. Τα προηγούμενα πρέπει να συνυπολογιστούν κατά τη διενέργεια του ισολογισμού ισχύος για το οπτικό δίκτυο.

Επειδή λοιπόν χρησιμοποιείται κοινό μέσο (η αρχική οπτική ίνα), εγείρονται ιδιαίτερα θέματα ασφαλείας. Πέραν όμως του μειονεκτήματος της χρήσης κοινού μέσου (και του κινδύνου παραβιάσεων ασφαλείας που αυτή συνεπάγεται), τα Παθητικά οπτικά Δίκτυα είναι ιδιαίτερα περιοριστικά ως προς

το προσφερόμενο bandwidth ανά συνδρομητή, παρά τις (σημαντικές) βελτιώσεις που έχουν γίνει σε αυτόν τον τομέα τα τελευταία χρόνια. Για την ακρίβεια, αν θεωρήσουμε split ratio 1:32, τότε για κάθε συνδρομητή μπορεί να έχουμε μόλις το 1/32 του bandwidth του εκάστοτε προτύπου στο upstream κομμάτι. Αυτό βέβαια δεν είναι ιδιαίτερα πιθανό, μιας και είναι το worst case scenario (εάν και οι 32 συνδρομητές ταυτόχρονα ζητήσουν όσο περισσότερο upstream bandwidth τους αναλογεί), αλλά, σε κάθε περίπτωση, είναι ενδεικτικό του συγκεκριμένου περιορισμού των παθητικών οπτικών Δικτύων. Η παραχώρηση του upstream bandwidth γίνεται δυναμικά με αλγόριθμους Δυναμικής Παραχώρησης Εύρους Ζώνης (Dynamic Bandwidth Assignment - DBA) [22].

Το 2001 εισήχθη το πρότυπο GPON (Gigabit Passive Optical network, κατά ITU-TG.984.6) με bandwidth 2488 Mbps συμμετρικά ανά κατεύθυνση. Το GPON διαθέτει Forward Error Correction (FEC), χαρακτηριστικό το οποίο μας επιτρέπει να ενσωματώνουμε λιγότερο ευαίσθητους (άρα και φθηνότερους) πομποδέκτες, αλλά και προσθέτει ένα overhead της τάξης του 7%, άρα το ωφέλιμο bandwidth περιορίζεται στο ~93%. Το μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου (Reach) διαμορφώνεται στα 60 χιλιόμετρα.

Η εξέλιξη του GPON είναι το Next Generation-PON (NG-PON) με bandwidth στα 10 Gbps (και μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου τα 20 χιλιόμετρα), ενώ σχεδιάζεται και το NG-PON2 για μελλοντική χρήση, το οποίο έχει ως στόχο την παροχή τουλάχιστον 1Gbps ανά συνδρομητή (οπότε το ελάχιστο bandwidth θα πρέπει να είναι 32 Gbps).

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία προτύπων PON είναι το Ethernet Passive Optical Network (EPON), το οποίο είναι κομμάτι του IEEE 802.3-2005. Το EPON προσφέρει συμμετρικό bandwidth έως και 1250Mbps, αλλά στην πράξη περιορίζεται στο 1Gbps συμμετρικό. Επίσης, το EPON εμπεριέχει και τη δυνατότητα ύπαρξης FEC. Υπάρχουν δύο διαφοροποιήσεις του EPON, ανάλογα με το μέγιστο δυνατό μήκος του οπτικού βρόχου:

- 1000Base-PX10 με μέγιστο μήκος τα 10 χιλιόμετρα.
- 1000Base-PX20 με μέγιστο μήκος τα 20 χιλιόμετρα.

Η εξέλιξη του EPON είναι το Next Generation Ethernet Passive Optical Network (NGEPON , 802.3av) με bandwidth στα 10Gbps[23].

Σε αντίθεση με το GPON, το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο split ratio στο EPON είναι το 1:16, οπότε προκύπτει το αντίστοιχο ελάχιστο bandwidth διαιρώντας με 16. Τέλος, τα δύο πρότυπα έχουν μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου (Reach) τα 20 χιλιόμετρα.

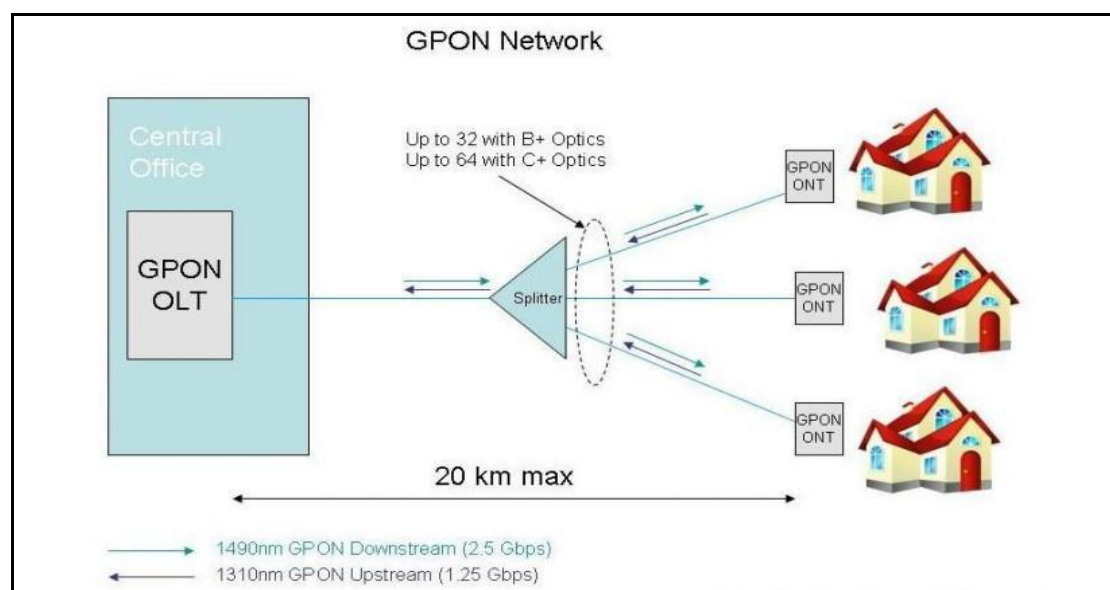
Τέλος, η τρίτη οικογένεια Παθητικών Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης είναι το WDMPON, όπου χρησιμοποιείται Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης

Μήκους Κύματος. Η δομή του είναι ταυτόσημη με αυτή των GPON και EPON, πλην του ότι αντί για splitter χρησιμοποιείται ένα φίλτρο Arrayed WaveGuide (AWG), το οποίο διαχωρίζει κάθε μήκος κύματος για καθένα από τους συνδρομητές. Το bandwidth της οπτικής ίνας που φθάνει στο AWG κυμαίνεται στα 20 με 40 Gbps και εξυπηρετεί 16 ή 32 συνδρομητές, προσφέροντας bandwidth της τάξης του 1Gbps, ενώ μπορεί να φτάσει έως και 2.5Gbps (πάντα συμμετρικά).

3.2.4.1 GPON και NG-PON

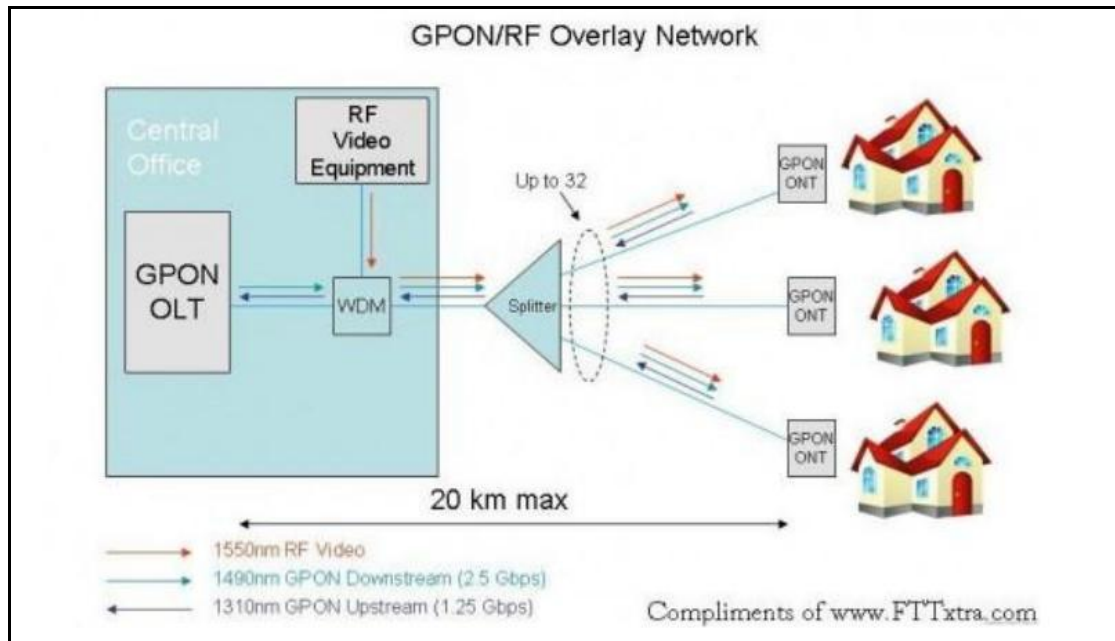
Η τεχνολογία GPON προτυποποιήθηκε κατά ITU-T με την οδηγία G.984 . Το GPON μπορεί να υλοποιηθεί είτε με μονή οπτική ίνα είτε με ζεύγη οπτικών ινών. Στην πράξη επιλέγεται αποκλειστικά η πρώτη λύση (για λόγους κόστους), αν και η δεύτερη είναι εξίσου εφικτή (τεχνικά) με την πρώτη. Η οδηγία G.984 επιτρέπει μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου 60 χιλιόμετρα, αλλά στην πράξη αυτός περιορίζεται στα 20 χιλιόμετρα για οικονομικούς λόγους, μιας και ανεβαίνει αρκετά το κόστος για βρόχους άνω των 20 χιλιομέτρων. Συνήθως το split ratio είναι 1:32 στις εμπορικές εφαρμογές (αυτό επιτυγχάνεται με 5 διαδοχικά splitter, μιας και $2^5=32$) με οπτικό εξοπλισμό κατηγορίας B+ .Υπάρχει όμως και η κατηγορία C+, όπου το split ratio φτάνει το 1:64, αλλά με μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού. Και στις δύο περιπτώσεις, το μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου παραμένει στα 20 χιλιόμετρα [23].

Σε ένα δίκτυο GPON χρησιμοποιούνται 2,3 ή και 4 μήκη κύματος. Στην πράξη προτιμώνται τα 2 ή 3 μήκη κύματος. Στην περίπτωση υλοποίησης με δύο μήκη κύματος, για το downstream κομμάτι χρησιμοποιούνται τα 1490 νανόμετρα, ενώ για το upstream τα 1310 νανόμετρα. Το downstream μέρος εκμεταλλεύεται εύρος ζώνης των 2.5Gbps, ενώ το upstream του 1.2 Gbps.



(σχ. 3.6) Υλοποίηση GPON 2ο μήκων κύματος [24]

Στην υλοποίηση με 3 μήκη κύματος επικρατεί μία διαφορετική λογική. Λόγω της ύπαρξης επιπλέον αναγκών πέραν του data κομματιού στο Triple Play, χρησιμοποιείται και ένα τρίτο μήκος κύματος (τα 1550 νανόμετρα, πέραν των γνωστών 1310 και 1490 από πριν), αυτή τη φορά για το video κομμάτι (ύπαρξη RF Video εξοπλισμού). Έτσι βελτιώνονται οι δυνατότητες του οπτικού δικτύου. Η διάταξη της υλοποίησης GPON με 3 μήκη κύματος φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Το μέγιστο μήκος οπτικού βρόγχου παραμένει στα 20 km [22].

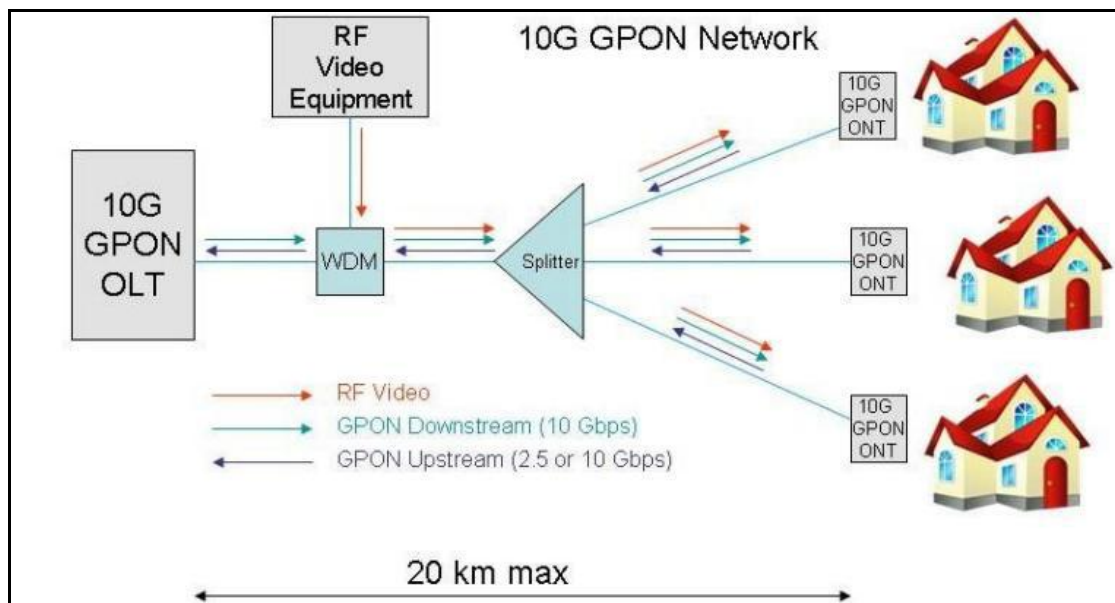


(σχ. 3.7) Υλοποίηση GPON 3^{ωv} μηκών κύματος [24]

Σε οποιαδήποτε από τις 3 αυτές υλοποιήσεις, η διαδικασία εκπομπής είναι ίδια. Το πρότυπο GPON κατά ITU επιτρέπει εύρος ζώνης 2.488 Gbps συμμετρικά, αλλά στην πράξη χρησιμοποιούνται 2.488/1.244Gbps (ύπαρξη ασυμμετρίας). Από τη μεριά του CO προς το συνδρομητή εκπέμπονται τα οπτικά σήματα όλων των συνδρομητών, αλλά λαμβάνεται από αυτόν μόνο αυτό που αφορά τον ίδιο. Στην αντίστροφη πορεία, το CO λαμβάνει κάθε στιγμή το οπτικό σήμα μόνο ενός συνδρομητή με τη χρήση Οπτικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Χρόνου. Μέσω της Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης (DBA), μπορούν να δίνονται περισσότερες χρονοθυρίδες σε κάποιο συνδρομητή που τις χρειάζεται εκείνη τη στιγμή, ενώ στη συνέχεια τις αποδεσμεύει. Με αυτόν ακριβώς τον τρόπο εξισορροπείται η «αδικία» του upstream κομματιού σε σχέση με το downstream. Κατά κανόνα για την παροχή triple play (το video κομμάτι εξυπηρετείται από ξεχωριστό dedicated μήκος κύματος) παρέχεται μια χρονοθυρίδα για το data κομμάτι, μία για το voice κομμάτι και μία για ζητήματα διαχείρισης (Network Management). Οπότε για ένα τυπικό split ratio 1:32 αναμένεται να υπάρχουν σχεδόν 100 χρονοθυρίδες στο upstream κομμάτι.

Το GPON υποστηρίζει, **ATM** (Asynchronous Transfer Mode) και **TDM** (Time Division Multiplex). Εκπέμπονται 8.000 πλαίσια (frames) ανά δευτερόλεπτο για κάθε κατεύθυνση (με τα downstream πλαίσια να διπλάσιο μέγεθος από τα upstream πλαίσια), ενώ παρέχεται σήμα εύρους 8 kHz για τηλεφωνία, το οποίο είναι ακριβώς διπλάσιο του εύρους της κλασικής τηλεφωνίας (όπου είναι 4 kHz).

Από την άλλη, υπάρχει το NG-GPON (Next Generation GPON, συναντάται και ως 10G-GPON, δηλαδή 10Gigabit GPON). Στο NG-GPON το εύρος ζώνης στο downstream κομμάτι είναι 10Gbps, ενώ το upstream εύρος ζώνης μπορεί να είναι 1.25Gbps (σπάνια), 2.5Gbps ή και 10Gbps. Όσο υψηλότερο είναι αυτό, τόσο πιο ακριβά είναι τα οπτικά μέρη ONT που χρησιμοποιούνται. Ένας πομπός στον ONT των 10Gbps είναι συνήθως το πιο ακριβό κομμάτι του ONT και για αυτό το λόγο προτιμώνται οι πομποί χαμηλότερου εύρους ζώνης. Σε πλήρη αντιστοιχία με το GPON που αναλύθηκε μόλις πριν, η Δυναμική Παραχώρηση Εύρους Ζώνης λύνει την ανισορροπία μεταξύ downstream και upstream εύρους ζώνης όταν το δεύτερο είναι μικρότερο του πρώτου [24].



(σχ. 3.8) Διάταξη NG-GPON δικτύου

3.2.4.2 EPON και 10G-EPON

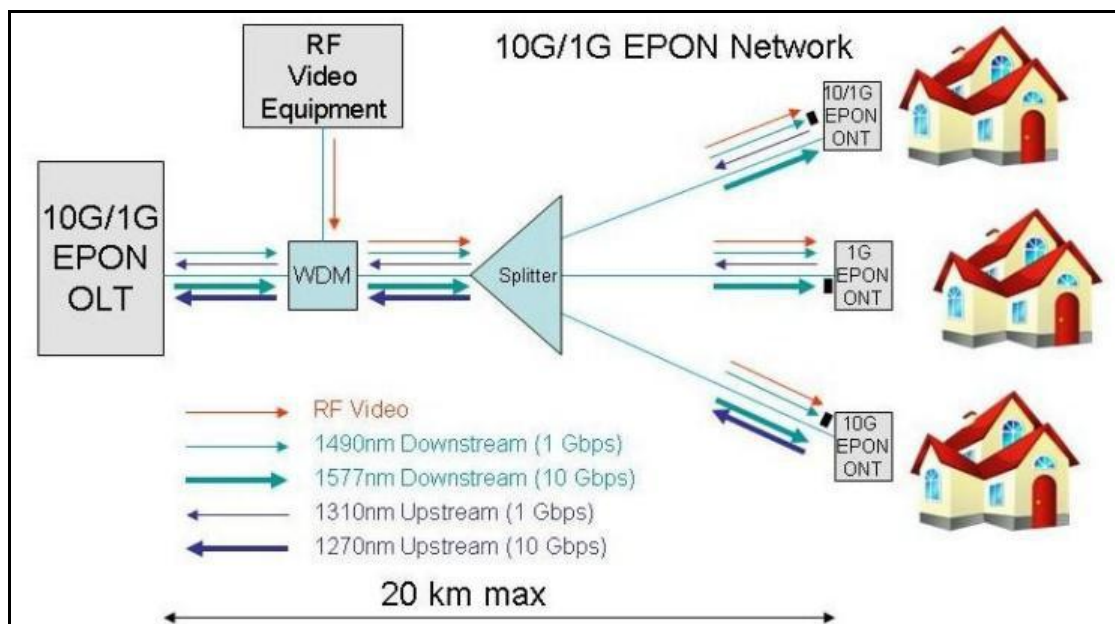
Η δεύτερη οικογένεια Παθητικών οπτικών δικτύων που χρησιμοποιείται στην πράξη είναι τα EPON (Ethernet Passive Optical Network). Υπάρχουν 3 διαφορετικοί συνδυασμοί EPON δικτύων:

- Με εύρος ζώνης 1/1Gbps, το οποίο αποκαλείται EPOR

- Με εύρος ζώνης 10/1Gbps, το οποίο αποκαλείται 10G-EPON.
- Με εύρος ζώνης 10/10Gbps, το οποίο επίσης αποκαλείται 10GEPON.

Στο downstream μέρος μεταδίδονται πλαίσια Ethernet και το upstream κομμάτι εφαρμόζεται Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου, κατά την οποία κάθε ONT εκπέμπει σε συγκεκριμένη χρονοθυρίδα η οποία μπορεί να διαφέρει σε μέγεθος ώστε να βελτιστοποιείται το upstream bandwidth δυναμικά [22].

Ανάμεσα στο CO και τους συνδρομητές υπάρχουν τάφροι, οπτικές ίνες και splitter όπως στα GPON δίκτυα. Η διάταξη ενός EPON (και 10G-EPON) δικτύου φαίνεται στο επόμενο σχήμα, ενώ το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόχου ανέρχεται στα 20 χιλιόμετρα.



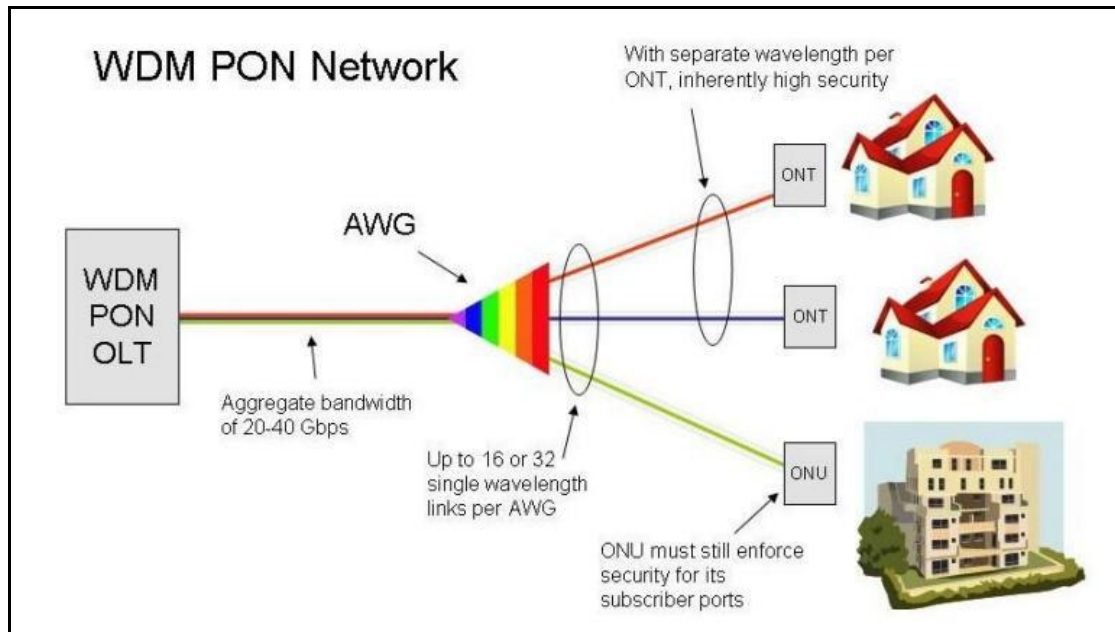
(σχ. 3.9) Διάταξη δικτύου EPON

Για το 1Gbps downstream χρησιμοποιούνται τα 1490 νανόμετρα, για τα 10Gbps downstream τα 1577 νανόμετρα, ενώ για το 1Gbps upstream τα 1310 νανόμετρα και για τα 10Gbps upstream τα 1270 νανόμετρα. Για τη μετάδοση σήματος RF video χρησιμοποιούνται τα 1550 νανόμετρα. Τα συνήθη split ratios στην πράξη είναι 1:16 και 1:32, αν και το 1:64 είναι εφικτό επίσης.

3.2.4.3 WDM-PON

Η τελευταία οικογένεια Παθητικών οπτικών Δικτύων Πρόσβασης είναι τα WDM-PON (Wavelength Division Multiplex) δίκτυα, τα οποία όμως έχουν υψηλό κόστος. Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός WDM-PON δικτύου είναι ότι συνδυάζει υψηλό εύρος ζώνης (εφάμιλλο βρισκουμε μόνο στα P2P δίκτυα), ενώ ταυτόχρονα κάνει κοινή χρήση της οπτικής ίνας για πολλούς

συνδρομητές (μειώνοντας το κόστος τόσο της ίνας αυτής καθαυτής, όσο και τα έργα διάνοιξης τάφρων). Εμφανίζει split ratio 1:16 ή 1:32 για 20 ή 40 συμμετρικά Gbps ανά αρχική ίνα και επομένως μπορεί να προσφερθεί εύρος ζώνης έως και 2.5/2.5Gbps ανά χρήστη. Η διάταξη ενός WDM-PON δικτύου είναι πανομοιότυπη με αυτή ενός PON ή EPON δικτύου, με τη μόνη διαφορά ότι αντί για splitter χρησιμοποιούνται AWG (Arrayed WaveGuide), τα οποία διαχωρίζουν τα μήκη κύματος ανά ONT [24]



(σχ. 3.10) Διάταξη δικτύου WDM-PON

3.2.5 FTTC / FTTB με χρήση τεχνολογίας VDSL

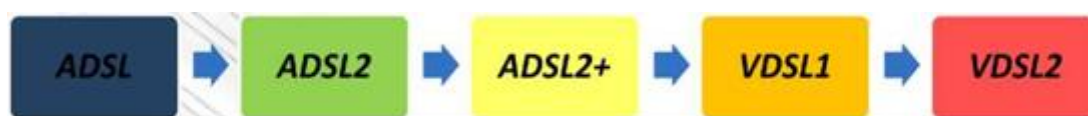
Μια πολύ σημαντική παραλλαγή χρήσης οπτικών ινών γίνεται με την εκμετάλλευση του υπάρχοντος δικτύου χάλκινων αγωγών σε συνδυασμό με το επόμενο βήμα στη χρήση του xDSL. Πρόκειται για μια πρακτική που τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα (ήδη από το 2011 – 2012) βρίσκει εκφραστές στους μεγαλύτερους παρόχους της χώρας.

Τα δίκτυα πρόσβασης που βασίζονται στο χαλκό (copper access networks) αποτελούν μέχρι και σήμερα το μεγαλύτερο μερίδιο δικτυακών υποδομών σταθερής τηλεπικοινωνιακής πρόσβασης παγκοσμίως. Τα δίκτυα αυτά αναπτύχθηκαν σταδιακά τις περασμένες δεκαετίες και χρησιμοποιούν ένα μοναδικό **μη προστατευμένο συνεστραμμένο ζεύγος (unshielded twisted pair - UTP)** χάλκινων καλωδίων για τη διασύνδεση του κάθε τελικού χρήστη (σπίτι, γραφείο, διαμέρισμα σε πολυκατοικία, κτλ) με το τοπικό τηλεπικοινωνιακό κέντρο του παρόχου (Local Exchange). Η διασύνδεση αυτή

ονομάζεται τοπικός βρόχος (local loop) ή "τελευταίο μίλι" (last mile) [25]. Σύμφωνα με έρευνες μέχρι σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένοι περισσότεροι από 1 δισεκατομμύριο χάλκινοι συνδρομητικοί βρόχοι σε παγκόσμια κλίμακα. Από αυτή την παρατήρηση γίνεται κατανοητό ότι οι συνδρομητικοί βρόχοι αποτελούν μια τεράστια επένδυση και, κατά συνέπεια, η ανάπτυξη νέων δικτυακών τεχνολογιών που θα εκμεταλλεύονται αποτελεσματικά το φυσικό αυτό μέσο ήταν αναγκαία.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι βασικός λόγος της επιτυχίας του xDSL, έναντι άλλων τεχνολογιών πρόσβασης υψηλής ταχύτητας επικοινωνίας (π.χ. οπτικές ίνες), είναι ότι χρησιμοποιεί την υπάρχουσα τηλεφωνική εγκατάσταση των χάλκινων καλωδίων για τη μεταφορά δεδομένων σε σπίτια και επιχειρήσεις. Συνεπώς, δεν χρειάζεται η εγκατάσταση νέων καλωδίων, όπως στην περίπτωση της οπτικής πρόσβασης, που θα είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική αύξηση του κόστους εγκατάστασης.

Τα μέλη της οικογένειας DSL διακρίνονται μεταξύ τους, κυρίως, με βάση τον τρόπο που κατακερματίζουν το εύρος ζώνης της γραμμής, ώστε να παρέχουν συμμετρικές ή ασύμμετρες υπηρεσίες. Οι κυριότερες από τις τεχνολογίες αυτές είναι οι εξής: ασύμμετρο DSL (ADSL: Asymmetric DSL), ADSL2, ADSL2+ και φυσικά το πολύ υψηλού ρυθμού μετάδοσης DSL (VDSL: Very high bit rate DSL). [26]



(σχ. 4.11) Εξέλιξη Ασύμμετρων παραλλαγών DSL

Η ADSL τεχνολογία μπορεί να παράσχει μέγιστες ταχύτητες, από 1.544 Mbps (σε αποστάσεις μέχρι 5.5 Km) έως 8.448 Mbps (στα 3 Km περίπου) προς τη μια κατεύθυνση (downstream) και από 640 Kbps έως 1.54 Mbps προς την άλλη κατεύθυνση (upstream) [26]. Από την άλλη, η ADSL2 (ITU G.992.3) [27] τεχνολογία αποτελεί εξέλιξη του ADSL και παρέχει μέγιστους ρυθμούς κατεβάσματος της τάξης των 12 Mbps και οι αντίστοιχοι ανεβάσματος της τάξης του 1 Mbps, τα οποία εξαρτώνται τόσο από την απόσταση όσο και από άλλους παράγοντες. Ένα βήμα παραπέρα κάνει η ADSL2+ (ITU G.992.5) [28] τεχνολογία, που διπλασιάζει το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για την λήψη δεδομένων επιτυγχάνοντας ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως και 24 Mbps σε τηλεφωνικές γραμμές μικρότερες από 2 χιλιόμετρα σε μήκος.

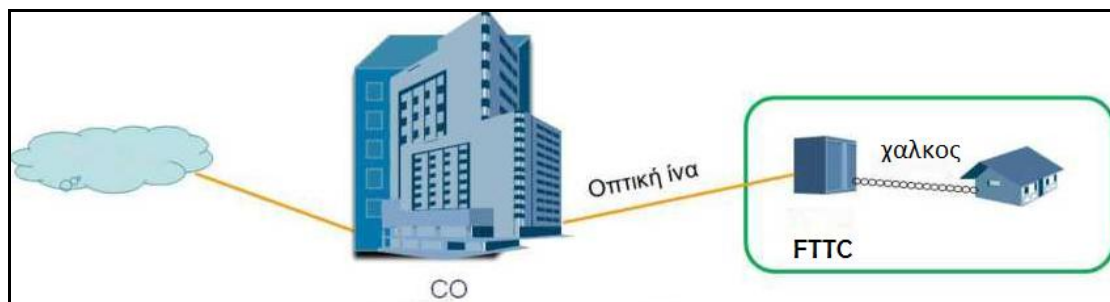
Η τελευταία εξέλιξη της xDSL είναι η VDSL τεχνολογία. Η **πολύ υψηλού ρυθμού DSL (Very High bit rate DSL - VDSL ή VHDSL)** [29] είναι η εξέλιξη της ADSL τεχνολογίας ώστε να γίνει ικανή για μετάδοση σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες, οι οποίες φτάνουν μέχρι τα 52 Mbps για την

downstream επικοινωνία και 12 Mbps για την upstream, κάνοντας χρήση 12 MHz εύρους ζώνης, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



(σχ. 4.12) Χρήση φάσματος στο VDSL

Αναπτύχθηκε έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί τις καινοτόμες υποδομές FTTC (Fiber To The Cabinet). Πρόκειται για μια προσπάθεια των τηλεπικοινωνιακών εταιρειών να εξοπλίσουν τις γειτονιές των απλών χρηστών με καλώδια οπτικών ινών υψηλών χωρητικότητας, τα οποία μπορούν να μεταδίδουν σήματα σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς σφάλματα. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της τεχνολογίας FTTC, όπου, όπως φαίνεται από τις εγκαταστάσεις των χρηστών ξεκινάει καλώδια συνεστραμμένων ζευγών προς την κοντινότερη καμπίνα - ΚΑΦΑΟ, στην οποία είναι εγκατεστημένος κατάλληλος εξοπλισμός, ο οποίος μπορεί να μετατρέπει τα σήματα σε οπτικά και να τα πολυπλέκει σε ένα καλώδιο οπτικών ινών.

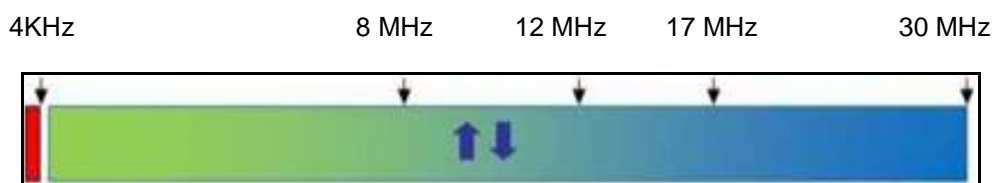


(σχ. 4.13) Παράδειγμα υποδομής FTTC

Για μικρότερες αποστάσεις επιτυγχάνεται μεγαλύτερος ρυθμός κατεβάσματος με μέγιστο ρυθμό τα 52 Mbps για αποστάσεις έως 300 μέτρα. Οι ρυθμοί ανόδου δεδομένων από την εγκατάσταση του συνδρομητή προς το κεντρικό γραφείο τηλεπικοινωνίας κυμαίνονται τυπικά μεταξύ 1.6 και 3.2 Mbps, ενώ μπορούν να φτάσουν σε περιπτώσεις συμμετρικής κίνησης μέχρι και τα 26 Mbps. Βασική προϋπόθεση για την επίτευξη του συμμετρικού VDSL, είναι το μικρό μήκος της γραμμής.

Όμως η τεχνολογία VDSL δεν σταματάει εδώ διότι η **δεύτερη έκδοση της Ψηφιακής Γραμμής Συνδρομητή πολύ Υψηλού Ρυθμού Δεδομένων (VDSL2)** [30] υπόσχεται να παραδώσει 100Mbps συμμετρικής κίνησης σε μικρές αποστάσεις. Το VDSL2 είναι το πλέον εξελιγμένο πρότυπο για ενσύρματη DSL μετάδοση. Υποστηρίζει ταχύτητες τόσο σε συμμετρική όσο και σε ασύμμετρη μετάδοση, οι οποίες προσεγγίζουν το θεωρητικό μέγιστο

των 250 Mbps, κάνοντας χρήση 30 MHz εύρους ζώνης, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



(σχ.4.14 Χρήση Φάσματος στο VDSL2)

Φυσικά, το θεωρητικό αυτό μπορεί να μετρηθεί μόνο στον πομπό. Στην περίπτωση που έχουμε μετάδοση, το άνω όριο πέφτει στα 100 Mbps για μήκος 500 μέτρων και στα 50 Mbps για μήκος 1 Km. Παρόλα αυτά, για μεγαλύτερα μήκη, η μείωση της απόδοσης είναι σχετικά αργή. Έτσι το VDSL2, είναι πάντα καλύτερο από το απλό VDSL, ενώ από τα 1.6 Km και πάνω έχει απόδοση παραπλήσια με αυτή του ADSL2+.

Το VDSL υποστηρίζει ένα εύρος ζώνης μέχρι 12MHz, ενώ στο VDSL2 το εύρος ζώνης μπορεί να επεκταθεί στα 30MHz. Προκειμένου να είναι φασματικά συμβατό με το VDSL, το VDSL2 χρησιμοποιεί τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 12MHz. Όπως στο ADSL, το χαμηλότερο μέρος του φάσματος διατίθεται για την τηλεφωνία (POTS ή ISDN) και ένας διαχωριστής με φίλτρο χρησιμοποιείται για να χωρίσει τις συχνότητες της τηλεφωνίας από τη VDSL2 ζώνη. Υπάρχει επίσης, μια επιλογή "απόλυτου ψηφιακού τύπου - ADL", όπου ουσιαστικά όλο το φάσμα μπορεί να χρησιμοποιείται για VDSL2 [31]. Ενώ στο VDSL το μήκος του τοπικού βρόχου είναι περιορισμένο περίπου στα 1500m, το αντίστοιχο μήκος για το VDSL2 μπορεί να επεκταθεί περίπου στα 2400m. Η πρώτη προς τα πάνω ζώνη του VDSL2 μπορεί να χρησιμοποιήσει τις ίδιες συχνότητες με το ADSL/2/plus. Αυτό επεκτείνει την κάλυψη του VDSL2 έναντι του VDSL. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 2000-2400m, το ADSL2 παραμένει η πιο κατάλληλη επιλογή για πρόσβαση DSL.

Συνεπώς, το VDSL2 είναι μια τεχνολογία που εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων τεχνολογιών και, σε συνδυασμό με καινούργια χαρακτηριστικά, γίνεται η πλέον αποδοτική τεχνολογία DSL, εισάγοντας ακόμα και δυνατότητες συμμετρικής κίνησης στα 100/100 Mbps με χρήση του φάσματος των 30 MHz.

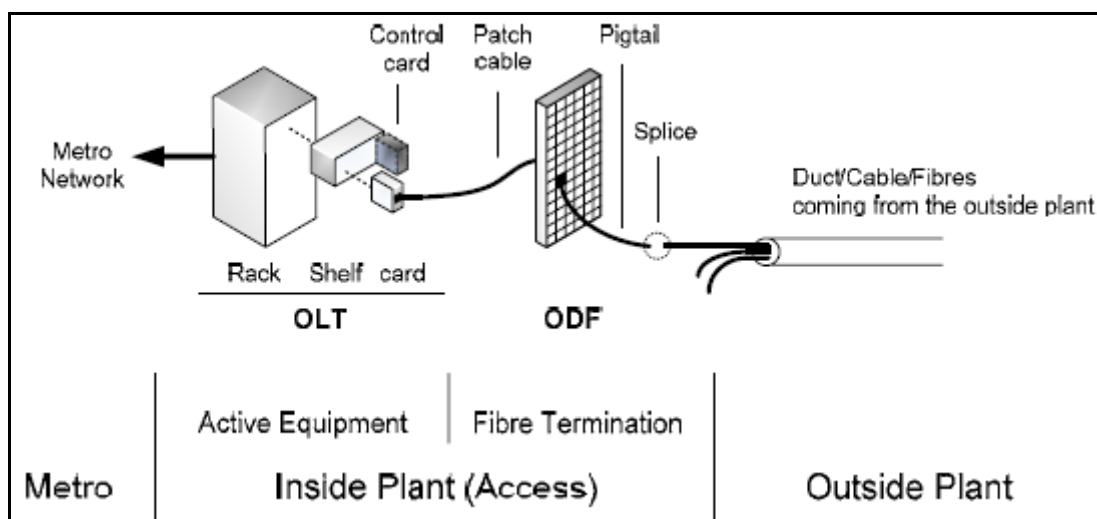
3.3 Βασικές δομές ενός δικτύου FTTH

Η επιμέρους περιγραφή των βασικών δομικών στοιχείων που εκτείνονται σε ένα οπτικό δίκτυο FTTH και αφορούν τον τύπο και τη συγκέντρωση των καλωδίων στο δίκτυο είναι ουσιώδης. Η πλήρης

παρουσίαση του δικτύου από την αρχή του έως την κατοικία του συνδρομητή, σε συνδυασμό με τη τεχνολογία FTTH περιλαμβάνει καίρια τμήματα που συνυπάρχουν σε κάθε αρχιτεκτονική ή άλλου τύπου σχεδιασμό. Τα βασικά, λοιπόν, αυτά στοιχεία είναι τα παρακάτω:

A) Κεντρικό γραφείο

Το κεντρικό γραφείο (**central office - CO**), που πολλές φορές αναφέρεται και σαν σημείο παρουσίας του δικτύου (**point of presence - POP**) ή κεντρικό σημείο μεταγωγής (central switch point), λειτουργεί ως το εναρκτήριο σημείο για την πορεία των οπτικών ινών μέχρι τους συνδρομητές. Λειτουργία του είναι η στέγαση όλων των ενεργών εξοπλισμών μετάδοσης, η διαχείριση όλων των γραμμών τερματισμού των οπτικών ινών και η διευκόλυνση της διασύνδεσης μεταξύ οπτικών ινών και ενεργού εξοπλισμού. Το φυσικό μέγεθος του χώρου καθορίζεται τελικά από το μέγεθος και τη χωρητικότητα του δικτύου FTTH που καλύπτει μια περιοχή τη δεδομένη στιγμή ή πρόκειται να καλύψει στο μέλλον, καθώς και πιθανές αναβαθμίσεις. Μια πρόταση σχηματισμού για ένα δωμάτιο κεντρικού γραφείου είναι η ακόλουθη:



(σχ. 3.11) Σχέδιο δωματίου κεντρικού γραφείου [18]

Τα κύρια καλώδια του εξωτερικού (μητροπολιτικού) δικτύου που εισέρχονται στο γραφείο, θα τερματίσουν στον ενεργό εξοπλισμό που είναι εγκατεστημένος. Επίσης, τα καλώδια που φεύγουν προς το δίκτυο FTTH (καλώδια τροφοδοσίας - feeder cables), συνδέονται κι αυτά σε ειδικό ενεργό εξοπλισμό που είναι εγκατεστημένος. Ξεχωριστές καμπίνες (cabinets) και ράφια τερματισμού ινών είναι απαραίτητα στον εξοπλισμό του POP με σκοπό την απλοποίηση της διαχείρισης και συντήρησης των οπτικών ινών, καθώς επίσης και να αποφεύγονται τυχάιες παρεμβάσεις στα ευαίσθητα κυκλώματα των ινών. Στοιχεία υποδομής μέσα σε ένα κεντρικό γραφείο είναι τα παρακάτω:

Οπτικά τερματικά γραμμών (Optical Line Terminal - OLT):

Πρόκειται για ειδικές συσκευές, στις οποίες έρχεται η κίνηση από τα άλλα μητροπολιτικά δίκτυα ή δίκτυα μεγάλης απόστασης (Internet, PSTN, ATM, SONET/SDH), μέσω ενεργών δικτυακών εξοπλισμών όπως τηλεφωνικοί μεταγωγείς, ATM μεταγωγείς, OC-N και STM-N συστήματα μετάδοσης. Σε αυτό το σημείο, ο εξοπλισμός (switch ή router) είναι επιπέδου OSI 2 (ή πάνω) και συνήθως είναι τύπου Ethernet, GMPLS ή IP. Τα OLT συνδυάζουν την εισερχόμενη κίνηση σε ένα συνεχόμενο διακριτό ρεύμα και μετά το στέλνουν σε ένα οπτικό πολυπλέκτη. Ένα OLT μπορεί να διαμορφωθεί για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών μέσω της χρήσης διαφορετικών τρόπων καλωδίωσης. Συνήθως τοποθετείται μέσα σε ειδικό ράφι (περίπου 2 μέτρα από το έδαφος) και επιτρέπει εισαγωγή/ εξαγωγή καρτών γραμμών (line cards - κάρτες που μετατρέπουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και αντίστροφα) και καρτών ελέγχου (control cards) όπως φαίνεται στο σχήμα. Υπάρχουν διάφορα πιθανά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα OLT για την κίνηση από/προς τον πελάτη αλλά και πίσω σε κάποιο μητροπολιτικό δίκτυο.



(σχ. 3.12) Τερματικό Οπτικών Γραμμών (OLT)

Οπτικά πλαίσια διανομής (Optical Distribution Frame - ODF):

Είναι μονάδες σε σχήμα ραφιού, που επιτρέπουν ένα δίκτυο ευέλικτων διασυνδέσεων οπτικών καλωδίων στο κεντρικό γραφείο. Είναι η διεπαφή μεταξύ των καλωδίων οπτικών ινών του εξωτερικού δικτύου και του ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης / OLT. Είναι ογκώδη, αφού πρέπει να υποστηρίζουν μεγάλο πλήθος καλωδίων (έως και αρκετά χιλιάδες καλώδια). Τα καλώδια συνδέονται σε αυτά με ειδικούς οπτικούς συνδετήρες (connectors).

Το ODF προσφέρει ευέλικτο ταίριασμα μεταξύ των θυρών του OLT και των συνδετήρων. Το σύστημα αυτό, με τους πολλούς συνδετήρες που

διαθέτει, επιτρέπει εύκολες αλλαγές στις καλωδιώσεις του κεντρικού γραφείου ή σε περιπτώσεις επεκτάσεων του ή σε προσθαιρέσεις νέων εξοπλισμών για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Τα πρόσφατα κεντρικά γραφεία τείνουν να χρησιμοποιούν cross - connect (που μπορούν να διασταυρώνουν/ διασυνδέουν οπτικές γραμμές) οπτικά πλαίσια διανομής, όπου τόσο τα καλώδια οπτικών ινών που εισέρχονται από το εξωτερικό δίκτυο, αλλά και τα καλώδια από τον εξοπλισμό OLT του κεντρικού γραφείου συνδέονται στο πίσω μέρος του ODF.

Καμπίνες εισόδου οπτικών ινών (fiber entrance cabinet):

Σε αρκετές περιπτώσεις, τα οπτικά καλώδια διανομής δεν τερματίζουν στο κεντρικό γραφείο στα ODFs, αλλά σε καμπίνες εισόδου οπτικών ινών, που συνήθως τοποθετούνται πάνω σε ένα τοίχο ή σε κάποιο ειδικό ράφι εξοπλισμού. Αφού τα εισερχόμενα καλώδια ινών μπορούν να είναι χιλιάδες, οι καμπίνες αυτές πρέπει να είναι σχεδιασμένες κατάλληλα για εύκολη αναγνώριση των καλωδίων, εύκολη σύνδεση και αποθήκευση. Επίσης, θα πρέπει να περιέχουν ειδικά στηρίγματα για να αποφεύγεται η έντονη κάμψη των οπτικών ινών.

Σύστημα οδήγησης καλωδίων:

Σε ένα κεντρικό γραφείο υπάρχουν αρκετά εσωτερικά καλώδια οπτικών ινών μεταξύ του ODF και του ενεργού εξοπλισμού. Μια πλατφόρμα οδήγησης των οπτικών ινών βοηθάει στην καταλληλότερη διαχείριση των καλωδίων και παρέχει ένα ασφαλές μονοπάτι για τα εσωτερικά καλώδια που διατρέχουν προς τις δύο κατευθύνσεις.

Μη διακοπτόμενη παροχή ισχύος (UPS):

Ένα σύστημα UPS παρέχει την απαραίτητη ισχύ ρεύματος σε περίπτωση εξωτερικής διακοπής ή σε περίπτωση που το κεντρικό γραφείο μπορεί να έχει απαίτηση για δεύτερη ξεχωριστή γραμμή παροχής ρεύματος. Οι διαθέσιμες μονάδες UPS μπορούν να διαφέρουν σε μέγεθος, ανάλογα με την ισχύ που πρέπει να παρέχουν.

Κλιματισμός (climate control):

Για τη σωστή λειτουργία των ενεργών εξοπλισμών στο κεντρικό γραφείο είναι απαραίτητο να διατηρούνται σταθερές η υγρασία και θερμοκρασία. Έτσι, θα πρέπει αυτό να εξοπλίζεται με ειδικά συστήματα κλιματισμού. Το μέγεθος και η ισχύς των μονάδων αυτών εξαρτάται από το μέγεθος του γραφείου που πρέπει να υποστηρίξουν.

B) Καλώδια τροφοδοσίας

Τα καλώδια τροφοδοσίας (feeder cabling) διατρέχουν το δίκτυο από το κεντρικό γραφείο μέχρι ένα τοπικό σημείο σύγκλισης των ινών (**local convergence point - LCP**). Μπορούν να καλύπτουν κάποια χιλιόμετρα απόστασης και συνήθως αποτελούνται από αρκετά μεγάλο πλήθος σωληνώσεων με καλώδια ινών, σε σχέση με τους άλλους τύπους καλωδίων που θα δούμε μετά, ώστε να παρέχουν την κατάλληλη βασική χωρητικότητα στο FTTH δίκτυο. Δεδομένου ότι τα δίκτυα πρόσβασης FTTH συνήθως αποτελούν μια δενδρική δομή με ρίζα το κεντρικό γραφείο και φύλλα τους τελικούς χρήστες, τα feeder καλώδια ουσιαστικά καταλαμβάνουν τις θέσεις στο δέντρο σε επίπεδα που βρίσκονται κοντά στη ρίζα.

Για τα υπόγεια δίκτυα, θα πρέπει να μελετηθεί η χρήση κατάλληλου πλήθους και μεγέθους σωληνώσεων, ώστε να καλυφθεί το δίκτυο αλλά και να υποστηρίζονται επιπλέον σωληνώσεις για την επέκταση και συντήρηση του δικτύου. Στα εναέρια δίκτυα, θα πρέπει να υπάρχουν δομές στύλων που θα καλύπτουν την χωρητικότητα του επιθυμητού δικτύου. Τμήματα υπάρχουσών υποδομών μπορούν να βοηθήσουν για τον περιορισμό των κοστίων, όπως υπάρχοντα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Τα καλώδια τροφοδοσίας αποτελούνται από μεγάλο πλήθος οπτικών ινών ανά καλώδια. Έτσι, για συστήματα με σωληνώσεις/ υποσωληνώσεις/ μικροσωληνώσεις μπορούμε να συναντήσουμε καλώδια των 48, 72, 96, 144, 216, 288, 336 οπτικών ινών (48f, 72f, 96f, 144f, 216f, 288f, 336f) [21].

Γ) Τοπικά σημεία σύγκλισης

Τα καλώδια τροφοδοσίας θα πρέπει να διασπαστούν σε μικρότερα καλώδια διανομής που κατευθύνονται προς τις περιοχές των κατοικιών των συνδρομητών. Αυτό επιτυγχάνεται σε ειδικά σημεία στο FTTH δίκτυο, που συχνά αναφέρονται ως τοπικά σημεία σύγκλισης (local convergence point - **LCP**).

Σε γενικές γραμμές, η θέση των τοπικών σημείων σύγκλισης μπορεί να καθοριστεί από παράγοντες, όπως η θέση των αγωγών - σωληνώσεων αλλά και του κεντρικού γραφείου. Τα καλώδια στα σημεία αυτά, διαχωρίζονται και συνδέονται μόνιμα (splicing) σε μικρότερες ομάδες καλωδίων για περαιτέρω δρομολόγηση μέσω των εξερχόμενων καλωδίων διανομής.

Στα τοπικά σημεία σύγκλισης είναι τοποθετημένα κιβώτια συγκόλλησης καλωδίων (cable joint closures) μέσα σε φρεάτια με σκοπό να χειρίζονται ένα σχετικά μεγάλο αριθμό καλωδίων και των αντίστοιχων μόνιμων συνδέσεών τους (splices). Σε άλλη περίπτωση, στα τοπικά σημεία σύγκλισης τα υπόγεια φρεάτια αντικαθίστανται από υπέργεια ερμάρια/καμπίνες δρόμου, κυρίως για

την περίπτωση των AON δικτύων. Σε κάθε περίπτωση, η είσοδος και η μετέπειτα επανείσοδος στο σημείο σύγκλισης είναι απαραίτητη, ώστε να πραγματοποιείται διαμόρφωση/επαναδιαμόρφωση των οπτικών ινών ή να γίνεται συντήρηση και δοκιμή του δικτύου, όπως και η ασφάλεια αυτών των εγκαταστάσεων.

Η αρχιτεκτονική ενός FTTx δικτύου επηρεάζει σημαντικά την υποδομή των σημείων σύγκλισης. Συγκεκριμένα, στα PONs, όπου υπάρχει διαμοιρασμός στα καλώδια τροφοδοσίας και παράλληλα χρησιμοποιούνται οπτικοί παθητικοί διαμοιραστές, τα σημεία σύγκλισης θα πρέπει να μπορούν να στεγάζουν τον απαραίτητο παθητικό εξοπλισμό. Όσον αφορά τα ενεργά δίκτυα AON, η υποδομή των κόμβων σύγκλισης διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με τα παραπάνω. Μοιάζει περισσότερο στην υποδομή του κεντρικού γραφείου, σε σμίκρυνση, όπου ο κόμβος θα πρέπει να περιλαμβάνει και να υποστηρίζει ενεργό δικτυακό εξοπλισμό, όπως μεταγωγείς και γι' αυτό να βρίσκεται σε συνεχή παροχή ρεύματος και να εφοδιάζεται με κατάλληλο σύστημα κλιματισμού [19].

Δ) Καλώδια διανομής

Τα καλώδια διανομής (distribution cabling) φεύγουν από τα τοπικά σημεία σύγκλισης του δικτύου FTTH και κατευθύνονται μέχρι κάποιο σημείο κοντά στους συνδρομητές (σημεία πρόσβασης συνδρομητών). Τα καλώδια διανομής συνήθως αποτελούνται από μεσαίο πλήθος σωληνώσεων και καλωδίων οπτικών ινών, στοχεύοντας στην κάλυψη συγκεκριμένου αριθμού κτιρίων μέσα σε ένα FTTH δίκτυο κι όχι όλων των κατοικιών, όπως συμβαίνει με τα καλώδια τροφοδοσίας. Στη δενδρική δομή, όπως αναφέραμε προηγουμένως, με ρίζα το κεντρικό γραφείο, τα καλώδια διανομής βρίσκονται στα μεσαία επίπεδα του δένδρου, μετά τα καλώδια τροφοδοσίας και πριν τα τελικά καλώδια πρόσβασης των χρηστών.

Για υπόγεια δίκτυα, τα καλώδια διανομής μπορούν να είναι είτε τοποθετημένα σε σωληνώσεις (ducts), είτε άμεσα ενταφιασμένα (direct buried) ή να είναι ομαδοποιημένα σε ένα κοινό δίκτυο από θαλάμους (tubes) ή συστοιχίες μικροσωληνώσεων (microducts) ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κόστη κατασκευής και να επιτρέπεται η προσθήκη άλλων καλωδίων σε φάση μελλοντικής ανάπτυξης του δικτύου. Για δίκτυα στα οποία μπορεί να υπάρχουν πολλαπλάσιες μονάδες κατοικιών σε ένα κτίριο (Multiple Dwelling Units - **MDU**), τα καλώδια διανομής μερικές φορές μπορεί να βρίσκονται μέσα στο κτίριο, λειτουργώντας σαν εσωτερική καλωδίωση, ενώ τα καλώδια τροφοδοσίας είναι το μοναδικό εξωτερικό κομμάτι των καλωδίων του δικτύου. Για τα εναέρια δίκτυα, όπως και για τα καλώδια τροφοδοσίας, θα πρέπει να υπάρχουν δομές στύλων που να καλύπτουν την επιθυμητή χωρητικότητα.

Ε) Σημεία πρόσβασης συνδρομητών

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε ένα δεύτερο επιπλέον σημείο συγκέντρωσης στο FTTH δίκτυο, πριν την τελική τοποθέτησή τους στο κτίριο του συνδρομητή. Τα σημεία αυτά, όπως και τα τοπικά σημεία σύγκλισης, χρειάζεται να είναι ευέλικτα, επιτρέποντας γρήγορη σύνδεση και επαναδιαμόρφωση των οπτικών κυκλωμάτων στα τελικά καλώδια πρόσβασης των συνδρομητών. Τα σημεία αυτά λέγονται σημεία πρόσβασης των συνδρομητών (network access points - **NAP**) και τοποθετούνται σε βέλτιστα σημεία, επιτρέποντας το μέγιστο διαμοιρασμό των τελικών καλωδίων πρόσβασης. Σε αυτά τα σημεία τα καλώδια διανομής διαχωρίζονται μεταξύ τους και ενώνονται με τα τελικά καλώδια πρόσβασης, ώστε να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς συνδρομητές.

Η μονάδα σε ένα σημείο πρόσβασης συνδρομητών έχει, όπως και στο σημείο σύγκλισης, τη μορφή ενός υπόγειου ή εναέριου τοποθετημένου κιβωτίου συγκόλλησης καλωδίων (cable joint closure). Εδώ όμως, σχεδιάζεται για να διαχειρίζεται ένα μικρότερο αριθμό καλωδίων και συνδεδεμένων μονίμων συνδέσεων (splices). Επίσης, αρκετές φορές χρησιμοποιείται κάποια καμπίνα κοντά στην άκρη του δρόμου (street pedestal cabinet), ώστε να προστίθενται εύκολα νέοι τελικοί χρήστες στο δίκτυο πρόσβασης. Σε κάθε περίπτωση, η είσοδος και η μετέπειτα επανείσοδος στο σημείο αυτό, πρέπει να διασφαλίζει το χειρισμό των ινών καθώς και την εύκολη πραγματοποίηση συντήρησης και ελέγχου στο δίκτυο.

Τα υπόγεια τοποθετημένα κιβώτια συγκόλλησης καλωδίων (cable joint closures) θα πρέπει να είναι ασφαλή και εκτός κοινής θέας. Γι' αυτό, τοποθετούνται σε ειδικές μικρά φρεάτια. Τέλος, στα εναέρια δίκτυα, τα τοποθετημένα σε στύλους κιβώτια συγκόλλησης καλωδίων θα πρέπει να είναι ασφαλή και κρυφά όσο γίνεται.

Όπως και στα σημεία σύγκλισης, έτσι κι εδώ, εφ' όσων υπάρχει διαμοιρασμός στα καλώδια διανομής, η αρχιτεκτονική των FTTH δικτύων επηρεάζει και την υποδομή τους. Έτσι, στα PON δίκτυα, πρέπει να διασφαλιστεί ότι οι διάφορες μονάδες που βρίσκονται στα σημεία πρόσβασης μπορούν να στεγάζουν τον απαραίτητο εξοπλισμό με παθητικούς οπτικούς διαμοιραστές, ενώ στα AON δίκτυα τα σημεία πρόσβασης των συνδρομητών τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια [19].

ΣΤ) Καλώδια πρόσβασης συνδρομητών

Τα τελικά καλώδια ή καλώδια πρόσβασης συνδρομητών (drop cabling) διαμορφώνουν τον τελικό εξωτερικό σύνδεσμο προς τις κατοικίες των χρηστών του FTTH δικτύου. Ξεκινάνε από τους κόμβους πρόσβασης των συνδρομητών και καταλήγουν στα κτίρια των πελατών, σε απόσταση όχι συνήθως μεγαλύτερη από 500 μέτρα και συχνά λιγότερο για πιο

πυκνοκατοικημένες περιοχές. Τα καλώδια πρόσβασης περιέχουν συνήθως μία οπτική ίνα ή ένα ζευγάρι (μια ίνα για το upstream και μια για το downstream) για μια κατοικία ενός κτιρίου. Επίσης, σε άλλες περιπτώσεις μπορούν να περιέχουν μέχρι τέσσερις οπτικές ίνες και επιπλέον ίνες για εφεδρική ασφάλεια ή άλλους λόγους. Τα καλώδια αυτά παρέχουν τη μόνη απευθείας σύνδεση του εξωτερικού δικτύου με τον συνδρομητή, χωρίς ποικιλία δικτύων.

Σε υπόγεια δίκτυα, τα καλώδια πρόσβασης συνδρομητών τοποθετούνται με μικρούς αγωγούς μέσα σε μικροσωληνώσεις ή με άμεσο ενταφιασμό για να επιτευχθεί απλό σκάψιμο και ευκολία στην εγκατάσταση. Τα υπερυψωμένα εναέρια καλώδια πρόσβασης τροφοδοτούνται από κάποιο κοντινό στύλο και τερματίζουν σε ένα μέρος του κτιρίου για τη δρομολόγηση στα οπτικά τερματικά του δικτύου (ONT).

Z) Τερματικό σημείο και εσωτερικά καλώδια συνδρομητών

Όσον αφορά τις κατοικίες των συνδρομητών, τα καλώδια πρόσβασης τερματίζουν στην κατοικία και δρομολογούνται σε ένα κουτί τερματισμού που βρίσκεται επιτοίχιο σε κάποιο σημείο στην είσοδο του κτιρίου (εντός ή εκτός του κτιρίου). Αυτή τερματική μονάδα είναι τμήμα της Οπτικής μονάδας δικτύου - ONU.

Τα εσωτερικά καλώδια συνδρομητών (internal cabling) παίζουν σημαντικότερο ρόλο σε περιπτώσεις δικτύων με πολυκατοικίες/ πολλαπλές μονάδες κατοικιών σε ένα κτίριο (Multiple Dwelling Units – MDUs). Τότε, στις τερματικές μονάδες εντός των κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιούνται παθητικοί διαμοιραστές για το διαμοιρασμό οπτικών ινών από πολλά νοικοκυριά καθώς και άλλα στοιχεία όπως συνδετήρες, και συσκευές συγκόλλησης για την συνέχεια των ινών μέχρι τα νοικοκυριά.

Κεφάλαιο 4ο

Πρόβλεψη Αγοράς και Σύγχρονες υπηρεσίες

Εισαγωγή

Για την ανάπτυξη δικτύων οπτικών ινών αλλά και κάθε νέας τεχνολογίας είναι απαραίτητο να γίνουν αντιληπτές οι συνθήκες και οι νέες απαιτήσεις που φέρνουν αυτές τις αλλαγές. Οι σύγχρονες απαιτήσεις όσο αναφορά την διαδικτυακή κίνηση και την χρησιμοποίηση των παρεχόμενων ευρυζωνικών υπηρεσιών, είναι το κρίσιμο «συστατικό» που ωθεί την αγορά στην υιοθέτηση των νέων δικτύων και φέρνει την εκάστοτε εταιρία, αλλά και πάροχο στο επόμενο βήμα της τεχνολογικής εξέλιξης.

Ήδη τα τελευταία 15 χρόνια έχουν αποδείξει ότι αλλάζουν οι θεωρήσεις της αγοράς και η συνεχόμενη αύξηση των υπηρεσιών έχει οδηγήσει στη δημιουργία νέων αναγκών, που χρειάζονται προφανώς και μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για την κάλυψή τους. Εικόνα, ήχος, ενημέρωση και επιμέρους αλλαγές χρήσης παραδοσιακών μέσων είναι μόνο μερικά από τα είδη των υπηρεσιών που χρειάζεται ο σύγχρονος πελάτης – χρήστης των υποδομών.

Από την άλλη πλευρά, μια επιτυχημένη οικονομοτεχνική μελέτη χρειάζεται την σωστότερη πρόβλεψη της κίνησης της αγοράς. Το γεγονός ότι εν τέλει οι ανάγκες θα ωθήσουν τους ανθρώπους στην εξοικείωση με τις νέες τεχνολογίες, δεν σημαίνει ότι αυτό μπορεί να γίνει αυτόματα και να μεταπηδήσει το σύνολο από το ένα τρόπο δικτύωσης στο άλλο. Επομένως, η αποδοχή από τον κόσμο γίνεται σταδιακά και στην περίπτωση των νέων FTTx οπτικών τεχνολογιών.

Η ίδια η αγορά καθορίζει την επιτυχία δημιουργίας μια νέας παροχής και δεν μπορεί να αμεληθεί αυτό το γεγονός. Μέσω των κατάλληλων μοντέλων, μπορούν να γίνουν σωστότερες προβλέψεις για τη διάρκεια και την επιστροφή του αρχικού κεφαλαίου (εισροές – έσοδα) στην εκάστοτε εταιρία που της ανήκει το νέο δίκτυο, αλλά και το πόσος χρόνος απαιτείται για πραγματικό κέρδος. Έτσι λοιπόν, μπορούν να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα που θα οδηγήσουν στην καλύτερη διάρθρωση της οικονομικής μελέτης και θα ελαχιστοποιήσουν πιθανούς κινδύνους που θα

προκύψουν από τυχόν αγνόηση του τρόπου εξάπλωσης της αποδοχής από το κοινό.

4.1 Ευρυζωνικές Υπηρεσίες Περιεχομένου

Ο όρος "triple play" χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας για την περιγραφή του πακέτου υπηρεσιών που περιλαμβάνει τηλέφωνο (ομιλία), internet και τηλεόραση (video). Πάνω σε αυτές τις τρεις βασικές υπηρεσίες στηρίζεται ένα πλήθος από επιμέρους υπηρεσίες και εφαρμογές οι οποίες αναπτύσσονται ραγδαία, λόγω της μεγάλης αύξησης τόσο του βαθμού διείσδυσης όσο και της ταχύτητας μετάδοσης των ευρυζωνικών συνδέσεων παγκοσμίως. Έτσι, λοιπόν, λόγω της ευρυζωνικότητας, η καθημερινότητα όλων μας αλλάζει σε τομείς όπως η ενημέρωση, η επικοινωνία, η ψυχαγωγία, η εργασία, κτλ.

Όλες αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το σκοπό που εξυπηρετούν:

Υπηρεσίες Ενημέρωσης

Η χρήση του internet στις μέρες μας δίνει δυνατότητες άμεσης και γρήγορης πρόσβασης στην καθημερινή ειδησιογραφία. Επιπλέον, κάνοντας χρήση των διαφόρων διαθέσιμων μηχανών αναζήτησης (π.χ. Google), ο κάθε χρήστης αποκτά πρόσβαση σε διάφορα είδη χρηστικών πληροφοριών.

Υπηρεσίες Επικοινωνίας

Στις μέρες μας, οι εφαρμογές μετάδοσης φωνής στο Διαδίκτυο (Voice over IP) παρέχουν υπηρεσίες τηλεφωνίας με ποιότητα παραπλήσια των παραδοσιακών τηλεφώνων. Αυτό γίνεται είτε με αγορά υπηρεσιών VoIP από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο, είτε από διάφορες εταιρείες παροχής υπηρεσιών φωνής μέσω διαδικτύου (π.χ. Skype). Η ποιότητα πλέον είναι πολύ καλή και το κόστος κυμαίνεται από πολύ μικρό έως μηδενικό.[32]

Υπηρεσίες Τηλε - εκπαίδευσης (e-Education)

Σήμερα, όλο και περισσότεροι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν ιστολόγια και blogs, παρέχοντας με αυτό το τρόπο υποστήριξη στους μαθητές τους. Επιπλέον, πολύ σημαντική είναι και η πρόσβαση σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες πανεπιστημίων και άλλων οργανισμών, όπου με εύκολο και απλό τρόπο μπορεί κάποιος από το σπίτι του να βρει ένα άρθρο, επιστημονικό περιοδικό ή σύγγραμμα που τον ενδιαφέρει. Τέλος, όλο και περισσότερες επιχειρήσεις, στη προσπάθειά τους να μειώσουν τα κόστη μετακίνησης του προσωπικού

τους, προωθούν την παρακολούθηση διαλέξεων - μαθημάτων από απόσταση (webinars, e - learning).[32]

Υπηρεσίες Τηλε - εργασίας (e-Business)

Σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον τηλε-εργασίας, ο κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα από το σπίτι του, κάνοντας χρήση εφαρμογών «απομακρυσμένου γραφείου» (remote office), να έχει διάφορες διαθέσιμες υπηρεσίες, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail), μεταφορά αρχείων (file transfer), απομακρυσμένη πρόσβαση (remote access) σε εφαρμογές και βάσεις δεδομένων, τηλεδιάσκεψη, επικοινωνία μεγάλων ταχυτήτων για πολυμέσα αλλά και παροχή πλήρους περιβάλλοντος άμεσης βοήθειας.

Υπηρεσίες Τηλε - ιατρικής (e-Health)

Η Τηλε-ιατρική συμβάλλει στην καλύτερη παροχή ιατρικής φροντίδας και υπηρεσιών υγείας σε ασθενείς που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τα θεραπευτικά κέντρα. Η συγκεκριμένη υπηρεσία παρέχει ένα σύστημα διαχείρισης και διακίνησης ιατρικών πληροφοριών (καρδιογραφήματα, υπερηχογραφήματα, τομογραφίες, κλπ.) με πλήθος εφαρμογών στους τομείς διάγνωσης, θεραπείας και εκπαίδευσης των ιατρών.

Οι εφαρμογές αυτές αναμένεται να βρουν ευρεία εφαρμογή τα επόμενα χρόνια καθώς επίσης, θεωρείται απαραίτητο να ζητούν και συγκεκριμένη μεταχείριση από το δίκτυο εξαιτίας του σκοπού που επιτελούν. [32][33]

Υπηρεσίες ηλεκτρονικής διακυβέρνησης (e- Government)

Μια πολύ σημαντική ομάδα υπηρεσιών στον τομέα της εξυπηρέτησης του πολίτη είναι οι εφαρμογές e-government, όπου παρέχεται η δυνατότητα εξυπηρέτησης των πολιτών από το σπίτι τους, επτά ημέρες την εβδομάδα 24 ώρες την ημέρα, χωρίς να χάνεται χρόνος σε μεταβάσεις και ουρές κι εξαλείφοντας, παράλληλα, φαινόμενα διαφθοράς (π.χ. Taxis net).

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα άμεσης και εύκολης επικοινωνίας με φορείς μεσολάβησης, όπως ο συνήγορος του πολίτη, η Γενική Γραμματεία Καταναλωτή, κ.α. καθώς και η συμμετοχή σε δημόσιες διαβουλεύσεις ή ηλεκτρονικά δημοψηφίσματα, προάγοντας με αυτό τον τρόπο τη συμμετοχική δημοκρατία. Επομένως, αποτελεί καίριας σημασίας εργαλείο για την αναδιοργάνωση και τον εκσυγχρονισμό του δημόσιου τομέα, επιτυγχάνοντας διαφάνεια και αποδοτική γραφειοκρατία.

Υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου (e-Commerce)

Με τον όρο e-Commerce περιγράφεται το ηλεκτρονικό εμπόριο, δηλαδή η διάθεση και αγοραπωλησία προϊόντων ηλεκτρονικά. Ο τομέας αυτός έχει γνωρίσει μεγάλη άνθιση σε όλο τον κόσμο και εξαπλώνεται και

στην Ελλάδα. Ήδη υπάρχουν πολλά ηλεκτρονικά καταστήματα και η απήχυσή τους στον κόσμο ολοένα και διευρύνεται, όπως είναι το eBay και το alibaba, ενώ παρέχει πολλά πλεονεκτήματα τόσο στους καταναλωτές όσο και στις επιχειρήσεις.

Υπηρεσίες Ψυχαγωγίας

Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες αποτελούν τις πλέον ραγδαία αναπτυσσόμενες και χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες:

- E-Gaming

Τα παιχνίδια ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι μια πολύ διαδεδομένη ενασχόληση σε πολλούς χρήστες. Τα τελευταία χρόνια, μεγάλη ανάπτυξη παρατηρείται σε διαδικτυακά παιχνίδια πραγματικού χρόνου, τα οποία λόγω των εξελιγμένων 3D γραφικών απαιτούν υψηλές ταχύτητες σύνδεσης.

- IPTV- Διαδικτυακή τηλεόραση

Τα τελευταία χρόνια, με την τρομακτική εξάπλωση του Internet και κυρίως με την επίτευξη πολύ υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, αλλά και τη γενικότερη εξέλιξη της τεχνολογίας, την αύξηση των ατόμων που συνδέονται στο Διαδίκτυο και τη συνεχή μείωση του σχετικού κόστους, έκανε την εμφάνισή της διστακτικά στην αρχή και η τηλεόραση μέσω Internet. Η «δικτυακή τηλεόραση» μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα, κατά το οποίο ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα εκπέμπεται σε συνδρομητές-χρήστες του Internet με τη βοήθεια του IP (Internet protocol) και μιας ευρυζωνικής (broadband) σύνδεσης. Η υπηρεσία αυτή συχνά παρέχεται σε συνδυασμό με το βίντεο κατά απαίτηση (video-on-demand) και μπορεί να περιλαμβάνει ταυτόχρονα και άλλες δικτυακές υπηρεσίες, οπότε έχουμε το λεγόμενο triple play (Internet, τηλεφωνία και βίντεο).

Το τηλεοπτικό σήμα, που «φέρει» το περιεχόμενο, είναι συνήθως κωδικοποιημένο σε μορφή MPEG2 ή MPEG4 και διανέμεται μέσω IP Multicast (μέθοδος με την οποία η πληροφορία μπορεί να αποσταλεί ταυτόχρονα σε πολλούς αποδέκτες/υπολογιστές). Με τη βοήθεια ειδικών συσκευών (set - top box) και τη χρήση ευρυζωνικών συνδέσεων, το τηλεοπτικό σήμα μπορεί να διανεμηθεί στα νοικοκυριά πολύ πιο εύκολα και αξιόπιστα από ότι με άλλους τρόπους. Επιπλέον, με τη χρήση των νέων συσκευών μαγνητοσκόπησης, όπως των ψηφιακών εγγραφών βίντεο (Digital Video Recorders - DVR), είναι δυνατή η ταυτόχρονη εγγραφή πολλών προγραμμάτων, γεγονός που θα ικανοποιήσει και τον πλέον απαιτητικό χρήστη.

Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχουμε και την ανάπτυξη του High-Definition Internet Protocol Television (HD - IPTV), που αποτελεί εξέλιξη του απλού IPTV σήματος, με αναλύσεις εικόνας που ξεπερνούν τα 720 x 576 pixels και φτάνουν τα 1920 x 1080 pixels ή ακόμη περισσότερο όπως με τη τεχνολογία 4K. Τέλος, έχουμε και 3D-IPTV όπου υπάρχει μετάδοση τρισδιάστατης εικόνας με συνδυασμό πολυκάναλου ήχου.

- Υπηρεσίες κατά Απαίτηση (On Demand)
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν διάφορες εφαρμογές που ζητούνται από τους χρήστες, χρεώνονται από την υπηρεσία και μεταδίδονται 'με κατάλληλη κωδικοποίηση. Τέτοιες συνήθεις εφαρμογές είναι ταινίες (movies), μουσικά αρχεία, παιχνίδια ή software για χρήση.
- Επικοινωνίες μεταξύ ομότιμων κόμβων (Peer-to-peer, P2P)
Οι εφαρμογές Peer-to-Peer είναι δικτυακές εφαρμογές που δεν ακολουθούν τη λογική Πελάτη/Εξυπηρετητή (client/ server), αλλά σχηματίζουν ένα δίκτυο από εφαρμογές (και χρήστες), όπου όλοι είναι ισότιμοι ή έστω δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός έλεγχος. Το περιεχόμενο που προσφέρεται δεν καθορίζεται, συνεπώς, από κάποιον πάροχο περιεχομένου (content provider), αλλά από τους ίδιους τους χρήστες αυτού του δικτύου. Από αυτές μπορεί να προκληθεί υψηλή συμφόρηση σε ένα δίκτυο (ιδιαίτερα αν υποστηρίζουν την ανταλλαγή αρχείων). Ένας άλλος παράγοντας συμφόρησης είναι η άναρχη φύση του δικτύου που σχηματίζουν.
- Ροή δεδομένων (Streaming/webcasting)
Η Ροή δεδομένων (streaming) είναι ένας όρος που περιγράφει την μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο μετάδοσης, τα δεδομένα μεταφέρονται στο δίκτυο με την μορφή μιας συνεχούς ροής πακέτων. Οι απαιτήσεις αυτής της μορφής μεταφοράς πολυμέσων είναι αρκετά υψηλές όσον αφορά στο εύρος ζώνης του δικτύου. Όσο μεγαλύτερο εύρος ζώνης διαθέτει ο χρήστης, τόσο πιο μικρές είναι οι πιθανότητες να παρουσιαστεί καθυστέρηση στην αναπαραγωγή του αρχείου λόγω συμφόρησης του δικτύου [32].

Υπηρεσίες E-Home

Μια εφαρμογή, η οποία στις μέρες μας χρησιμοποιείται από όλο και περισσότερους χρήστες είναι η "Ροή βίντεο με στόχο την επιτήρηση χώρου". Με τη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί όλους τους χώρους του σπιτιού ή τις επιχειρήσεις του σε πραγματικό χρόνο, με κάμερα συνδεδεμένη με το δίκτυο. Επίσης, εκτός από την παρακολούθηση

του σπιτιού τους είναι σε θέση και να ελέγχουν πολλές λειτουργίες του, στην περίπτωση που έχει εγκατασταθεί εξοπλισμός διαχείρισης έξυπνου σπιτιού.

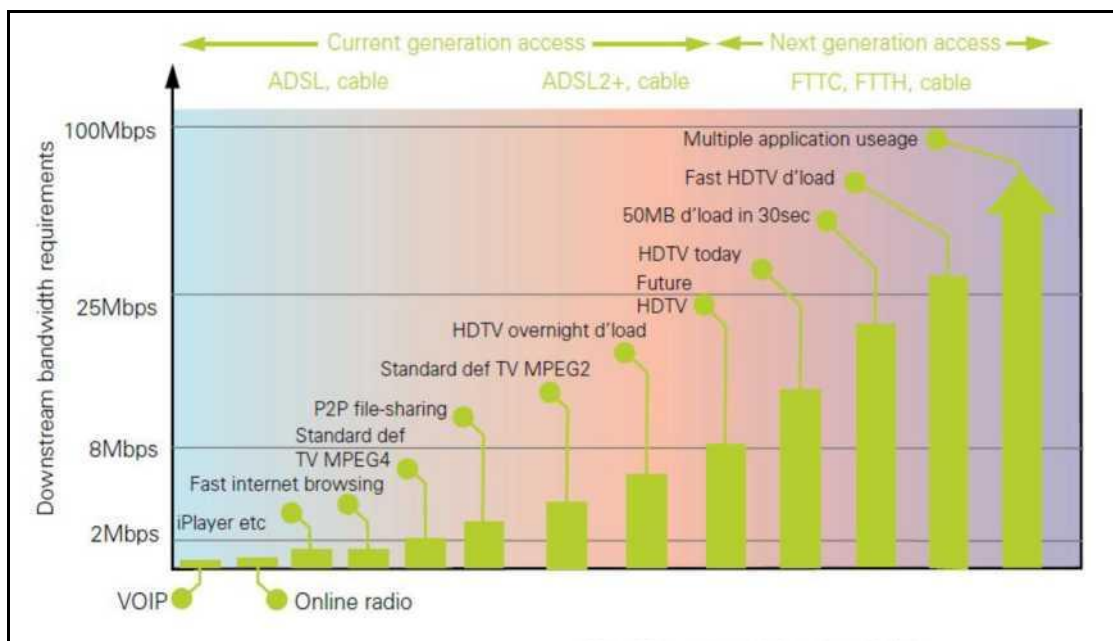
Υπηρεσίες Κοινωνικής Δικτύωσης και WEB2.0

Το κύριο χαρακτηριστικό του WEB 2.0 είναι ότι περνάει από τον αρχικό στατικό τρόπο παρουσίασης των πληροφοριών στον χρήστη σε ένα καταρχήν δυναμικό τρόπο παρουσίασης, ο οποίος επιτρέπει τη διαδραστικότητα με τον χρήστη αλλά και επιζητά την συνεισφορά του στη διαμόρφωση του περιεχομένου της πληροφορίας.[34]

Οι κυριότερες εφαρμογές του WEB 2.0 περιλαμβάνουν τα Ιστολόγια (blogs), αλλά και φορείς κοινωνικής δικτύωσης όπως το MySpace, το Facebook, το Twitter ή ιστοσελίδες παροχής βίντεο όπως το YouTube. Επίσης περιλαμβάνει και διαδικτυακές λειτουργίες όπως το tagging.

4.2 Ανάγκες ευρυζωνικών υπηρεσιών

Όπως όμως, γίνεται αντιληπτό, η κάθε μια από αυτές τις εφαρμογές και υπηρεσίες, απαιτεί μια ελάχιστη ταχύτητα ευρυζωνικής σύνδεσης, η οποία θα είναι ικανή να μεταδώσει τον απαραίτητο όγκο πληροφορίας, ώστε να είναι δυνατή η απρόσκοπτη και ποιοτική λειτουργία της. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι κυριότερες εφαρμογές-υπηρεσίες και οι απαιτήσεις τους σε ταχύτητα μετάδοσης της ευρυζωνικής σύνδεσης.



(σχ. 4.1) Απαιτήσεις εφαρμογών και υπηρεσιών σε ταχύτητα μετάδοσης [35]

Παρατηρείται ότι οι υπηρεσίες HD TV, 3D TV και multichannel TV δεν είναι δυνατόν να λειτουργήσουν απρόσκοπτα με τις υπάρχουσες δικτυακές υποδομές της τεχνολογίας ADSL. Επιπλέον, όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω, πολλές και από τις εφαρμογές-υπηρεσίες που απαιτούν ταχύτητες μετάδοσης που υποστηρίζονται συνήθως από την τεχνολογία ADSL είναι δυνατόν να μην μπορούν να υποστηριχτούν από το υπάρχον δίκτυο, λόγω των μεγάλων αποστάσεων του τελικού χρήστη από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο του παρόχου. Συνεπώς, προκειμένου να είναι δυνατή η υποστήριξη τόσο των ήδη διαθέσιμων εφαρμογών-υπηρεσιών, είναι αναγκαία η αναβάθμιση των σημερινών υποδομών του δικτύου χαλκού.

Άλλη μια σημαντική παράμετρος που καθιστά αναγκαία την αναβάθμιση του δικτύου πρόσβασης είναι η ταυτόχρονη χρήση δύο ή και περισσότερων εφαρμογών υπηρεσιών από ένα νοικοκυριό. Μπορεί να επιθυμεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιεί το VOIP τηλέφωνο του, να σερφάρει στο Internet με υψηλές ταχύτητες, να παρακολουθεί ένα τηλεοπτικό κανάλι και να καταγράφει ένα άλλο τηλεοπτικό κανάλι. Σε λίγα χρόνια από σήμερα, ένα παράδειγμα των αναγκών μιας τυπικής οικογένειας σε ταχύτητα ευρυζωνικής σύνδεσης, θα έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα.

Υπηρεσία	Mbps
HD TV σήμα για την τηλεόραση του Σαλονιού	9
HD TV εγγραφή σε αποθηκευτικό μέσο	9
Απλό TV σήμα για την τηλεόραση της κουζίνας	4
VoD streaming από τον υπολογιστή των παιδιών	2,5
Βιντεο-κλήση με την γιαγιά στην επαρχία	1,5
Κατέβασμα αρχείων mp3 από τον υπολογιστή	2
Σύνολο	28

(σχ. 4.2) Μελλοντικές ανάγκες τυπικής οικογένειας σε ταχύτητα ευρυζωνικής σύνδεσης

4.3 Πρόβλεψη ζήτησης ευρυζωνικών συνδέσεων

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για μια επιτυχημένη τεχνοοικονομική μελέτη είναι η πρόβλεψη της αγοράς, η οποία είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί με το κατάλληλο μοντέλο αποδοχής (adoption) ή εξάπλωσης (diffusion). Γενικά, ο όρος "αποδοχή" αναφέρεται σε περιπτώσεις ατομικής

επιλογής χρήσης μια συγκριμένης τεχνολογίας, ενώ ο όρος "εξάπλωση" αναφέρεται σε περιπτώσεις γενικευμένης χρήσης μιας νέας τεχνολογίας από την κοινωνία. Οι άνθρωποι δεν αποδέχονται μια νέα υπηρεσία, τεχνολογία ή αγαθό ταυτοχρόνως. Ο Rogers έχει κατηγοριοποιήσει τους ανθρώπους ως προς το χρόνο αποδοχής σε πέντε κατηγορίες: καινοτόμοι (innovators) (2,5%), πρόωρης αποδοχής (early adopters) (13,5%), πρόωρης πλειοψηφίας (early majority) (34%), αργοπορημένης πλειοψηφίας (late majority) (34%) και βραδυκίνητοι (laggards) (16%). [36]

4.3.1 Μοντέλο αποδοχής Fisher-Pry

Η καμπύλη Fisher-Pry έχει μορφή S και το αθροιστικό μερίδιο αγοράς εκφράζεται από τη σχέση [37]:

$$S(t) = m \times \frac{1}{1 + e^{-b(t-a)}} \quad (\text{εξ. 4.1})$$

Όπου:

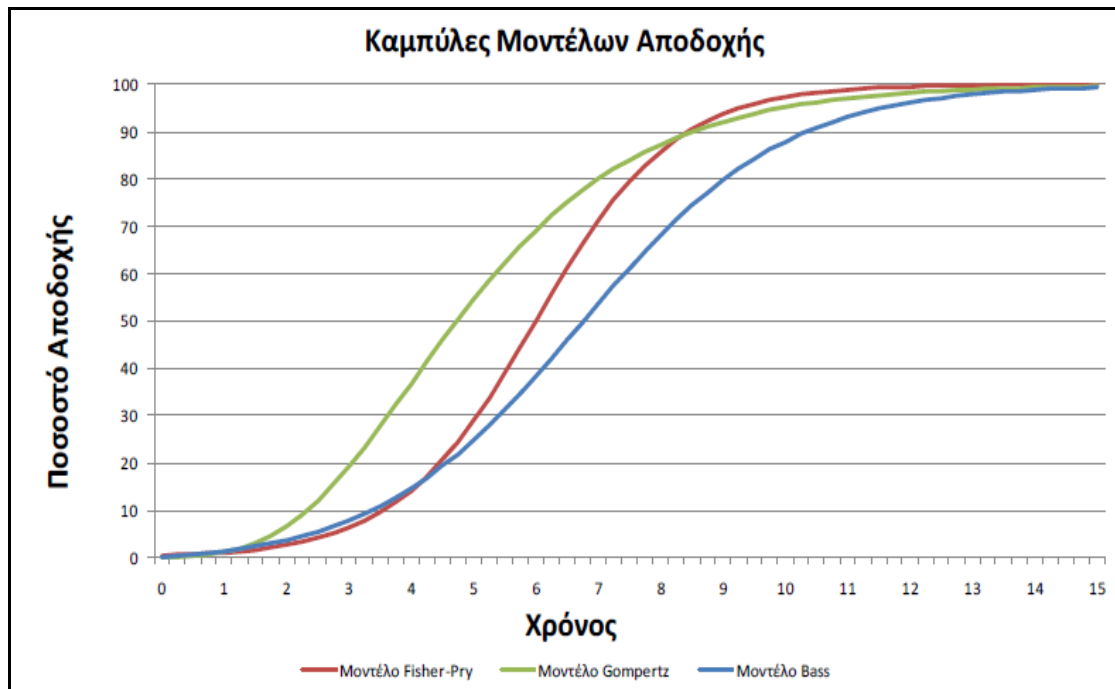
m = Μέγιστη δυνητική αγορά.

a = Σημείο πρόκλησης, το οποίο είναι το σημείο μετάβασης από επιταχυνόμενη ταχύτητα αποδοχής σε επιβραδυνόμενη. Στην καμπύλη Fisher-Pry αυτό συμβαίνει στο 50% της συνολικής αποδοχής.

b = Ρυθμός αποδοχής, όσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει τόσο πιο γρήγορα πραγματοποιείται η αποδοχή.

t = Χρόνος

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μορφή της καμπύλης Fisher-Pry με κόκκινο χρώμα (τιμές: m=100%, a=6 και b=0,9), η οποία όπως φαίνεται, είναι συμμετρική ως προς το σημείο t=a, δηλαδή την αποδοχή κατά 50%. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αποδοχής σε περιπτώσεις αντικατάστασης μιας παλαιάς τεχνολογίας από μια νεώτερη και για αυτό θα μπορούσαμε να θεωρηθεί και ως μοντέλο αντικατάστασης τεχνολογίας



(σχ. 4.3) Καμπύλες διαφόρων μοντέλων αποδοχής

4.3.2 Μοντέλο αποδοχής Gompertz

Η καμπύλη Gompertz παρουσιάστηκε από τον Benjamin Gompertz το 1825 και αποτελεί μια πολύ δημοφιλή καμπύλη για προβλέψεις [37]. Το αθροιστικό μερίδιο αγοράς εκφράζεται από τη σχέση:

$$S(t) = m \times e^{-e^{-b(t-a)}}$$

(εξ. 4.2)

Όπου:

m = Μέγιστη δυνητική αγορά.

a = Σημείο πρόκλησης. Αποτελεί το σημείο κατά το οποίο η αποδοχή φτάνει το 37% της συνολικής αγοράς.

b = Ρυθμός αποδοχής, όσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει τόσο πιο γρήγορα πραγματοποιείται η αποδοχή.

t = Χρόνος

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα στο σχήμα 4.3 που έχει παρατεθεί πιο πάνω, το μοντέλο Gompertz έχει και αυτό μορφή S (για $m=100\%$, $a=4$ και $b=0,5$), διαφέροντας, όμως, από το Fisher-Pry, καθώς είναι ασυμμετρικό. Συγκεκριμένα, το μοντέλο Gompertz υποθέτει ότι η περίοδος της αυξανόμενης ανάπτυξης της αποδοχής είναι μικρότερη από την περίοδο της μειούμενης ανάπτυξης, κατά την οποία η καμπύλη κινείται ασυμπτωτικά στο σημείο κορεσμού.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μοντέλο Gompertz συνήθως προτιμάται περισσότερο από το Fisher-Pry για την εκτίμηση της αποδοχής μια τεχνολογίας από τους καταναλωτές.

4.3.3 Μοντέλο αποδοχής Bass

Το μοντέλο Bass παρουσιάστηκε από τον Frank Bass και είναι σημαντικά επηρεασμένο από τη θεωρία του Rogers [37]. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δύο μοντέλα, το μοντέλο Bass ξεκινά από δύο διακριτές ομάδες αποδοχής: τους καινοτόμους, που είναι οι αρχικοί αποδέκτες, οι οποίοι δεν έχουν επηρεαστεί από κανένα, και τους μιμητές, που μαθαίνουν από προηγούμενους αποδέκτες. Το αθροιστικό μερίδιο αγοράς και σε αυτή την περίπτωση σχηματίζει μια καμπύλη μορφής S (σχήμα 4.3) (για $m=100\%$, $p=0,01$ και $q=0,6$) και εκφράζεται από τη σχέση:

$$S(t) = m \times \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}}$$

(εξ. 4.3)

Όπου:

m = Μέγιστη δυνητική αγορά.

p = Συντελεστής καινοτομίας. Μια υψηλή τιμή οδηγεί ταχύτερη αποδοχή κυρίως στο αρχικό στάδιο. Συνήθως οι τυπικές τιμές κυμαίνονται από 0,005 έως 0,03.

q = Συντελεστής μίμησης. Μια υψηλή τιμή οδηγεί ταχύτερη αποδοχή. Συνήθως, οι τυπικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,3 και 0,6.

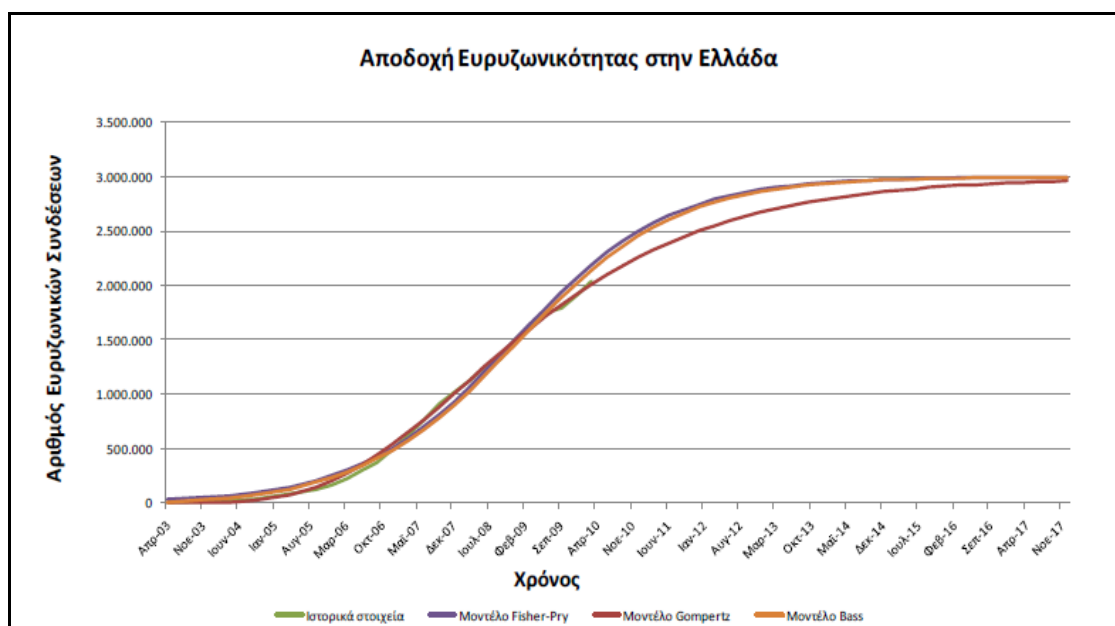
t = Χρόνος

4.3.4 Εκτίμηση παραμέτρων αποδοχής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η κάθε καμπύλη αποδοχής εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους, η σωστή επιλογή των οποίων είναι ίσως πιο σημαντική από ότι η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της καμπύλης στηρίζεται στη χρησιμοποίηση ιστορικών στοιχείων παραπλήσιων προϊόντων ή υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, δοκιμάζοντας κανείς διαδοχικούς συνδυασμούς τιμών των παραμέτρων του κάθε μοντέλου, επιλέγει τελικά τις τιμές εκείνες για τις οποίες η καμπύλη του κάθε μοντέλου ταιριάζει περισσότερο στη μορφή της καμπύλης που σχηματίζεται από τα ιστορικά στοιχεία.

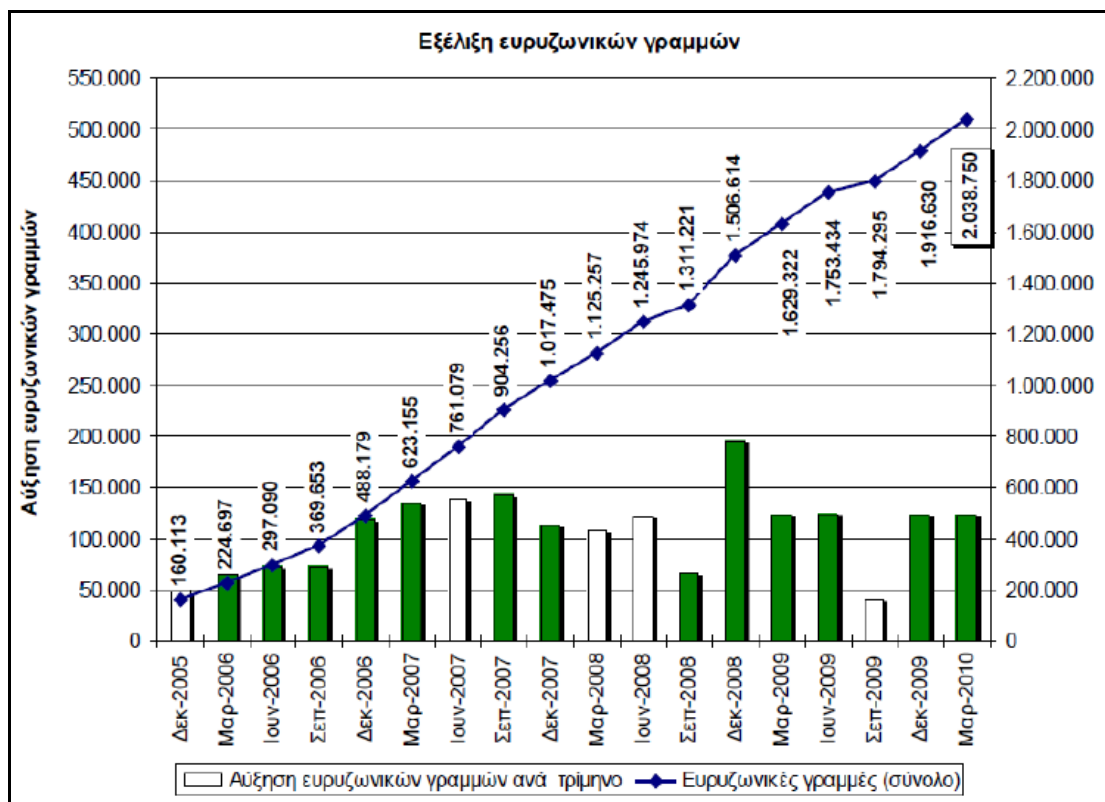
4.3.5 Καμπύλη αποδοχής ευρυζωνικών συνδέσεων

Ο προσδιορισμός της καμπύλης αποδοχής της τεχνολογίας FTTx θα μπορούσε να στηριχτεί με σχετική ασφάλεια στα ιστορικά στοιχεία διάδοσης των ευρυζωνικών συνδέσεων ADSL στην Ελλάδα, καθώς η τεχνολογία ADSL σταδιακά θα παραχωρήσει τη θέση της στη τεχνολογία FTTx. Βάσει των εκτιμήσεων της μελέτης της AT Kearney για την ανάπτυξη της τεχνολογίας FTTx στην Ελλάδα, ο συνολικός αριθμός των νοικοκυριών στη Ελλάδα πλησιάζει τα 3,8 εκατομμύρια. Επιπλέον, η μέγιστη δυνητική αγορά αναμένεται να φτάσει στο 80% του συνολικού αριθμού νοικοκυριών, όπως προκύπτει από αρκετές μελέτες που έχουν εκπονηθεί σε διάφορες χώρες της ευρωπαϊκής αγοράς.[38] Συνεπώς, ο παράγοντας και για τα τρία μοντέλα αποδοχής παίρνει την τιμή $m=80\%$.



(σχ. 4.4) Εκτίμηση αποδοχής ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα

Τοποθετώντας στο σχήμα 4.4 τα ιστορικά δεδομένα του αριθμού ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ελλάδα, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις διάφορες μελέτες για την αποδοχή των ADSL ευρυζωνικών συνδέσεων [39] κατά το χρονικό διάστημα που έγινε η εισαγωγή τους στην αγορά (2005 – 2010), προσδιορίζονται οι τιμές των παραγόντων a , b , p και q , για τις οποίες οι καμπύλες Fisher-Pry, Gompertz και Bass προσεγγίζουν την μορφή της καμπύλης των ιστορικών στοιχείων.



(σχ. 4.5) Εξέλιξη ευρυζωνικών γραμμών στην Ελλάδα για τη διείσδυση τη τεχνολογία ADSL [39]

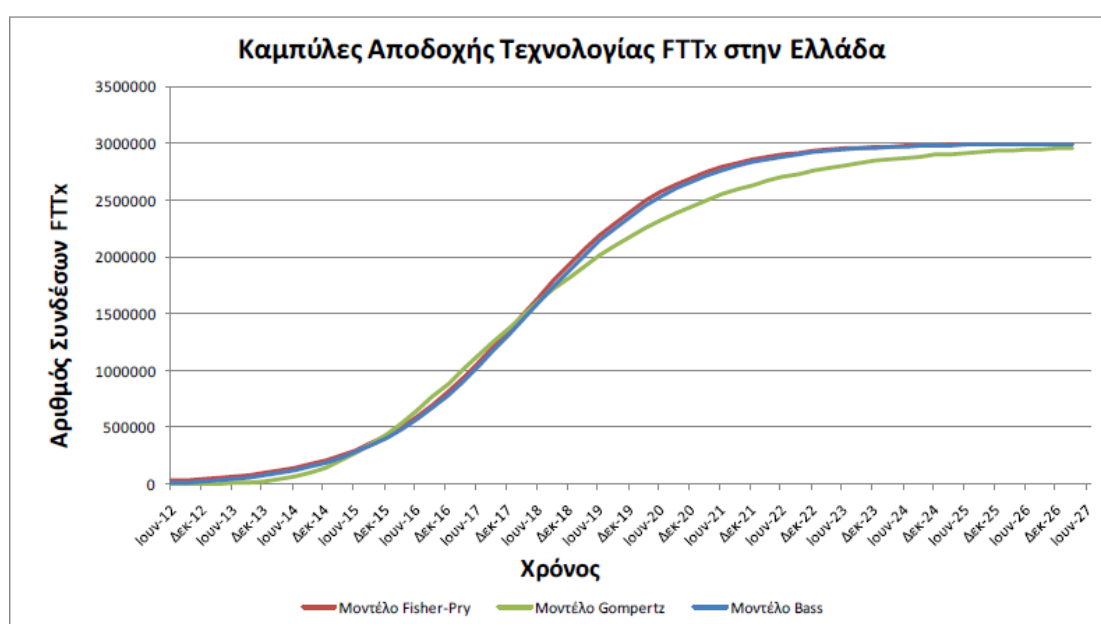
Οι τιμές των παραγόντων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Fisher-Pry	Gompertz	Bass
m	80%	80%	80%
a	6	5,2	—
b	0,8	0,45	—
p	—	—	0,007
q	—	—	0,77

(σχ. 4.6) Τιμές παραμέτρων μοντέλων αποδοχής για την Ελλάδα

4.3.6 Καμπύλη αποδοχής τεχνολογίας FTTx στην Ελλάδα

Για τον προσδιορισμό της αποδοχής που αναμένεται να έχει η τεχνολογία FTTx στην ελληνική αγορά, θα στηριχτούμε στην παραδοχή ότι τα καταναλωτικό κοινό θα επιδείξει ανάλογη συμπεριφορά με αυτή που επιδεικνύει στην περίπτωση των ευρυζωνικών συνδέσεων. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες αποδοχής της τεχνολογίας FTTx για τα μοντέλα Fisher-Pry, Gompertz και Bass με βάση το γεγονός ότι τα πρώτα δίκτυα κατασκευάστηκαν μέσα στη περίοδο 2011 - 2012 και οι πρώτες συνδέσεις FTTx ήταν διαθέσιμες το 2012.



(σχ. 4.7) Εκτίμηση αποδοχής της τεχνολογίας FTTx στην Ελλάδα

Χρησιμοποιώντας τις καμπύλες του σχήματος 4.7, προσδιορίζονται τα ποσοστά αποδοχής της τεχνολογίας FTTx ανά έτος και ανά μοντέλο όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για λόγους απλότητας γίνεται η παραδοχή ότι το καταναλωτικό κοινό θα συμπεριφερθεί με τον ίδιο τρόπο προς όλες τις εξεταζόμενες λύσεις FTTx που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Κάτι τέτοιο, όμως, δεν είναι απολύτως σωστό, καθώς είναι πολύ πιθανό αρκετοί πελάτες να είναι πιο επιφυλακτικοί με την τεχνολογία FTTH σε σχέση με την τεχνολογία FTTC, δεδομένου ότι οι ίδιοι θα πρέπει να εκτελέσουν εργασίες κατασκευής νέας εσωτερικής καλωδίωσης στα σπίτια τους.

Έτος	Ποσοστό αποδοχής τεχνολογίας FTTx ανά έτος		
	Μοντέλο Fisher-Pry	Μοντέλο Gompertz	Μοντέλο Bass
2012	1,18%	0,05%	0,57%
2013	2,58%	0,71%	2,03%
2014	5,53%	3,94%	5,05%
2015	11,35%	11,72%	10,85%
2016	21,52%	23,51%	20,83%
2017	36,01%	36,64%	34,96%
2018	51,65%	48,63%	50,36%
2019	64,17%	58,24%	63,00%
2020	72,02%	65,34%	71,18%
2021	76,21%	70,31%	75,69%
2022	78,25%	73,68%	77,96%
2023	79,20%	75,91%	79,05%
2024	79,64%	77,37%	79,56%
2025	79,84%	78,31%	79,80%
2026	79,93%	78,92%	79,91%
2027	79,97%	79,31%	79,96%
2028	79,99%	79,56%	79,98%
2029	79,99%	79,72%	79,99%
2030	80,00%	79,82%	80,00%
2031	80,00%	79,89%	80,00%

(σχ. 4.8) Ποσοστά αποδοχής τεχνολογίας FTTx ανά έτος και μοντέλο

Τα ποσοστά εκτίμησης που φαίνονται στο παραπάνω πίνακα επαληθεύονται σε μεγάλο βαθμό και από τις μελέτες αγοράς των τελευταίων χρόνων από τους μεγάλους παρόχους της Ελλάδας. Σύμφωνα με την ΕΕΤΤ, στο επόμενο στάδιο ευρυζωνικών υπηρεσιών (VDSL) έχει πρόσβαση πάνω από το 30% των νοικοκυριών στο τέλος του 2014. [42] [44]

Στην αρχή της παροχής των νέων συνδέσεων (2012) παρατηρήθηκε πολύ χαμηλή ζήτηση που δεν ξεπέρασε τα ποσοστά που δίνονταν στην αρχή του μοντέλου. Οι βασικότεροι λόγοι ήταν, όπως αναμενόταν, οι υψηλές τιμές, από τη στιγμή που μόνο ο μεγαλύτερος εν Ελλάδι πάροχος μπορούσε να παρέχει τις υποδομές και η μικρή προσβασιμότητα.

Τα μετέπειτα χρόνια (2013 και 2014) υπήρξε άνοδος, με μεγαλύτερη αυτή που σημειώθηκε μέσα στο 2014. Ενδεικτικά να παραθέσουμε για τον ΟΤΕ που κατέχει με βάση τα πρόσφατα στοιχεία το 40% του συνολικού μεριδίου αγοράς ευρυζωνικών συνδέσεων [42] ότι πάνω από 55.000 συνδρομητές είχαν προτιμήσει τις νέες συνδέσεις στο τέλος του 2013, φτάνοντας στο 4% της διείσδυσης στη βάση του. Μικρότερο ήταν για τους υπόλοιπους παρόχους (CYTA, Forthnet, Hellas On Line, κτλ) όπου κατά το 2013 έκαναν τις πρώτες κινήσεις τους, με αποτέλεσμα το αντίστοιχο ολικό ποσοστό να μην υπερβεί τα πλαίσια των τιμών που έχουν προβλεφθεί στο σχήμα 4.8.[43]

Το 2014 η άνοδος ήταν μεγαλύτερη. Στο τελευταίο τρίμηνο του χρόνου μόνο ο ΟΤΕ είχε σχεδόν διπλασιάσει τους συνδρομητές νέων ευρυζωνικών υπηρεσιών VDSL ξεπερνώντας τις 93.000 [44], ενώ σημαντικότερη άνοδο είχαν και οι επιμέρους πάροχοι που κυμαίνονται στο 4% με 5% επί του συνόλου του μεριδίου τους. [45] Με βάση αυτά τα δεδομένα επαληθεύονται τα «όρια ανοχής» των προβλέψεων των μαθηματικών μοντέλων όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8.

4.4 Εκτίμηση εσόδων ευρυζωνικών συνδέσεων FTTx

Ο καθορισμός του μέσου εσόδου ανά συνδρομητή (**Average Revenue Per User - ARPU**) των νέων ευρυζωνικών συνδέσεων FTTx θα στηριχθεί στο υφιστάμενο ARPU των υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης ADSL. Συμφωνά με τα στοιχεία του Παρατηρητηρίου για την Κοινωνία της Πληροφορίας [41], τα τελευταία χρόνια λόγω του ανταγωνισμού και της ραγδαίας αύξησης του αριθμού των ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ελλάδα, έχουν σημειωθεί σημαντικές μειώσεις το μέσου λιανικού κόστους.

Τα τελευταία δύο χρόνια, το μηνιαίο ARPU έχει σταθεροποιηθεί κοντά στα 20 ευρώ, ενώ ταυτόχρονα οι παρεχόμενες ταχύτητες πρόσβασης αυξάνονται διαρκώς. Συνεπώς, μπορεί οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι να μειώνουν διαρκώς τις τιμές των πακέτων τους, όμως λόγω του ότι όλο και περισσότεροι πελάτες προτιμούν πακέτα πρόσβασης υψηλότερων ταχυτήτων, το ARPU διατηρείται σταθερό.

Προκειμένου να καθορισθεί το ARPU των νέων ευρυζωνικών συνδέσεων FTTx, γίνεται η παραδοχή ότι το ARPU θα διατηρηθεί σταθερό στα 20 ευρώ και στην τεχνολογία FTTx, συνεχίζοντας, έτσι, στη λογική ότι με το ίδιο κόστος ο πελάτης θα απολαμβάνει υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης. Σημειώνεται ότι και η AT Kearney [38] φτάνει σε ανάλογη παραδοχή, θεωρώντας το ARPU ίσο με 17 - 19 ευρώ μηνιαίως.

Κεφάλαιο 5ο

Οικονομοτεχνική ανάλυση λύσεων FTTx

Εισαγωγή

Το πιο κρίσιμο βήμα για την απόφαση υλοποίησης ενός δικτύου οπτικών ινών από μια εταιρία ή πάροχο είναι η οικονομοτεχνική ανάλυση και μελέτη του έργου. Από εκεί θα εξαχθούν όλα τα χρήσιμα συμπεράσματα, τόσο για το κόστος υλοποίησης, όσο και για τα λειτουργικά κόστη. Επομένως θα υπάρχει ξεκάθαρη άποψη για τη βιωσιμότητα του εγχειρήματος, σε συνδυασμό βέβαια και με την απόκριση της αγοράς και των υποψηφίων πελατών στα νέα δεδομένα.

Από οποιοδήποτε πρίσμα και αν δοθεί, η λύση των FTTx δικτύων νέας γενιάς είναι το επόμενο βήμα στις τηλεπικοινωνίες για κάθε πάροχο, με τη λογική των αυξανόμενων απαιτήσεων της σύγχρονου κόσμου και τη διαρκή κάλυψη τους, όπως παρουσιάστηκε στα κεφάλαια 1 και 4. Εξάλλου εκεί οδεύουν και στην Ελλάδα οι κινήσεις των μεγάλων εταιριών που έχουν σημαντικά μερίδια της αγοράς. Σύμφωνα με την ΕΕΤΤ, λαμβάνονται σοβαρά υπόψη οι νέες τεχνολογίες και οι εθνικοί στόχοι διαθεσιμότητας και χρήσης ευρυζωνικών συνδέσεων υψηλών και υπέρ-υψηλών ταχυτήτων έχουν τεθεί στο επίπεδο αυτών της ευρωπαϊκής ένωσης, επιδιώκοντας να λειτουργήσουν ως καταλύτης στην Ψηφιακή Ανάπτυξη. Μάλιστα έχουν τεθεί ως στόχοι: [42]

- έως το 2020, διαθεσιμότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο με ταχύτητες άνω των 30Mbps για όλους τους Έλληνες,
- έως το 2020, τουλάχιστον 50% των ελληνικών νοικοκυριών να διαθέτουν σύνδεση στο διαδίκτυο με ταχύτητα άνω των 100Mbps

Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών καλούνται σήμερα να χαράξουν τη στρατηγική τους, επιλέγοντας την ιδανική τεχνολογική λύση ανάμεσα σε μια πληθώρα επιλογών που αφορούν την τοπολογία, την τεχνολογία και το βαθμό συμμετοχής της οπτικής ίνας στη διαμόρφωση του τοπικού βρόχου. Όπως έχει δειχθεί και στο κεφάλαιο 3, οι διαφορετικές υλοποιήσεις των FTTx είναι πολλές, όμως οι τρεις πιο σημαντικές είναι οι παρακάτω:

1. το **FTTH P2P – Homerun**
2. το **FTTH P2M GPON** παθητικό δίκτυο και

3. το FTTC/FTTB με τη χρήση τεχνολογίας VDSL2

Το πρώτο σενάριο "FTTH - HomeRun" απαιτεί την ύπαρξη ενός ζεύγους οπτικών ινών από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο έως το χώρο του κάθε τελικού χρήστη. Το δεύτερο σενάριο "FTTH GPON" απαιτεί την ύπαρξη, τόσο ενός ζεύγους οπτικών ινών από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο έως το ΚΑΦΑΟ, όσο και ενός ζεύγους οπτικών ινών από το ΚΑΦΑΟ έως το κτήριο του κάθε τελικού χρήστη. Τόσο, στο ΚΑΦΑΟ όσο και στο κτήριο του πελάτη γίνεται χρήση παθητικού εξοπλισμού GPON (Διαιρέτης Ισχύος ή διακλαδωτής (splitter)). Τέλος το τρίτο και τελευταίο σενάριο "FTTC - VDSL" απαιτεί την ύπαρξη ενός ζεύγους οπτικών ινών από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο έως το ΚΑΦΑΟ, καθώς και την ταυτόχρονη εγκατάσταση ενός VDSL DSLAM μέσα στο ΚΑΦΑΟ. Σε αυτή την περίπτωση, από το ΚΑΦΑΟ μέχρι το τελικό χρήστη χρησιμοποιείται το υπάρχον δίκτυο χαλκού.

Χαρακτηριστικά	FTTH - HomeRun	FTTH - GPON	FTTC - VDSL
Χρήση Οπτικής Ίνας	Αποτελεί τη λύση με το μεγαλύτερο συνολικό μήκος οπτικής ίνας	Αποτελεί τη λύση με αρκετά μικρότερο συνολικό μήκος οπτικής ίνας σε σχέση με το homeRun	Αποτελεί τη λύση με το μικρότερο συνολικό μήκος οπτικής ίνας
Ρυθμοί μετάδοσης	100 MBps	100 MBps	Μέχρι 100 MBps
Απόσταση Κάλυψης	Μέχρι 70 Km	Μέχρι 20 Km	Μέχρι 300 m
Δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης	Διαθέτει τις περισσότερες δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης (πχ 1 Gbps ή και περισσότερο)	Σημαντικές δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης (πχ 1 Gbps με τη χρήση τεχνολογίας WDM)	Όχι
Κατανάλωση Ρεύματος	Ελάχιστη καθώς αποτελείται από παθητικό εξοπλισμό	Ελάχιστη καθώς αποτελείται από παθητικό εξοπλισμό	Απαιτεί την παροχή ρεύματος στα ΚΑΦΑΟ καθώς ο εξοπλισμός VDSL DSLAM απαιτεί τροφοδοσία

(σχ. 5.1) Σύγκριση των τριών δημοφιλέστερων σεναρίων ανάπτυξης δικτύων FTTx

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται η οικονομοτεχνική αξιολόγηση των παραπάνω σεναρίων, αφού πρώτα υπολογιστεί το κόστος κατασκευής των δικτυακών υποδομών της κάθε λύσης. Είναι προφανές ότι το κόστος

κατασκευής ενός νέου δικτύου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την πληθυσμιακή πυκνότητα της περιοχής που πρόκειται να εξυπηρετήσει. Συνεπώς, είναι λογικό να αναμένεται μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος σε αραιοκατοικημένες ή επαρχιακές περιοχές σε σχέση με τις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, αφού με πολύ μικρότερα μήκη οπτικών ινών εξυπηρετούνται περισσότεροι συνδρομητές. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε μια αντιπροσωπευτική περιοχή της Αθήνας, μέσης πληθυσμιακής πυκνότητας, έτσι ώστε η ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί να προσεγγίσει το μέσο κόστος υλοποίησης των δικτυακών υποδομών της κάθε λύσης.

5.1 Βασικοί συντελεστές κόστους

Η κατασκευή και η λειτουργία ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης, αποτελεί ένα δύσκολο έργο, ιδιαίτερα από την στιγμή που απαιτεί μεγαλύτερη δυνατή και ταυτόχρονα αξιόπιστη προσέγγιση της πραγματικότητας. Τα δύο βασικά σκέλη ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι τα έσοδα και τα έξοδα. Είναι χαρακτηριστικό ότι αν και τα οπτικά δίκτυα αποτελούν πλέον την τρέχουσα τεχνολογία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από έργα χαμηλής τεχνολογίας, όπως π.χ. η διάνοιξη τράφων, τα οποία εκτιμάται ότι διαμορφώνουν πολλές φορές τη πλειοψηφία του συνολικού κόστους κατασκευής. Μόνο εάν αναλυθούν με αποτελεσματικό τρόπο τόσο τα έξοδα όσο και τα έσοδα, μπορεί να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για το εάν και κατά πόσο αξίζει οικονομικά η κατασκευή ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης.

Δύο βασικά οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται με τα δίκτυα FTTx είναι τα **κόστη CAPEX και OPEX** [46], τα οποία αναλύονται στη συνέχεια, ενώ οι παράγοντες που συνεισφέρουν είτε ως έσοδα είτε ως έξοδα στο δίκτυο FTTH είναι οι εξής:[47]

- Παθητική υποδομή: αποτελεί τη φυσική υποδομή η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης και αποτελείται συνήθως από αγωγούς, σωληνώσεις, φρεάτια καλώδια οπτικών ινών, οπτικούς καταναμητές, χώρους φιλοξενίας των κόμβων διασύνδεσης, κλπ.
- Ενεργή υποδομή: αποτελείται από τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων πάνω στην παθητική υποδομή, όπως μεταγωγείς (switches) και δρομολογητές (routers).
- Παροχή υπηρεσιών: μερικές από τις παρεχόμενες στους πελάτες υπηρεσίες είναι η πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας κλπ.
- Εταιρία λειτουργίας του δικτύου: η εταιρία αυτή αξιοποιεί την παθητική και ίσως και την ενεργή υποδομή του δικτύου. Ανάλογα το

επιχειρηματικό μοντέλο, η εταιρία αυτή μπορεί να πουλά πρόσβαση σε άλλες εταιρίες, οι οποίες με την σειρά τους παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες ή μπορεί να παρέχει και η ίδια απευθείας υπηρεσίες στους πελάτες. Επίσης, η εταιρία αυτή μπορεί να είναι ο ιδιοκτήτης της παθητικής υποδομής ή μπορεί να έχει σχετικό συμβόλαιο με τον ιδιοκτήτη της υποδομής.

- Πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και Πάροχοι περιεχομένου: Οι εταιρίες αυτές παρέχουν υπηρεσίες και περιεχόμενο στους τελικούς χρήστες.
- Δημόσιος τομέας, οικιακοί/εταιρικοί χρήστες: αποτελούν τους τελικούς χρήστες (συνδρομητές) και αποτελούνται από όλες εκείνες τις επιχειρήσεις, τους κατοίκους και τους οργανισμούς του Δημόσιου τομέα στην περιοχή εκείνη την οποία εξυπηρετεί το ευρυζωνικό δίκτυο.

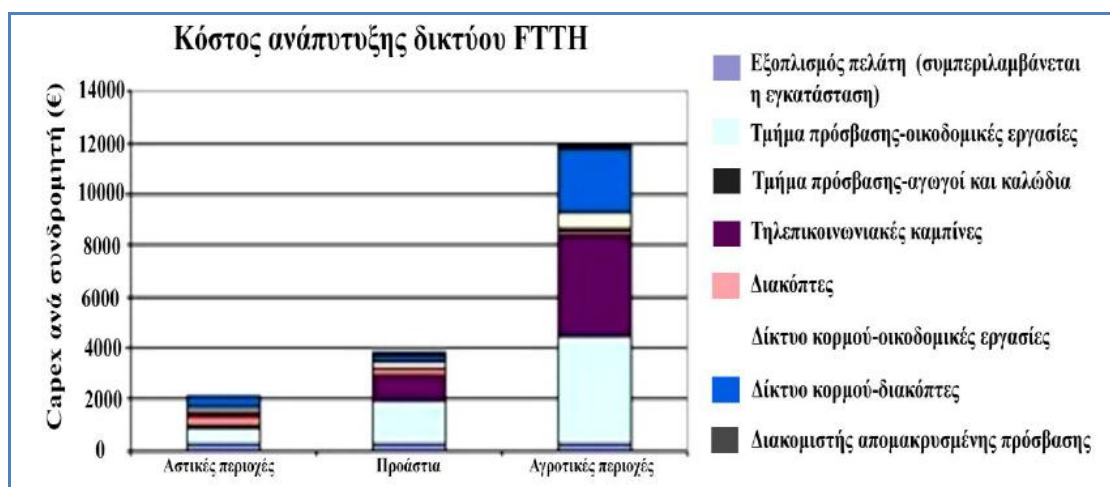
5.1.1 Κόστος CAPEX

Ως CAPEX (Capital Expenditure) ορίζονται οι δαπάνες/κόστη που σχετίζονται με την κατασκευή ή την επέκταση του πάγιου ενεργητικού (δηλαδή των σταθερών πόρων, όπως για παράδειγμα η υποδομή του δικτύου), οι οποίες υπόκεινται σε μείωση κατά τη διάρκεια της οικονομικής ζωής ενός προγράμματος έργου. Το CAPEX είναι απαραίτητο για τη δημιουργία νέων υπηρεσιών ή για τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων, αλλά και γενικότερα για την αναβάθμιση των δραστηριοτήτων των εταιριών. Η κατασκευή ενός δικτύου, η υλοποίηση δικτυακών συσκευών αλλά και η απόκτηση συστημάτων λογισμικού, απαιτούν σημαντικά χρηματικά ποσά. Ένας εναλλακτικός ορισμός του όρου CAPEX είναι τα κεφάλαια που χρησιμοποιούνται από μια εταιρεία για την απόκτηση ή την αναβάθμιση υλικών περιουσιακών στοιχείων, όπως ακίνητα, βιομηχανικά κτίρια ή εξοπλισμός. Αυτό το είδος της δαπάνης γίνεται από τις εταιρείες προκειμένου να διατηρήσουν ή να αυξήσουν το πεδίο των δραστηριοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος CAPEX αποτελείται από:

- Παθητικό εξοπλισμό: εργασίες εκσκαφής, δημιουργία φρεατίων, προμήθεια και εγκατάσταση σωληνώσεων, μικρο-σωληνώσεων, κατανεμητών και οπτικών ινών.
- Ενεργό εξοπλισμό: μεταγωγείς (switches), δρομολογητές (routers) και δέκτες (transceivers).
- Εργασίες: εκσκαφές, συγκολλήσεις, αποκαταστάσεις.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους CAPEX και ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα τελευταία 5 χρόνια το κόστος αυτό έχει μειωθεί κατά 40%.

Όταν εγκαθίσταται ένα νέο δίκτυο FTTx, τα κυρίαρχα κόστη θα είναι αναπόφευκτα αυτά των οικοδομικών εργασιών, των αγωγών και των καλωδίων. Στο επόμενο σχήμα 5.2, παρουσιάζονται τα επιμέρους κόστη οικοδομικών εργασιών και καλωδίων στο τμήμα πρόσβασης, τα οποία κλιμακώνονται σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές εξαιτίας των μεγαλύτερων αποστάσεων. Επιπλέον στις αγροτικές περιοχές τα καλώδια και οι αγωγοί στο τμήμα κορμού συνεπάγονται ένα υψηλότερο CAPEX από ότι το συνολικό κόστος ανάπτυξης του FTTx σε αστικό περιβάλλον.[46]



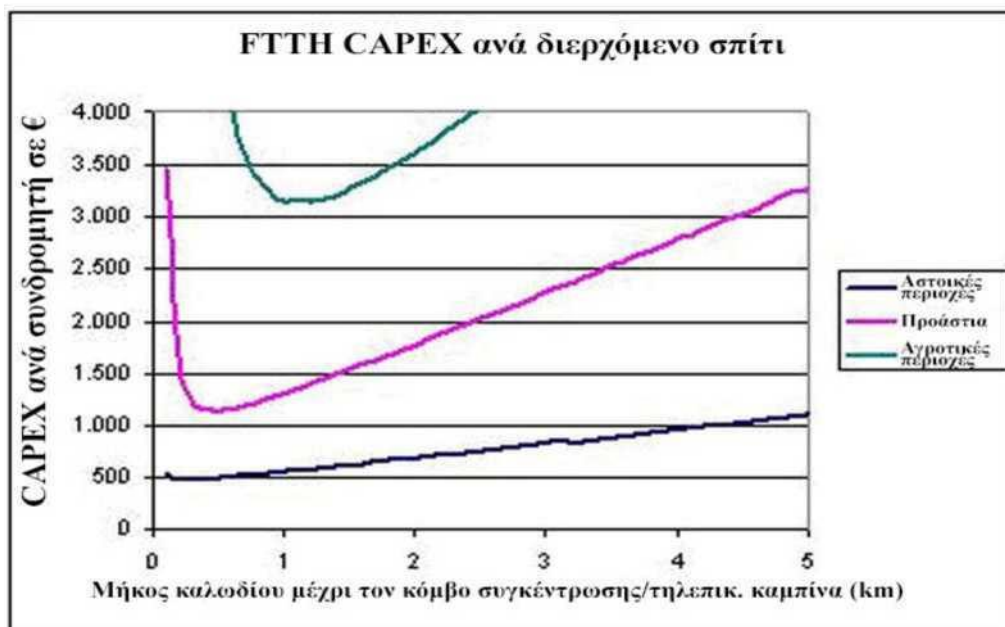
(σχ. 5.2) Ανάλυση των δομών του κόστους δικτύου FTTH [46]

Σε γενικές γραμμές κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μίας τέτοιας υποδομής, υπάρχουν διάφοροι παράμετροι απόφασης που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το κόστος δικτύου. Για τα δίκτυα FTTH, μια από τις παραμέτρους αυτές είναι το μέσο μήκος των ινών στους κόμβους συγκέντρωσης. Ανάλογα με το κόστος του εξοπλισμού του κόμβου συγκέντρωσης, υπάρχει μία απόσταση ινών που ελαχιστοποιεί το κόστος εγκατάστασης και το μήκος αυτό ποικίλει.

Κατά την ανάπτυξη μίας υποδομής FTTH, όλα τα σπίτια που βρίσκονται στην περιοχή ανάπτυξης συνδέονται μεταξύ τους με ένα καλώδιο οπτικών ινών, ανεξάρτητα από το ποσοστό διείσδυσης. Αυτό σημαίνει ότι το κυρίαρχο στοιχείο του κόστους των οικοδομικών εργασιών, των καλωδίων και των αγωγών είναι σταθερό. Το αποτέλεσμα είναι, ότι όσο περισσότερους συνδρομητές έχει μια εταιρία παροχής υπηρεσιών δικτύου FTTH, τόσο μικρότερο είναι το κόστος ανά συνδρομητή. Ένας άλλος τρόπος για την

μέτρηση του κόστους του δικτύου FTTH είναι το κόστος ανά διερχόμενο σπίτι αντί ανά συνδρομητή.

Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζεται το κόστος εγκατάστασης του δικτύου FTTH σε σχέση με το μήκος των οπτικών ινών προς τον πρώτο κόμβο συγκέντρωσης/τηλεπικοινωνιακή καμπίνα. [46]



(σχ. 5.3) Βελτιστοποίηση κόστους σε δίκτυο FTTH

Επίσης, τα διάφορα κόστη ποικίλουν ανάλογα με το τμήμα του δικτύου που μελετάται, όπως π.χ. το κεντρικό γραφείο, η διανομή ή τα έξοδα εγκατάστασης μίας οικίας. Οι παράγοντες που αυξάνουν τα κόστη επένδυσης ενός τέτοιου δικτύου είναι μεταξύ άλλων η χαμηλότερη πυκνότητα νοικοκυριών, οι υψηλότερες γραμμικές αποστάσεις μεταξύ τους, τα λιγότερα σπίτια που υποστηρίζονται ανά κεντρικό γραφείο (CO), οι περισσότερες υπόγειες συσκευές και οι ακριβότερες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Το τελευταίο κόστος μπορεί να μειωθεί ανάλογα με το πακέτο προσφοράς που επιλέγει ο συνδρομητής.

5.1.2 Κόστος OPEX

Ως OPEX (Operational Expenditure) ορίζονται όλες εκείνες οι λειτουργικές δαπάνες/κόστη μιας επιχείρησης, οι οποίες έχουν άμεση σχέση με τα προσφερόμενα προϊόντα/ υπηρεσίες. Ένας εναλλακτικός ορισμός του όρου OPEX είναι ότι περιέχει όλα εκείνα τα είδη δαπανών που δεν περιλαμβάνονται στο CAPEX. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι τα

όρια ανάμεσα στο CAPEX και στο OPEX δεν είναι σαφώς καθορισμένα, διότι ορισμένες δαπάνες όπως π.χ. αυτές που σχετίζονται με το λογισμικό είναι ανάμεσα στο CAPEX και στο OPEX, επειδή συσχετίζονται και με τα δύο. Πιο συγκεκριμένα το OPEX αποτελείται από: [47]

- Κόστη σχετιζόμενα με το χρήστη, όπως π.χ. εγκατάσταση εξοπλισμού (υφίσταται μία φορά), χρέωση (επαναλαμβανόμενο κόστος), κέντρο λειτουργίας δικτύου (επαναλαμβανόμενο κόστος) κλπ.
- Κόστη σχετιζόμενα με τον εξοπλισμό, όπως π.χ. συντήρηση (επαναλαμβανόμενο κόστος), κατανάλωση ενέργειας (επαναλαμβανόμενο κόστος), κόστος χρήσης χώρων (επαναλαμβανόμενο κόστος).

Τα έξοδα λειτουργίας (OPEX) αποτελούν έναν εν' γένει μικρότερο παράγοντα κόστους από τα έξοδα κατασκευής ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης. Περιλαμβάνουν τα έξοδα για διάφορα μισθώματα, έξοδα συντήρησης, μισθοδοσίας, παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κλιματισμού κλπ. Τα ετήσια έξοδα συντήρησης θεωρούνται πρακτικά σταθερά. Συγκεκριμένα για παθητικό εξοπλισμό υπολογίζονται στο 0,5% με 2% της συνολικής αξίας του αντίστοιχου εξοπλισμού, ενώ για ενεργό οπτικό εξοπλισμό στο 8%. Οι διάφοροι κατασκευαστές εξοπλισμού ανακοινώνουν την κατανάλωση με βάση τον αριθμό των θυρών που λειτουργούν. Σε αυτό το κόστος θα πρέπει να προστεθεί επίσης και η κατανάλωση ρεύματος των ενεργών στοιχείων των εξωτερικών μονάδων (OSP - Outsider Plan), όπως είναι για παράδειγμα οι μεταγωγείς (switches) Ethernet.

Επίσης, η κατανάλωση ανά θύρα διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Έτσι μια θύρα WDM PON έχει μεγαλύτερη κατανάλωση από μία αντίστοιχη θύρα GPON, ενώ μία θύρα 10 Gbps Active Ethernet έχει μεγαλύτερη κατανάλωση από μία θύρα 1 Gbps Active Ethernet. Στην καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια δεν υπολογίζεται αυτή του εξοπλισμού των συνδρομητών (CPE), μιας και επιβαρύνει το συνδρομητή. Στο ολικό ποσό πρέπει να προστεθεί και η καταναλωθείσα ενέργεια από τον Πάροχο για την κάλυψη λοιπών αναγκών, όπως για παράδειγμα η ψύξη και η θέρμανση.

Τα μισθώματα αναφέρονται στη μίσθωση του κεντρικού γραφείου (CO) και σε πιθανή ετήσια πληρωμή κάποιου ΟΤΑ για τα δικαιώματα διέλευσης. Για τον ακριβή υπολογισμό αρκεί η γνώση των τετραγωνικών μέτρων που καταλαμβάνουν και του μέσου ετήσιου μισθώματος ανά τετραγωνικό μέτρο και το γινόμενο τους δίνει το ολικό κόστος. Για τα δικαιώματα διέλευσης (αν υπάρχουν) χρειάζεται η γνώση του ποσού, το οποίο προσδιορίζεται είτε μέσω της νομοθεσίας είτε μετά από διαπραγμάτευση με τον ΟΤΑ. Το κόστος μισθοδοσίας εξαρτάται από το πλήθος των εργαζομένων και προκύπτει από

το άθροισμα των επιμέρους ετήσιων αποδοχών όλων των εργαζομένων. Σε αυτό πρέπει να προστεθεί το ετήσιο κόστος λιανικής, το οποίο επιμερίζεται σε κόστος απόκτησης πελατών, κόστος διαφήμισης και Marketing, χρέωση τηλεφωνικής και τεχνικής υποστήριξης (τιμολόγηση συν το κόστος αποστολής λογαριασμού) και εξυπηρέτηση πελατών. [47]

5.2 Υπολογισμός κατασκευαστικού κόστους

Το κόστος υλοποίησης ενός δικτύου οπτικών ινών είναι ίσως το βασικότερο κομμάτι της ανάλυσης διότι περιέχει το μεγαλύτερο μέρος του κόστους στη συνολική διάρκεια χρήσης του έργου. Όπως έχει ειπωθεί στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, τρεις διαφορετικοί δικτύων FTTx είναι σημαντικοί και θα εξεταστούν στη συνέχεια:

- το FTTH P2P - Homerun,
- το FTTH P2M GPON παθητικό δίκτυο και
- το FTTC/FTTB με τη χρήση τεχνολογίας VDSL2.

Τα τρία αυτά δίκτυα θα υπολογιστούν για μια γεωγραφική περιοχή μέσης πληθυσμιακής πυκνότητας αστικού τύπου. Ο βασικότερος λόγος αυτής της επιλογής είναι ότι μπορεί να υπολογιστεί ένας μέσος όρος κόστους δικτύου ανάμεσα σε εξαιρετικά πυκνές περιοχές και σε πιο ισχνές αστικές περιοχές (κυρίως βασικές επαρχιακές πόλεις). Επίσης τέτοιου τύπου περιοχές είναι οι πρώτες που έχουν την προσοχή εταιριών και παρόχων λόγω γεωγραφικής θέσης (Αττική), αφού προφανώς συγκεντρώνεται μεγαλύτερο ποσοστό υποψήφιων συνδρομητών. [39][38]

Η περιοχή που επιλέγεται με αυτά τα χαρακτηριστικά ανήκει στο Δήμο Παλαιού Φαλήρου. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνονται τα όρια αυτής της περιοχής, η οποία οριοθετείται από τους δρόμους Λ. Ποσειδώνος, Πικροδάφνης, Λ. Αμφιθέας, Αγ. Τριάδος, Ζησιμοπούλου και Λ. Συγγρού και περιλαμβάνει σύμφωνα με τοπογραφικές και πολεοδομικές μελέτες, 170 οικοδομικά τετράγωνα με 2005 κτήρια και 12.000 κατοικίες – υποψήφιους συνδρομητές.[40]

Το Αστικό κέντρο (Α.Κ. ΚΑΛΑΜΑΚΙΟΥ), επίσης διαφαίνεται στο σχήμα και είναι το σημείο όπου θα υπολογιστεί και ο αντίστοιχος χώρος για τις διάφορες υλοποιήσεις που θα ακολουθήσουν. Είναι η συγκεκριμένη τοποθεσία είχε επιδεχθεί και για τα προϋπάρχοντα παλαιότερης γενιάς δίκτυα λόγω της προσβασιμότητας της θέσης της και της βελτιστοποίησης των έργων συντηρήσεων και κόστους δικτύου.



(σχ. 5.4) Περιοχή Παλαιού Φαλήρου μέσης πληθυσμιακής πυκνότητας

5.2.1 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTH - Homerun

Το πρώτο προς εξέταση δίκτυο είναι ,που αναμένεται ότι θα επιφέρει στην αρμόδια εταιρία και το πιο πολυσύνθετο κόστος, είναι το FTTH – Homerun. Το συνολικό κόστος κατασκευής ενός δικτύου FTTH - homerun αποτελείται από:

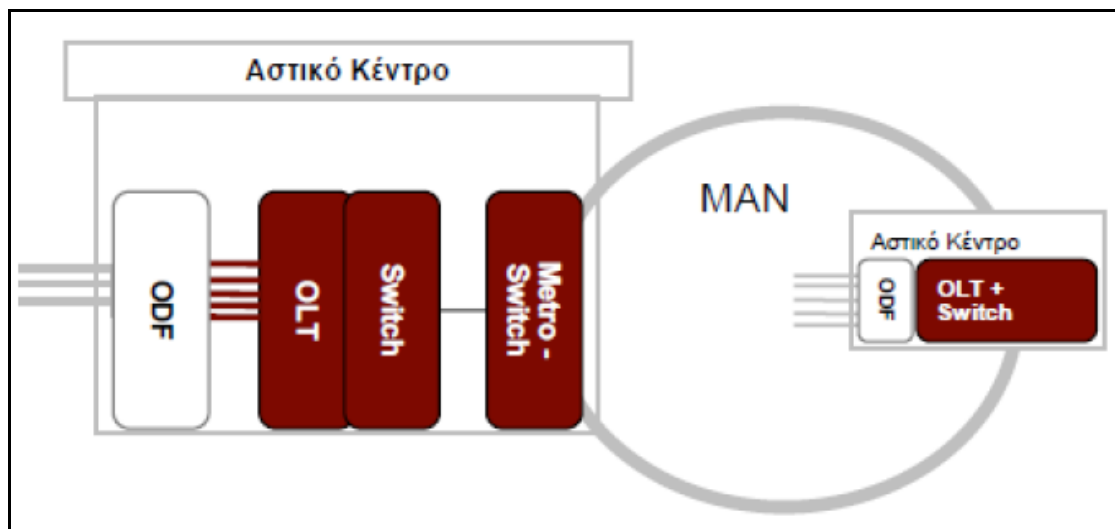
- το κόστος του CO (Central Office),
- το κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής και
- το κόστος της εσωτερικής καλωδίωσης και του εξοπλισμού του πελάτη.

Κάθε ένα από τα τρία μέρη του συνολικού κόστους, θα αναλυθεί ξεχωριστά ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη εποπτεία του έργου. Σε όλη την ανάλυση θα λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα της περιοχής όπως έχουν καθοριστεί πιο πάνω, όσο αναφορά την πλήρη κάλυψη των υποψηφίων συνδρομητών με βάση τη λογική σχεδίαση ενός τέτοιου τύπου δικτύου.

5.2.1.1 Κόστος Central Office FTTH - homerun

Το κόστος προετοιμασίας του χώρου που απαιτείται για τη στέγαση τόσο του παθητικού όσο και του ενεργού εξοπλισμού του CO, είναι σημαντικό αλλά δεν είναι ο μόνος παράγοντας. Ξεκινώντας από το κόστος του χώρου, γίνεται η παραδοχή ότι η στέγαση του απαραίτητου εξοπλισμού δεν είναι εξασφαλισμένη εξ αρχής, καθώς η λύση FTTH - homerun απαιτεί νέους χώρους όπου θα καταλήγουν οι οπτικές ίνες των συνδρομητών. Συνεπώς, δεν θα ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι υφιστάμενες κτηριακές υποδομές των τηλεπικοινωνιών παρόχων. Έτσι, λοιπόν, το κόστος κατασκευής ενός CO αναλύεται ως εξής: [38] [40]

- Κόστος αγοράς ή ενοικίασης χώρου 100 τετραγωνικών μέτρων.
- Κόστος διαμόρφωσης χώρου 100 τετραγωνικών μέτρων, που περιλαμβάνει την κατασκευή ψευδοροφών και πατωμάτων, τον απαραίτητο εξοπλισμό για κλιματισμό και πυρανίχνευση, καθώς και τις απαιτούμενες ηλεκτρομηχανολογικές παροχές (υποσταθμοί, UPS, μπαταρίες, κτλ).
- Κόστος ενεργού εξοπλισμού. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5, ο ενεργός εξοπλισμός του αστικού κέντρου (CO) αποτελείται από τον Optical Line Terminal - OLT, τον μεταγωγέα δευτέρου επιπέδου (L2 Switch), καθώς και τον μεταγωγέα τρίτου επιπέδου (L3 Switch). Η χωρητικότητα του κάθε αστικού κέντρου κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 15 και 20 χιλιάδων συνδρομητών.



(σχ. 5.5) Ενεργός εξοπλισμός FTTH - homerun Αστικό Κέντρο (CO) [38]

- Κόστος εισαγωγής δικτύου στο κέντρο, συγκόλληση οπτικών ινών (O.I.) σε συνδέσμους στην είσοδο και όδευση O.I. στο

εσωτερικό με χρήση υλικών τεχνολογίας Low Smoke Zero Halogen (LSZH)

- Κόστος προμήθειας, εγκατάστασης και τερματισμού Ο.Ι. εντός οπτικών κατανεμητών (ODF).

Αναλυτικά το σύνολο των στοιχείων από τα οποία αποτελείται ένα CO έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο 3 και με βάση τα παραπάνω το κόστος κατασκευής του αστικού κέντρου της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου για τη λύση FTTH - homerun φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
Κτηριακή Υποδομή CO	Αγορά Χώρου 100m ²	m ²	1.000 €	100	100.000 €
	Διαμόρφωση χώρου 100m ²		25.000 €	1	25.000 €
	Υποσταθμός ΔΕΗ, UPS, μπαταρίες		115.000 €	1	115.000 €
	Κλιματισμός		35.000 €	1	35.000 €
	Πυρανίχνευση		12.000 €	1	12.000 €
	Σύστημα απομακρυσμένης διαχείρισης		13.000 €	1	13.000 €
Ενεργός Εξοπλισμός CO	OLT, L2 & L3 Switch		48 €*	12.000	576.000 €
Παθητικός Εξοπλισμός CO	Εισαγωγή δικτύου στο κέντρο	τεμ	240.000 €	1	240.000 €
	Οπτικοί κατανεμητές ODF	τεμ	45 €	12.000	540.000 €
Σύνολο κόστους κατασκευής αστικού κέντρου FTTH - homerun περιοχής Π. Φαλήρου					1.656.000 €

* Εκτίμηση κόστους ανά 100 Mbps FTTH συνδρομητική πόρτα

(σχ. 5.6) Υπολογισμός κόστους κατασκευής FTTH homerun αστικού κέντρου

Υπολογίστηκε η χρησιμότητα αγοράς του χώρου και για μελλοντικές χρήσεις ή αναβαθμίσεις, έτσι ώστε μακροπρόθεσμα να αποτελέσει σημαντικό περιουσιακό στοιχείο. Τόσο ο ενεργός εξοπλισμός, όσο και ο παθητικός έχουν κόστος ανά μονάδα, το οποίο πρέπει να καλυφθεί για όλη τη περιοχή και για όλους τους πιθανούς συνδρομητές εξ αρχής, δηλαδή και για τους 12.000 διαθέσιμους. Τέλος, σημειώνεται ότι οι τιμές μονάδος των διαφορετικών στοιχείων έχουν υπολογισθεί με βάση στοιχεία που προέρχονται από προμηθευτές εξοπλισμού, κατασκευαστές και διεθνείς μελέτες. [40]

5.2.1.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTH - homerun

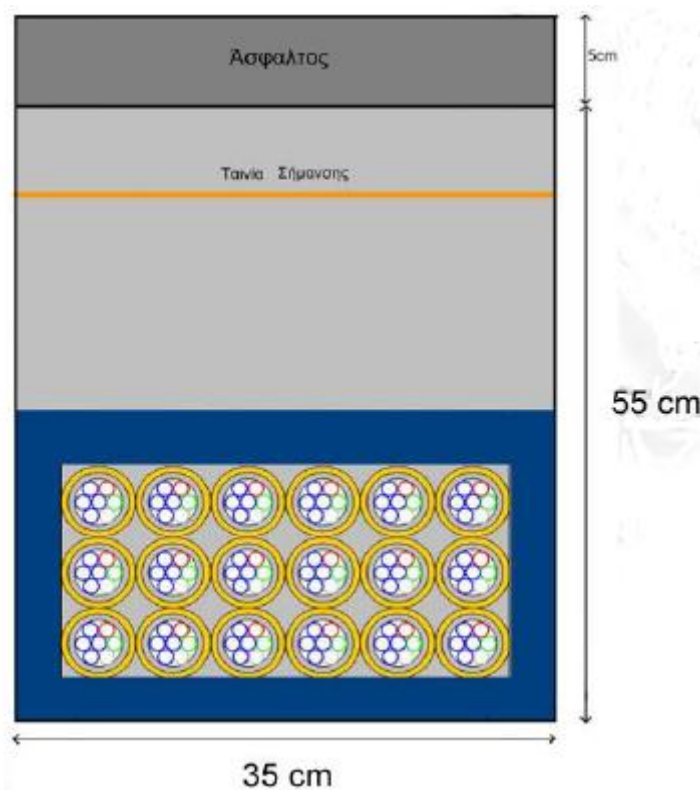
Η κατασκευή του οπτικού δικτύου διανομής αναλύεται στις παρακάτω βασικές εργασίες:

- κατασκευή του δικτύου συγκέντρωσης,
- κατασκευή του κυρίου δικτύου και
- κατασκευή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου.

Το δίκτυο συγκέντρωσης αποτελεί το κομμάτι του οπτικού δικτύου διανομής από το οποίο διέρχονται χιλιάδες οπτικές ίνες που καταλήγουν στο CO του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Το μήκος του εξαρτάται τόσο από τη μορφολογία όσο και από την πληθυσμιακή πυκνότητα της περιοχής. Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζεται η μορφή που έχουν τα χαντάκια του δικτύου συγκέντρωσης.[48] [40]

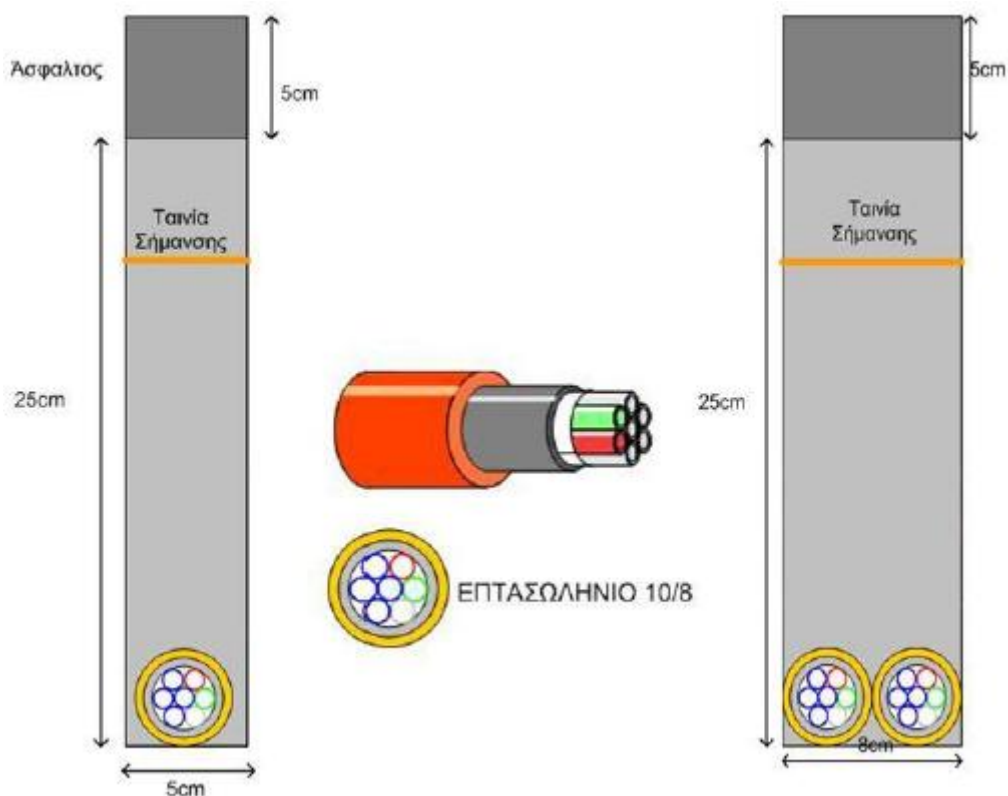
Το κόστος κατασκευής ενός δικτύου συγκέντρωσης αναλύεται στο κόστος για:

- εργασίες κατασκευής «στεγανής τάφρου» διαστάσεων 25 x 60 cm (ΠxΒ) για τα τμήματα μεγάλης συγκέντρωσης οπτικών ινών του δικτύου κοντά στο κέντρο,
- προμήθεια και εγκατάσταση πολυσωληνίου 7 σωληνίσκων τύπου διατομής 10/8 (εξωτερική/ εσωτερική),
- προμήθεια και εγκατάσταση καλωδίου 72 Ο.Ι. με εμφύσηση εντός σωληνίσκου διατομής 10/8 και
- προμήθεια υλικών και κατασκευή φρεατίων μεγάλου μεγέθους επί της στεγανής σωλήνωσης



(σχ. 5.7) Παράδειγμα από χαντάκι δικτύου συγκέντρωσης [40]

Το κύριο δίκτυο αποτελεί το κομμάτι του οπτικού δικτύου διανομής από το οποίο διέρχονται εκατοντάδες οπτικές ίνες που καταλήγουν στο δίκτυο συγκέντρωσης. Αποτελείται από άξονες πάνω στους οποίους καταλήγουν τα σημεία συγκέντρωσης του δικτύου διανομής πεζοδρομίου. Το μήκος του εξαρτάται τόσο από τη μορφολογία όσο και από την πληθυσμιακή πυκνότητα της περιοχής. Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η μορφή που έχουν τα χαντάκια του κυρίως δικτύου, τα οποία μπορεί να έχουν 1 ή 2 πολυσωλήνια 7 σωληνίσκων.[40]

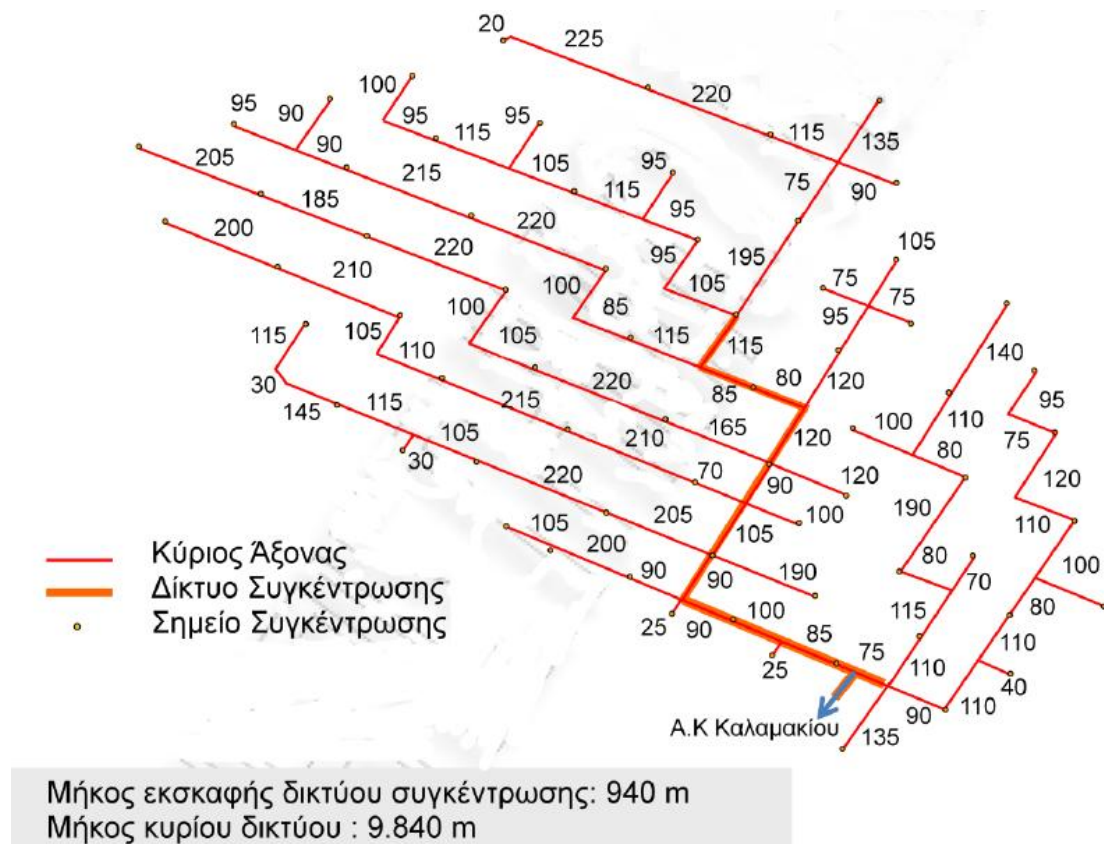


(σχ. 5.8) Παράδειγμα από χαντάκι κυρίως δικτύου

Στην περίπτωση της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου, η μορφή που θα έχει το κύριο δίκτυο φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Για το σχεδιασμό του δικτύου, έγινε η παραδοχή ότι κάθε κύριος άξονας θα εξυπηρετεί μέχρι 7 σημεία συγκέντρωσης και κάθε σημείο συγκέντρωσης 2 οικοδομικά τετράγωνα. Συνεπώς, για τη συγκριμένη περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, το κύριο δίκτυο αποτελείται από 12 κύριους άξονες και 84 σημεία συγκέντρωσης, λόγω αλληλοσυμπλήρωσης των μεταξύ τους περιοχών.

Στους 12 κύριους άξονες για τα 3 πιο απομακρυσμένα σημεία συγκέντρωσης απαιτείται ένα πολυσωλήνιο 7 σωληνίσκων, ενώ για τα επόμενα 4 απαιτούνται δυο. Συνεπώς, με βάση και την τοπογραφική μέτρηση των αποστάσεων προκύπτει ότι περίπου για τα 3/7 του κυρίως δικτύου,

απαιτείται ένα πολυσωλήνιο 7 σωληνίσκων (4200m) και για τα υπόλοιπα 4/7 του κυρίως δικτύου απαιτούνται δύο.[40]

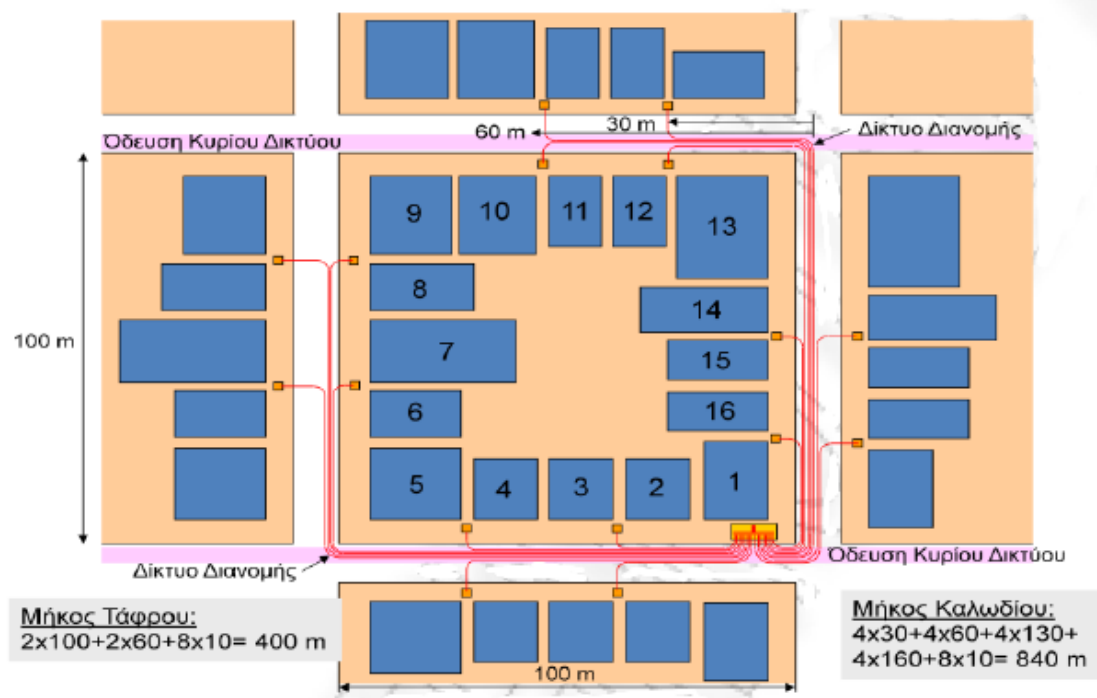


(σχ. 5.9) Κύριο δίκτυο περιοχής Π. Φαλήρου

Το κόστος κατασκευής του κυρίως δικτύου αναλύεται στο κόστος για:

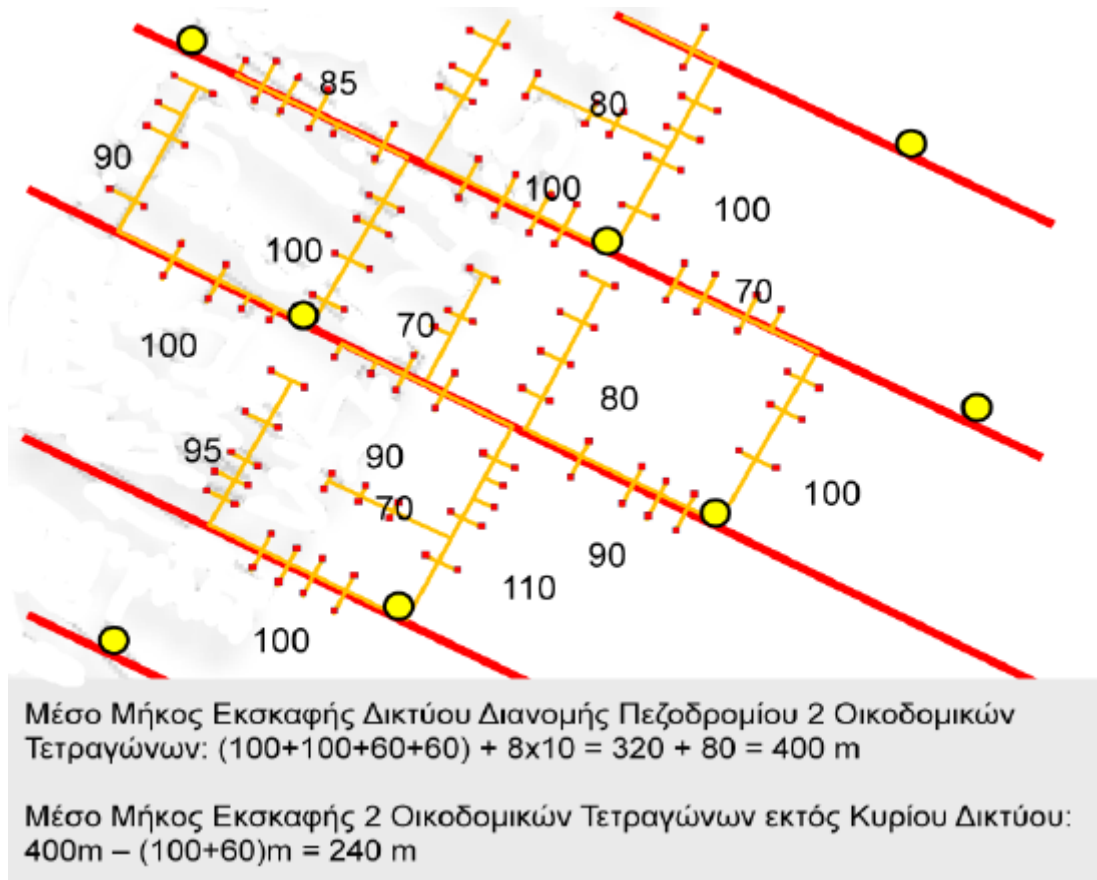
- εργασίες διάνοιξης μικροτάφρου διαστάσεων 8x 40 cm (ΠxB),
- προμήθεια και εγκατάσταση πολυσωληνίου 7 σωληνίσκων διατομής 10/8 (εξ/εσ),
- προμήθεια και εγκατάσταση πολυσωληνίου 7 σωληνίσκων διατομής 10/8 (εξ/εσ) έκαστος δύο ανά τμήμα μικροτάφρου 8 x 40 cm (ΠxB),
- προμήθεια και εγκατάσταση καλωδίου 72 Ο.Ι. με εμφύσηση εντός σωληνίσκου διατομής 10/8 και
- προμήθεια και εγκατάσταση φρεατίων όδευσης δικτύου

Το δίκτυο διανομής πεζοδρομίου αποτελεί το κομμάτι του οπτικού δικτύου διανομής από το οποίο διέρχονται οι οπτικές ίνες που ξεκινούν από το κάθε κτήριο της περιοχής και καταλήγουν στο κύριο δίκτυο. Το μήκος του εξαρτάται τόσο από τη μορφολογία όσο και από την πληθυσμιακή πυκνότητα της περιοχής. Στο σχήμα 5.10 παρουσιάζεται τόσο η μορφή όσο και η διαστασιοποίηση ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου μεγέθους 100 X 100 μέτρων.[49] [40]



(σχ. 5.10) Δίκτυο Διανομής Πεζοδρομίου FTTH homeun σε τυπικό οικοδ. τετράγωνο

Ενώ ο επιμέρους υπολογισμός γίνεται όπως στο ακόλουθο σχήμα:[40]



(σχ. 5.11) Υπολογισμός μέσου μήκους εκκαφής δικτύου διανομής πεζοδρομίου

Το κόστος κατασκευής ενός δικτύου διανομής πεζοδρομίου αναλύεται στο κόστος για:

- εργασίες διάνοιξης μικροτάφρου διαστάσεων 5 x 15 cm (ΠxΒ),
- προμήθεια και εγκατάσταση πολυσωληνίου 4 σωληνίσκων διατομής 5/3,5 (εξ/εσ) έκαστος,
- προμήθεια και κατασκευή φρεατίου 30 x 30 cm (ΜxΠ) επί πεζοδρομίου, αποκατάσταση πεζοδρομίου, διασύνδεση φρεατίου με το επί του δρόμου δίκτυο με κατασκευή κάθετης μικροτάφρου,
- προμήθεια και εγκατάσταση υπαίθρια στεγανής καμπίνας επί πεζοδρομίου για την εντός αυτής στέγαση διατάξεων συγκόλλησης οπτικών ινών, καθώς και του υπό αυτής φρεατίου,
- προμήθεια εξοπλισμού και εργασίες συγκόλλησης οπτικών ινών και
- προμήθεια και εγκατάσταση με εμφύσηση μικροκαλωδίου 12 οπτικών ινών.

Με βάση τα παραπάνω, το κόστος κατασκευής του δικτύου διανομής της λύσης FTTH homerun της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΔΙΚΤΥΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ	Στεγανή Σωλήνωση 60x25 για 18xΦ40	m	200 €	940	188.000 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	11.345	56.725 €
	Μικροκαλώδιο 72 Οπτικών ινών	m	3 €	79.415	238.245 €
	Στεγανά Φρεάτια	τεμ	4.000 €	9	36.000 €
ΚΥΡΙΟ ΔΙΚΤΥΟ	Μικροτάφρος 8x40	m	30 €	9.840	295.200 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	4.200	21.000 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 2x7xΦ10	m	10 €	5.640	56.400 €
	Μικροκαλώδιο 72 Οπτικών ινών	m	3 €	71.000	213.000 €
	Φρεάτια Όδευσης 60x60	τεμ	900 €	30	27.000 €
ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	Μικροτάφρος 5x25	m	20 €	18.700	374.000 €
	Τετρασωλήνιο 5/3,5	m	2,5 €	60.480	151.200 €
	Φρεάτιο κτηρίου 30x30	τεμ	675 €	672	453.600 €
	Κιβώτιο Συγκολλήσεων	τεμ	2.250 €	84	189.000 €
	Συγκολλήσεις ινών	τεμ	18 €	12.000	216.000 €
	Bundle 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	282.240	536.256 €
Συνολικό κόστος κατασκευής δικτύου διανομής FTTH - homerun στην περιοχή Π. Φαλήρου					3.051.626 €

(σχ. 5.12) Υπολογισμός κόστους κατασκευής δικτύου διανομής FTTH homerun

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- Για το δίκτυο συγκέντρωσης: το συνολικό του μήκος είναι 940m (με βάση και τη γεωγραφική τοποθέτηση των κύριων δικτύων που είναι 9 δυτικά και 3 ανατολικά) και επομένως η τιμή μονάδας αναφέρεται στο κόστος της τάφρου ανά μέτρο.

Ο αριθμός των πολυσωληνίων προκύπτει από τον αριθμό των κεντρικών δικτύων. Οι τάφροι του δικτύου συγκέντρωσης πρέπει να είναι επαρκώς μεγάλοι για να χωράνε τον μέγιστο αριθμό πολυσωληνίων για τα κύρια δίκτυα. Δυτικά έχουμε 9 κύρια δίκτυα και επειδή χρειάζονται στο μεγαλύτερο μήκος τους 2 πολυσωλήνια έκαστος, η τάφρος θα πρέπει να χωράει 18 πολυσωλήνια στην μεγαλύτερη συσπείρωσή της. Για το ολικό μήκος πολυσωληνίων προκύπτει, ότι τα 9 κύρια δυτικά δίκτυα υπολογίζονται σε διαφορετικά μήκη. Παραδείγματος χάρη, με βάση το σχήμα 5.9 και τα 9 δυτικά θα περνούν στο αρχικό μήκος (85m +100m+ 90m), οπότε για το αντίστοιχο διάστημα θα «τρέχουν» 9 x 2 πολυσωλήνια.

Τα συνολικά μικροκαλώδια πρέπει να αντιστοιχούν σε επτά φορές τον αριθμό των πολυσωληνίων όπου θα τοποθετηθούν με εμφύσηση. Τα στεγανά φρεάτια προσμετρούνται στα σημεία τομής με το εκάστοτε κύριο δίκτυο.
- Για το κύριο δίκτυο: το συνολικό μήκος είναι 9840m με βάση τον τοπογραφικό και πολεοδομικό υπολογισμό και επομένως η τιμή της μονάδας αναφέρεται στο κόστος της τάφρου ανά μέτρο.

Με βάση την μελέτη της περιοχής, (με προσέγγιση) σε 4200m θα έχουμε ένα πολυσωλήνιο και στα υπόλοιπα 2 πολυσωλήνια. Για να κατανεμηθούν σωστά στα σημεία συγκέντρωσης οι οπτικές ίνες, θα φτάνουν σε κάθε ένα 2 μικροκαλώδια 72 Ο.Ι. ($84 \times (72+72) = 12096$ τελικοί συνδρομητές). Έτσι λοιπόν, η κατανομή των μικροκαλωδίων θα έχει διαφορετικό σύνολο κατά μήκος ενός κύριου δικτύου. Παραδείγματος χάρη, ενώ ξεκινούν 14 μικροκαλώδια στην αρχή του δικτύου, μετά το πρώτο σημείο συγκέντρωσης θα «συνεχίζουν» 12 κτλ. Από τον αναλυτικό υπολογισμό κατά μήκος και των 12 κυριών δικτύων και λόγω του ότι σε κάποια από αυτά, τα σημεία συγκέντρωσης βρίσκονται εκατέρωθεν του σημείου τομής με το δίκτυο συγκέντρωσης το ολικό μήκος είναι 71000m (πολύ μικρότερο από το ανάλογο αν πολλαπλασιάσαμε επί 7 το μήκος των πολυσωληνίων)

Τα φρεάτια κυρίως παραπέμπουν στα σημεία τομής των διαφόρων δικτύων μεταξύ τους καθώς και σε διαχωριστικά σημεία κατανομής.
- Για δίκτυο διανομής πεζοδρομίου: το ολικό μήκος προκύπτει από το άνοιγμα των μικροτάφρων για τα 84 σημεία συγκέντρωσης και για εκείνο το μήκος όπου δεν υπάρχει κεντρικό δίκτυο ή δίκτυο συγκέντρωσης από τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθεί το ήδη ανοιγμένο στην αντίστοιχη περίπτωση (μείον κι ένα μικρότερο ποσοστό 1%-2%

λόγο της γεωγραφικής απόκλισης του μέσου όρου σε σχέση με τον αναλυτικό υπολογισμό από τα πολεοδομικά δεδομένα).

Το ολικό μήκος του τετρασωληνίου προκύπτει από τη περίμετρο (που καλύπτει στο σχήμα 5.10) ενός τυπικού τετραγώνου. Σε κάθε τετράγωνο αριστερά και δεξιά έχουμε μέγιστο μήκος 160m. Δύο τετρασωλήνια θα «τρέχουν» και στα 160m, ενώ το κάθε τετρασωλήνιο θα καλύπτει για λόγους ευκολίας συνδέσεων τη μία πλευρά του δρόμου κατά μήκος. Κάθε ένα από τα 4 μικροκαλώδια θα καταλήγει σε μία έξοδο σε κτίριο στη μία πλευρά του δρόμου σε όλο το μήκος των 160m. Άρα έχουμε $(2 \times 160m) + (2 \times 160m) = 640m$. Τετρασωλήνιο θα χρησιμοποιηθεί και για τη στήριξη των οπτικών ινών εκατέρωθεν του δικτύου διανομής σε κάθε έξοδο 5m προς κάθε πλευρά του δρόμου. Επομένως, στα 640m προστίθενται και τα $16 \times 5m = 80m$ των συνδέσεων κτιρίων. Άρα σύνολο για κάθε σημείο συγκόλλησης χρειάζονται 720m τετρασωληνίων.

Ο αριθμός των μικροκαλωδίων προκύπτει από τον υπολογισμό όπως φαίνεται στα σχήματα 5.10 και 5.11. Υπολογίζονται σε διαφορετικό μήκος, διότι καταλήγουν κάθε φορά σε κάθε έξοδο κτιρίου. Από το σχήμα 5.11 διαφαίνεται ότι υπάρχουν πραγματικές διαφοροποιήσεις, όπως πάροδοι που πρέπει να φτάνουν τα μικροκαλώδια, ξεχωριστά κτίρια εσωτερικά ενός τετραγώνου, κτλ. Υπολογίζεται με βάση τις συνδέσεις των κτιρίων ότι το μέσο σύνολο για κάθε κιβώτιο συγκολλήσεων είναι 3360m. Συνολικά προκύπτει ότι για κάθε κιβώτιο έχουμε $30m + 60m + 130m + 160m = 380m$ σε κάθε πλευρά, άρα $2 \times 380m = 760m$. Από κάθε φρεάτιο κάθετα στο δρόμο έχουμε 10m, άρα $8 \times 10m = 80m$ και επομένως, $760m + 80m = 840m$. Αυτά πρέπει να πολλαπλασιαστούν με 4 (διότι είναι 2 bundles ανά σωλήνιο και 2 τετρασωλήνια ανά πλευρά) $4 \times 840 = 3360m$. Ο λόγος που τοποθετούνται στο τελικό δίκτυο διανομής πεζοδρομίου περισσότερες οπτικές ίνες από τους υπολογιζόμενους αρχικούς συνδρομητές είναι για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών αναβάθμισης. Η αρχική επένδυση, θα μειώσει δραματικά το κόστος στο «τελευταίο μίλι» σε μελλοντικές ανάγκες όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 3.

Τα κιβώτια συγκολλήσεων είναι 84, από όπου προκύπτει ο αριθμός των φρεατίων κτιρίου με βάση την τυπική διαστασιοποίηση του σχήματος 5.10. Θα χρειαστούν 8 φρεάτια κτιρίου ανά κιβώτιο συγκολλήσεων (για τον υπολογισμό ανά δύο οικοδομικά τετράγωνα).

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, εκτός από το κόστος κατασκευής του δικτύου διανομής, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι ενδέχεται να επιβαρυνθούν και με τα τέλη διέλευσης που επιβάλλονται συνήθως από τους εκάστοτε δήμους, προκειμένου να αδειοδοτήσουν το έργο. Για λόγους απλότητας, γίνεται η παραδοχή ότι τα τέλη διέλευσης είναι μηδενικά.

5.2.1.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη

Το κόστος του εξοπλισμού ONT που θα πρέπει να τοποθετηθεί στο σπίτι του κάθε συνδρομητή, καθώς και το κόστος κατασκευής της εσωτερικής καλωδίωσης του κάθε κτηρίου έχει αρκετά σύνθετα μέρη που εν τέλει αντιμετωπίζονται από τον συνδρομητή όταν θα θελήσει να συνδεθεί με το FTTH δίκτυο της περιοχής του.. Στο σημείο αυτό, γίνεται η παραδοχή ότι κανένα από κτήρια της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου που εξετάζουμε, δεν διαθέτει οπτική εσωτερική καλωδίωση, παρότι στο μέλλον αναμένεται ότι όλα τα νέα κτήρια θα παρέχουν αυτή τη δυνατότητα. Συμφωνά με τη μελέτη της AT Kearney [38] το μέσο κόστος κατασκευής της εσωτερικής καλωδίωσης του κάθε συνδρομητή είναι 300 ευρώ, το μέσο κόστος εισόδου στο κτήριο ανά συνδρομητή 50 ευρώ, ενώ το κόστος του εξοπλισμού ανέρχεται στα 100 ευρώ. Συνεπώς, σε κάθε συνδρομητή που συνδέεται στο FTTH - homerun δίκτυο αναλογεί ένα κόστος της τάξεως των 450 ευρώ.

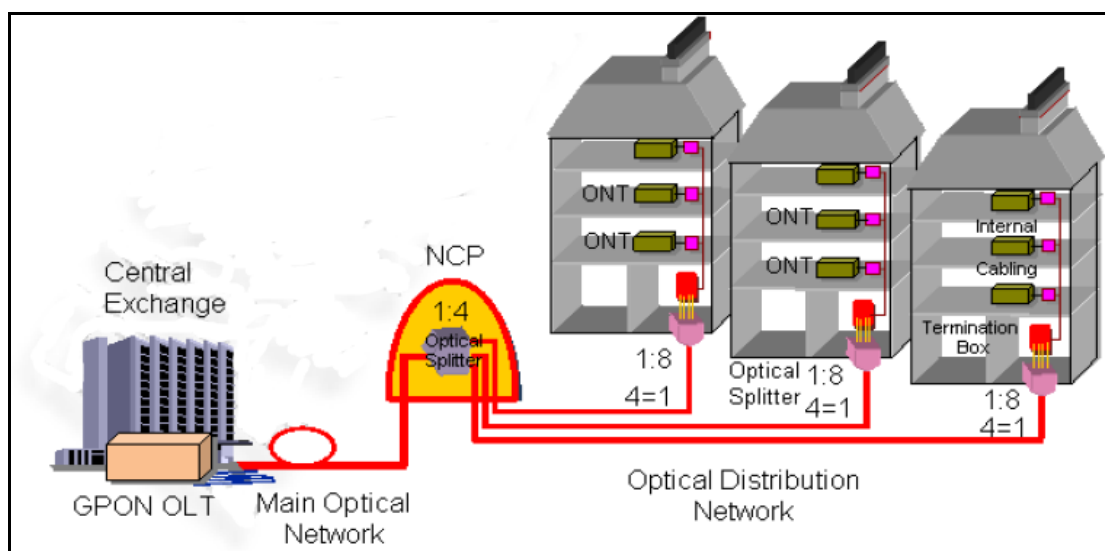


(σχ. 5.13) Παράδειγμα οπτική εσωτερικής σύνδεσης σε FTTH [50]

5.2.2 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTH GPON

Η βασική διαφορά της τεχνολογικής λύσης FTTH GPON σε σχέση με την FTTH - Homerun είναι ότι για την κατασκευή του δικτύου απαιτούνται

πολύ μικρότερα μήκη οπτικών ινών, καθώς κάθε ίνα εξυπηρετεί περισσότερους από έναν συνδρομητές. Η αρχιτεκτονική του παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 3, ενώ στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η μορφή του FTTH GPON δικτύου που θα εξεταστεί σε αυτήν την ενότητα. Όπως φαίνεται, ο μέγιστος λόγος διαίρεσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι 1:32, ο οποίος θα επιτευχθεί σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο διαίρεσης 1:4 γίνεται στα σημεία συγκέντρωσης δικτύου (Network Concentration Points - NCP) και το δεύτερο στάδιο διαίρεσης 1:8 στο χώρο εισόδου του κάθε κτηρίου.[37] [22] [40]



(σχ. 5.14) Μορφή Δικτύου FTTH GPON 1:32

Όπως και στην περίπτωση του FTTH - homerun εξετάζεται το κόστος κατασκευής ενός δικτύου FTTH GPON στη περιοχή του Παλαιού Φαλήρου. Και σε αυτή την περίπτωση, το συνολικό κόστος κατασκευής του δικτύου αποτελείται από:

- το κόστος του CO (Central Office),
- το κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής και
- το κόστος της εσωτερικής καλωδίωσης και του εξοπλισμού του πελάτη.

5.2.2.1 Κόστος Central Office FTTH GPON

Στην ενότητα αυτή, υπολογίζεται το κόστος προετοιμασίας του χώρου, που απαιτείται για τη στέγαση τόσο του παθητικού όσο και του ενεργού εξοπλισμού του CO. Ξεκινώντας από το κόστος του χώρου, σε αντίθεση με την περίπτωση του homerun, γίνεται η παραδοχή ότι ο χώρος που θα στεγάσει τον απαραίτητο εξοπλισμό είναι διαθέσιμος, καθώς η λύση FTTH GPON έχει πολύ μικρές απαιτήσεις σε νέους χώρους. Η εξήγηση για αυτό

εντοπίζεται στο γεγονός ότι στο αστικό κέντρο των παρόχων καταλήγουν πλέον 32 φορές λιγότερες οπτικές ίνες, με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η εγκατάσταση οποιουδήποτε νέου εξοπλισμού στις υπάρχουσες κτηριακές εγκαταστάσεις. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να επιμεριστεί κάποιο από το κόστος της διαμόρφωσης του υφιστάμενου χώρου αλλά και των παροχών αυτού. Έχει υπολογιστεί από διάφορες μελέτες ότι το κόστος αυτό ισούται στις περισσότερες περιπτώσεις περίπου με το 10% του κόστους που υπολογίστηκε στην περίπτωση του FTTH - homerun. [40] [37] [47]

Σχετικά με το κόστος εισαγωγής δικτύου στο κέντρο, αλλά και το κόστος προμήθειας, εγκατάστασης και τερματισμού των οπτικών ινών στους καταναμητές (ODF), υπάρχουν σημαντικές μειώσεις σε σχέση με την περίπτωση του FTTH - homerun, λόγω του μικρότερου αριθμού οπτικών ινών. Συγκριμένα για την περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, απαιτείται η είσοδος στο κέντρο 375 οπτικών ινών, έναντι 12.000 οπτικών ινών της λύσης FTTH - homerun.

Με βάση τα παραπάνω, το κόστος κατασκευής του αστικού κέντρου της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου για τη λύση FTTH GPON φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
Κτηριακή Υποδομή CO	Αγορά Χώρου 100m ²	m ²	300.000 €	10%	30.000 €
	Διαμόρφωση χώρου 100m ²				
	Υποσταθμός ΔΕΗ, UPS, μπαταρίες				
	Κλιματισμός				
	Πυρανίχνευση				
	Σύστημα απομακρυσμένης διαχείρισης				
Ενεργός Εξοπλισμός CO	GPON OLT		50 €*	12.000	600.000 €
Παθητικός Εξοπλισμός CO	Εισαγωγή δικτύου στο κέντρο	τεμ	40.000 €	1	40.000 €
	Οπτικοί καταναμητές ODF	τεμ	45 €	375	16.875 €
Σύνολο κόστους κατασκευής αστικού κέντρου FTTH GPON περιοχής Π. Φαλήρου					686.875 €

* Εκτίμηση κόστους GPON OLT [1:32] split ανά συνδρομητική πόρτα

(σχ. 5.15) Υπολογισμός κόστους κατασκευής FTTH GPON αστικού κέντρου

5.2.2.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTH GPON

Στη περίπτωση ενός FTTH GPON, η κατασκευή του οπτικού δικτύου διανομής αναλύεται όπως και πριν στις παρακάτω εργασίες κατασκευής:

- κατασκευή του δικτύου συγκέντρωσης,
- κατασκευή του κυρίου δικτύου και
- κατασκευή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου

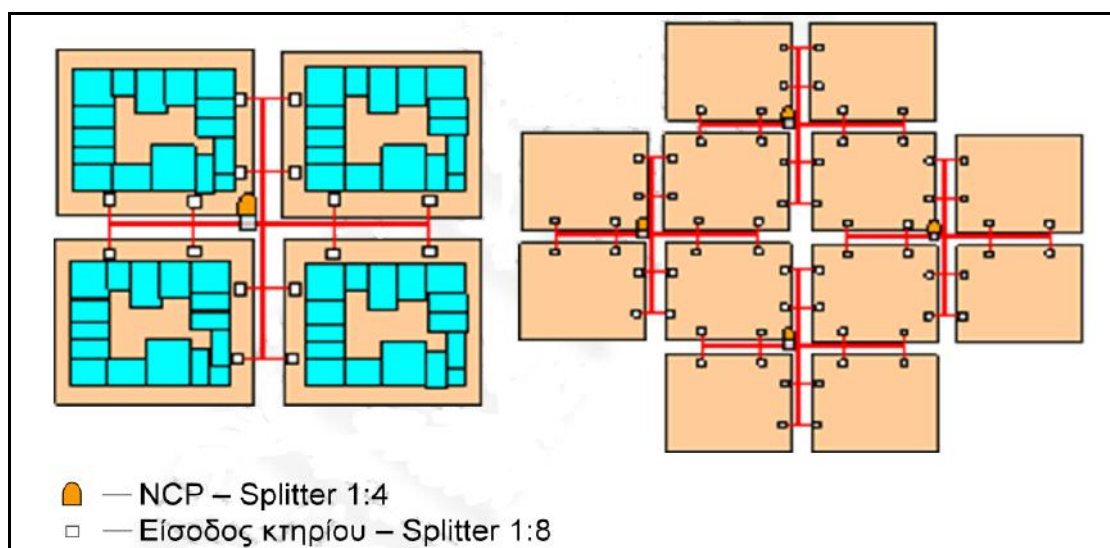
Η κατασκευή του δικτύου συγκέντρωσης της λύσης FTTH GPON είναι πιο απλή σε σχέση με τη λύση FTTH - homeun, καθώς, αντί της κατασκευής «στεγανής τάφρου» για τα τμήματα μεγάλης συγκέντρωσης οπτικών ινών του δικτύου κοντά στο κέντρο, απαιτείται η κατασκευή μικροτάφρου 16x50cm (ίδιας μορφής με το σχήμα 5.7, αλλά διαφορετικών διαστάσεων). Επιπλέον, απαιτείται η χρησιμοποίηση καλωδίου 12 οπτικών ινών, αντί 72, λόγω του μικρότερου αριθμού οπτικών ινών που καταλήγουν στο αστικό κέντρο. Τέλος δεν είναι αναγκαία η χρήση στεγανών φρεατίων μεγάλου μεγέθους, αλλά συμβατικών, μικρότερου μεγέθους.

Η κατασκευή του κυρίως δικτύου της λύσης FTTH GPON είναι παρόμοια με αυτή της λύσης FTTH - homeun. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στη χρησιμοποίηση καλωδίου 12 οπτικών ινών, αντί 72, λόγω του μικρότερου αριθμού οπτικών ινών. Στην περίπτωση της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου, η μορφή που θα έχει το κύριο δίκτυο φαίνεται στο σχήμα 5.16. Και σε αυτή την περίπτωση, για το σχεδιασμό του δικτύου, έγινε η παραδοχή ότι κάθε κύριος άξονας θα εξυπηρετεί μέχρι 7 σημεία συγκέντρωσης (NCP) και κάθε σημείο συγκέντρωσης θα εξυπηρετεί 2 οικοδομικά τετράγωνα. Συνεπώς, για τη συγκριμένη περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, το κύριο δίκτυο αποτελείται από 12 κύριους άξονες και 84 σημεία συγκέντρωσης.[40]



(σχ. 5.16) Κύριο δίκτυο FTTH GPON περιοχής Παλαιού Φαλήρου

Επίσης, και το δίκτυο διανομής πεζοδρομίου FTTH GPON παρουσιάζει ομοιότητες με τα αντίστοιχο του FTTH homeup. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τη μορφή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου FTTH GPON τυπικών οικοδομικών τετραγώνων (ένα σημείο συγκέντρωσης, ανά 2 οικοδομικά τετράγωνα, με διαφορετική διαρρύθμιση, αλλά ίδια αποτελέσματα). Όπως είναι φανερό, η βασική διαφορά σε σχέση με τη λύση FTTH homeup είναι η χρήση των 1:4 splitters στα σημεία συγκέντρωσης δικτύου, αλλά και των 1:8 splitters στις εισόδους των κτηρίων.



(σχ. 5.17) Δίκτυο Διανομής Πεζοδρομίου FTTH GPON σε τυπικό Οικοδομικό Τετράγωνο

Με βάση τα παραπάνω, το κόστος κατασκευής του δικτύου διανομής της λύσης FTTH GPON της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου συνολικά φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΔΙΚΤΥΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ	Μικτροτάφρος 16x50cm	m	60 €	940	56.400 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	4.340	21.700 €
	Μικροκαλώδιο 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	30.380	57.722 €
	Φρεάτια Συγκέντρωσης	τεμ	1.000 €	9	9.000 €
ΚΥΡΙΟ ΔΙΚΤΥΟ	Μικτροτάφρος 8x40	m	30 €	9.840	295.200 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	9.840	49.200 €
	Μικροκαλώδιο 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	9.840	18.696 €
	Φρεάτια Όδευσης 60x60	τεμ	900 €	30	27.000 €
ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	Μικτροτάφρος 5x25	m	20 €	18.700	374.000 €
	Τετρασωλήνιο 5/3,5	m	2,5 €	60.480	151.200 €
	Φρεάτια κτηρίου 30x30	τεμ	675 €	672	453.600 €
	Κιβώτιο Συγκολλήσεων	τεμ	2.250 €	84	189.000 €
	Συγκολλήσεις ινών	τεμ	18 €	12.000	216.000 €
	Bundle 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	120.960	229.824 €
Συνολικό κόστος κατασκευής δικτύου διανομής FTTH GPON στην περιοχή Π. Φαλήρου					2.148.542 €

(σχ. 5.18) Υπολογισμός κόστους κατασκευής δικτύου διανομής FTTH GPON

- Για το δίκτυο συγκέντρωσης: δεν αλλάζει το συνολικό μήκος δικτύου που είχε υπολογιστεί και για το FTTH – homerun. Πλέον χρειάζεται ένα πολυσωλήνιο 7 σωληνίσκων τύπου διατομής 10/8 για το κάθε δίκτυο συγκέντρωσης, και όχι δύο ανά κύριο δίκτυο όπως στη προηγούμενη περίπτωση. Ισχύει κι εδώ η γεωγραφική διασπορά των 9 δυτικών και των 3 ανατολικών κύριων δικτύων και επομένως σε διαφορετικά μήκη ενός πολυσωληνίου ανά κύριο δίκτυο αθροιστικά θα υπολογιστεί το συνολικό μήκος.

Το συνολικό μήκος μικροκαλωδίων 12 οπτικών ινών προκύπτει με τον πολλαπλασιασμό επί 7 αφού σε κάθε πολυσωλήνιο έχουμε 7 σωληνίσκους, όπου θα τοποθετηθούν με εμφύσηση. Τέλος, τα στεγανά φρεάτια συγκέντρωσης, προσμετρούνται στα σημεία τομής με το εκάστοτε κύριο δίκτυο για την περαιτέρω διανομή.

- Για το κύριο δίκτυο: το συνολικό μήκος είναι 9840m με βάση τον τοπογραφικό και πολεοδομικό υπολογισμό και επομένως η τιμή της μονάδας αναφέρεται στο κόστος της μικροτάφρου ανά μέτρο.

Σε όλο το μήκος κάθε κύριου άξονα θα διατρέχει ένα πολυσωλήνιο μέχρι και τον τελευταίο κόμβο συγκέντρωσης του καθενός. Επομένως, το ολικό μήκος των πολυσωληνίων θα είναι ίδιο με το μήκος του ολικού κύριου δικτύου και ομοίως για τα μικροκαλώδια. Τα φρεάτια κυρίως παραπέμπουν στα σημεία τομής των διαφόρων δικτύων μεταξύ τους καθώς και σε διαχωριστικά σημεία κατανομής.

- Για το δίκτυο διανομής: το ολικό μήκος προκύπτει από το άνοιγμα των μικροτάφρων για τα 84 σημεία συγκέντρωσης και για εκείνο το μήκος όπου δεν υπάρχει κεντρικό δίκτυο ή δίκτυο συγκέντρωσης από τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθεί το ήδη ανοιγμένο στην αντίστοιχη περίπτωση, όπως και προηγουμένως.

Το μήκος του τετρασωληνίου και εδώ με βάση το σχήμα 5.17 προκύπτει από τα 4 τμήματα σε ανάπτυξη σταυρού συν τα 8 κάθετα τμήματα 10m έκαστος προς τα κτίρια για κάθε σημείο συγκέντρωσης (NPC). Άρα, $640m + 8 \times 10m = 720m$ για κάθε NPC. Τα bundle των 12 O.I. τοποθετούνται ανά 2 σε κάθε ένα από τα 4 τμήματα του υποδικτύου, οπότε το συνολικό μήκος των μικροκαλωδίων θα είναι το διπλάσιο.

Οι συγκολλήσεις των ινών είναι ίσες με τους αρχικούς ολικούς συνδρομητές, ενώ επειδή υπάρχουν 84 κιβώτια συγκολλήσεων και 8 φρεάτια ανά κιβώτιο προκύπτουν 672 φρεάτια.

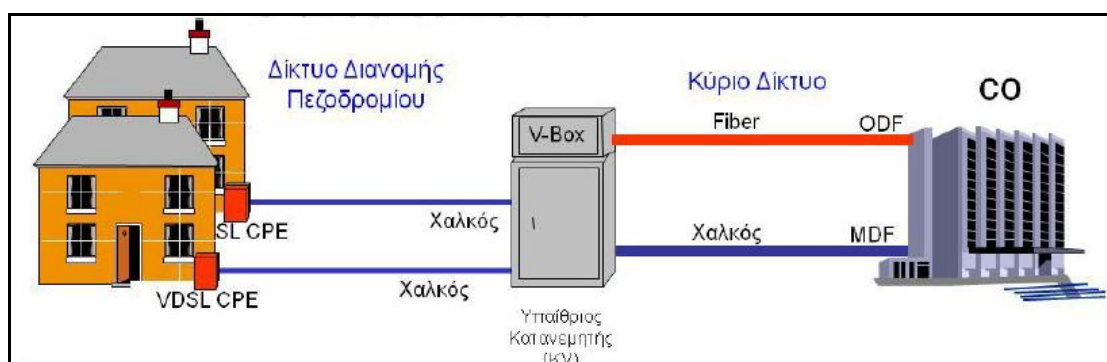
5.2.2.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη

Το κόστος του εξοπλισμού ONT που θα πρέπει να τοποθετηθεί στο σπίτι του κάθε συνδρομητή, καθώς και το κόστος κατασκευής της εσωτερικής

καλωδίωσης του κάθε κτηρίου, είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό που υπολογίστηκε στην περίπτωση της λύσης FTTH homeun. Συνεπώς, σε κάθε συνδρομητή που συνδέεται στο FTTH GPON δίκτυο αναλογεί ένα κόστος της τάξεως των 450 ευρώ.

5.2.3 Κατασκευαστικό κόστος δικτύου FTTC VDSL

Η τεχνολογική λύση FTTC - VDSL διαφέρει σημαντικά από τις δυο παραπάνω, κυρίως λόγω της χρησιμοποίησης μέρους του υφιστάμενου δικτύου χαλκού. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μορφή του FTTC VDSL δικτύου, το οποίο έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3 και θα εξεταστεί σε αυτήν ενότητα. Όπως φαίνεται, για την ανάπτυξη του δικτύου χρησιμοποιούνται οι υφιστάμενοι υπαίθριοι καταναμητές "ΚΑΦΑΟ", καθώς και το υφιστάμενο δίκτυο χαλκού από το ΚΑΦΑΟ έως το χώρο του συνδρομητή. [30] [31]



(σχ. 5.19) Μορφή δικτύου FTTC VDSL

Όπως και στις δυο προηγούμενες λύσεις εξετάζεται το κόστος κατασκευής ενός δικτύου FTTC VDSL στη περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, το οποίο αποτελείται από:

- το κόστος του CO (Central Office),
- το κόστος κατασκευής του δικτύου διανομής οπτικών ινών και χαλκού και
- το κόστος εξοπλισμού του πελάτη.

5.2.3.1 Κόστος Central Office FTTC VDSL

Το κόστος κατασκευής του CO παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με το αντίστοιχο κόστος της λύσης FTTH - GPON. Ξεκινώντας από το κόστος του χώρου, γίνεται η παραδοχή ότι χρησιμοποιούνται υφιστάμενες κτηριακές

εγκαταστάσεις, όπως και στη λύση FTTH GPON, λόγω του μικρού αριθμού των οπτικών ινών που καταλήγουν στο CO. Επιπλέον, σχετικά με τον επιμερισμό του κόστους διαμόρφωσης του υφιστάμενου χώρου, αλλά και των παροχών αυτού, γίνεται πάλι η παραδοχή ότι το κόστος αυτό ισούται με το 10% του κόστους που υπολογίστηκε στην περίπτωση του FTTH - homeun. [37] [40] [47]

Σχετικά με το κόστος εισαγωγής δικτύου στο κέντρο, αλλά και το κόστος προμήθειας, εγκατάστασης και τερματισμού των οπτικών ινών στους καταναμητές (ODF), ισχύει, ότι ακριβώς υπολογίστηκε και στη λύση FTTH GPON. Αντιθέτως, ο ενεργός εξοπλισμός διαφέρει σημαντικά σε σχέση με τις προηγούμενες δυο λύσεις, καθώς δεν χρησιμοποιούνται OLT διατάξεις (GPON ή μη). Οι οπτικές ίνες συνδέονται σε Ethernet πόρτες 1 Gbps στο L2 switch του αστικού κέντρου.

Με βάση τα παραπάνω, το κόστος κατασκευής του αστικού κέντρου της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου για τη λύση FTTC VDSL φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
Κτηριακή Υποδομή CO	Αγορά Χώρου 100m2	m2	300.000 €	10%	30.000 €
	Διαμόρφωση χώρου 100m2				
	Υποσταθμός ΔΕΗ, UPS, μπαταρίες				
	Κλιματισμός				
	Πυρανίχνευση				
	Σύστημα απόμακρυσμένης διαχείρισης				
Ενεργός Εξοπλισμός CO	1 Gbps Ethernet πόρτες σε L2 Switch		450 €*	375	168.750 €
Παθητικός Εξοπλισμός CO	Εισαγωγή δικτύου στο κέντρο	τεμ	40.000 €	1	40.000 €
	Οπτικοί καταναμητές ODF	τεμ	45 €	375	16.875 €
Σύνολο κόστους κατασκευής αστικού κέντρου FTTC VDSL περιοχής Π. Φαλήρου					255.625 €

(σχ. 5.20) Υπολογισμός κόστους κατασκευής FTTC VDSL αστικού κέντρου

5.2.3.2 Κόστος κατασκευής του οπτικού δικτύου διανομής FTTC VDSL

Όπως και προηγουμένως, η κατασκευή του οπτικού δικτύου διανομής FTTC VDSL αναλύεται στις παρακάτω εργασίες κατασκευής:

- κατασκευή του δικτύου συγκέντρωσης,
- κατασκευή του κυρίου δικτύου και
- κατασκευή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου.

Στην περίπτωση του FTTC VDSL, τόσο για την κατασκευή του δικτύου συγκέντρωσης όσο και του κυρίως δικτύου, ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και στη λύση FTTH GPON. Ωστόσο υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην κατασκευή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου. Πιο συγκεκριμένα, για την κατασκευή του δικτύου διανομής πεζοδρομίου στην λύση FTTH VDSL, δεν απαιτείται καμία χωματουργική εργασία, αλλά απαιτείται η εγκατάσταση νέων υπαίθριων καμπίνων "ΚΑΦΑΟ" που θα στεγάσουν τον ενεργό εξοπλισμό των VDSL DSLAMs. Ο ρόλος του DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) είναι να συνδέει πολλές γραμμές DSL σε μια γραμμή υψηλής ταχύτητας, χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας. [30]

Σημειώνεται ότι σε καμία από τις προηγούμενες δύο λύσεις δεν ήταν αναγκαία η εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού σε υπαίθριο χώρο, με αποτέλεσμα η λύση FTTC VDSL να είναι η μόνη λύση που επιβαρύνεται με το κόστος τροφοδοσίας των ΚΑΦΑΟ. Η τροφοδοσία των ΚΑΦΑΟ μπορεί να γίνει είτε απομακρυσμένα με καλώδια τροφοδοσίας, τα οποία ξεκινούν από το αστικό κέντρο και καταλήγουν στα ΚΑΦΑΟ, είτε τοπικά με νέα παροχή από το δίκτυο της ΔΕΗ.[47]

Έτσι, λοιπόν, το κόστος κατασκευής ενός δικτύου διανομής πεζοδρομίου αναλύεται στο κόστος για τις παρακάτω εργασίες: [40]

- προμήθεια και εγκατάσταση νέων μεγαλύτερων καμπίνων που θα αντικαταστήσουν τα υφιστάμενα ΚΑΦΑΟ,
- προμήθεια και εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού VDSL DSLAMs (πλαίσιο, κάρτες και διαμεριστές) και
- εγκατάστασης ηλεκτρικής τροφοδοσίας στα ΚΑΦΑΟ.

Με βάση τα παραπάνω, το κόστος κατασκευής του αστικού κέντρου της περιοχής του Παλαιού Φαλήρου για τη λύση FTTC VDSL είναι:

		ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΔΙΚΤΥΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ	Μικτροτάφρος 16x50cm	m	60 €	940	56.400 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	4.340	21.700 €
	Μικροκαλώδιο 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	30.380	57.722 €
	Φρεάτια Συγκέντρωσης	τεμ	1.000 €	9	9.000 €
ΚΥΡΙΟ ΔΙΚΤΥΟ	Μικτροτάφρος 8x40	m	30 €	9.840	295.200 €
	Πολυσωλήνιο SUB-DUCT 7xΦ10	m	5 €	9.840	49.200 €
	Μικροκαλώδιο 12 Οπτικών ινών	m	1,9 €	9.840	18.696 €
	Φρεάτια Οδύσεως 60x60	τεμ	900 €	30	27.000 €
ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	Καμπίνες (ΚΑΦΑΟ)	τεμ	6.500 €	82	533.000 €
	Ηλεκτρική Τροφοδοσία ΚΑΦΑΟ	τεμ	1.200 €	82	98.400 €
	Πλάσια VDSL2 DSLAM	τεμ	800 €	82	65.600 €
	Συνδρομητικές κάρτες 48 πορτών για VDSL2 DSLAM	τεμ	960 €	250	240.000 €
	Διαμεριστές VDSL2	τεμ	4 €	12.000	48.000 €
Συνολικό κόστος κατασκευής δικτύου διανομής FTTC VDSL στην περιοχή Π. Φαλήρου					1.519.918 €

(σχ. 5.21) Υπολογισμός κόστος κατασκευής δικτύου διανομής FTTC VDSL

Για το δίκτυο πεζοδρομίου: οι προϋπάρχουσες καμπίνες υπαίθριων ΚΑΦΑΟ ήταν 82 στο παλαιό δίκτυο χαλκού της περιοχής και επομένως αυτές θα ανακαινιστούν. Κάθε ΚΑΦΑΟ θα χρειαστεί 144 συνδρομητικές πόρτες και για αυτό θα έχει το κάθε ένα 3 κάρτες των 48 πορτών (σύνολο για τα 82 ΚΑΦΑΟ θα έχουμε 250). Οι διαμεριστές θα είναι όσοι και οι τελικοί ολικοί συνδρομητές.

5.2.3.3 Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εξοπλισμού του πελάτη

Στην περίπτωση της λύσης FTTC VDSL, λόγω της χρήσης του υφιστάμενου δικτύου χαλκού, δεν είναι αναγκαία καμία αλλαγή στην εσωτερική καλωδίωση του κτηρίου του πελάτη. Συνεπώς, σε κάθε συνδρομητή του αναλογεί ένα κόστος 50 ευρώ για την προμήθεια ενός VDSL modem.

5.2.4 Σύγκριση κατασκευαστικού κόστους λύσεων FTTx

Στο σχήμα 5.22 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα στοιχεία του κόστους της κάθε λύσης FTTx για την περιοχή του Παλαιού Φαλήρου.

Κατηγορία Κόστους	FTTH HomeRun	FTTH GPON	FTTC VDSL
Αστικού Κέντρου			
ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	576.000 €	600.000 €	168.750 €
ΠΑΘΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	780.000 €	56.875 €	56.875 €
ΚΤΗΡΙΑΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ	300.000 €	30.000 €	30.000 €
ΣΥΝΟΛΟ	1.656.000 €	686.875 €	255.625 €
Δικτύου Συγκέντρωσης			
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	280.725 €	87.100 €	87.100 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	238.245 €	57.722 €	57.722 €
ΣΥΝΟΛΟ	518.970 €	144.822 €	144.822 €
Κυρίως Δικτύου			
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	399.600 €	371.400 €	371.400 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	213.000 €	18.696 €	18.696 €
ΣΥΝΟΛΟ	612.600 €	390.096 €	390.096 €
Δικτύου Διανομής Πεζοδρομίου			
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	978.800 €	978.800 €	0 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΑΙΘΡ. ΣΤΕΓΑΣΗΣ	0 €	0 €	631.400 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	941.256 €	634.824 €	0 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	0 €	0 €	353.600 €
ΣΥΝΟΛΟ	1.920.056 €	1.613.624 €	985.000 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	4.707.626 €	2.835.417 €	1.775.543 €
Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εισόδου στο κτήριο ανά χρήστη	350 €	350 €	0 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ & ΕΣΩΤ. ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ	8.907.626 €	7.035.417 €	1.775.543 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΧΡΗΣΤΗ	742 €	586 €	148 €

(σχ. 5.22) Συγκεντρωτική ανάλυση κόστους λύσεων FTTx για την περιοχή Π. Φαλήρου

Όπως ήταν αναμενόμενο, η τεχνική λύση FTTH homerun αποτελεί την πιο ακριβή επιλογή, με το κατασκευαστικό κόστος δικτύου να ξεπερνά τα 4,7 εκατομμύρια ευρώ. Εάν, μάλιστα, σε αυτό το κόστος προσθέσουμε και το κόστος της εσωτερικής καλωδίωσης του κάθε πελάτη, τότε το συνολικό κατασκευαστικό κόστος εκτοξεύεται στα 8,9 εκατομμύρια ευρώ. Η δεύτερη πιο ακριβή επιλογή είναι η λύση FTTH GPON, με το κατασκευαστικό κόστος δικτύου να ξεπερνά τα 2,8 εκατομμύρια ευρώ και το συνολικό κατασκευαστικό κόστος συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής καλωδίωσης του πελάτη, να φτάνει τα 7 εκατομμύρια ευρώ. Τέλος, η πιο οικονομική λύση είναι η λύση FTTC VDSL, η οποία αφενός μεν δεν επιβαρύνεται από το κόστος της εσωτερικής καλωδίωσης και αφετέρου δε το κατασκευαστικό κόστος δικτύου δεν ξεπερνά τα 1,8 εκατομμύρια ευρώ.

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, η εξεταζόμενη περιοχή του Παλαιού Φαλήρου περιλαμβάνει 170 οικοδομικά τετράγωνα με 2005 κτήρια και 12.000 κατοικίες. Συνεπώς, αν επιμερίσουμε το συνολικό κατασκευαστικό κόστος, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής καλωδίωσης σε κάθε πελάτη, προκύπτει ότι η τεχνική λύση FTTH - homerun θα κοστίσει 742 ευρώ ανά πελάτη, η λύση FTTH - GPON 586 ευρώ ανά πελάτη και η λύση FTTC - VDSL 148 ευρώ ανά πελάτη.

Το συνολικό κατασκευαστικό κόστος της κάθε λύσης διαχωρίζεται σε σταθερό και μεταβλητό. Το σταθερό κόστος αφορά στο κόστος κατασκευής του παθητικού δικτύου (π.χ. χωματοουργικά, οπτικές ίνες, φρεάτια, κτήρια, κτλ), ενώ το μεταβλητό κόστος αφορά κυρίως στον ενεργό εξοπλισμό και στην εσωτερική καλωδίωση του πελάτη. Όπως είναι κατανοητό, το μεταβλητό κόστος εξαρτάται από το πλήθος των πελατών που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη τεχνολογική λύση, σε αντίθεση με το σταθερό κόστος, το οποίο χρεώνεται στο σύνολό του με την κατασκευή του δικτύου.

	FTTH Homerun	FTTH GPON	FTTC VDSL
Κόστος ανά χρήστη - Μεταβλητό	398 €	400 €	44 €
Κόστος ανά χρήστη - Σταθερό	344 €	186 €	104 €
Κόστος ανά χρήστη - Συνολικό	742 €	586 €	148 €
Συνολικό σταθερό κόστος	4.131.626 €	2.235.417 €	1.253.193 €

(σχ. 5.23) Διαχωρισμός κατασκευαστικού κόστους σε σταθερό και μεταβλητό

5.3 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους

Ο υπολογισμός του λειτουργικού κόστους, που θα απαιτηθεί για τη συντήρηση του εξεταζόμενου δικτύου στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία, καθώς κατά τη φάση του αρχικού σχεδιασμού οι εκτιμήσεις πραγματικών στοιχείων λειτουργικού κόστους (π.χ. αναγκαίο προσωπικό, κατανάλωση ρεύματος, ανταλλακτικά, κτλ) θα ήταν μάλλον παρακινδυνευμένες. Για το λόγο αυτό, για την εκτίμηση του λειτουργικού κόστους θα χρησιμοποιηθούν κάποιοι γενικοί κανόνες που χρησιμοποιούνται από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και εκφράζουν το λειτουργικό κόστος των δομικών στοιχείων του δικτύου ως ποσοστό του αντίστοιχου επενδυτικού κόστους. [17] [37]

Πιο συγκεκριμένα, το λειτουργικό κόστος (OPEX) ως ποσοστό του αντίστοιχου επενδυτικού κόστους (CAPEX) είναι:

- 10% για τα ενεργά στοιχεία.
- 8% για τα παθητικά πλην καλωδίων (π.χ. διαχωριστές),
- 2% για τα καλώδια των οπτικών ινών και τα χρωματουργικά και
- 0% για την εσωτερική καλωδίωση του πελάτη.

Κατηγορία Κόστους	FTTH HomeRun	FTTH GPON	FTTC VDSL	% ετήσιου OPEX/CAPEX	FTTH HomeRun	FTTH GPON	FTTC VDSL
Αστικού Κέντρου							
ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	576.000 €	600.000 €	168.750 €	10%	57.600 €	60.000 €	16.875 €
ΠΑΘΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	780.000 €	56.875 €	56.875 €	8%	62.400 €	4.550 €	4.550 €
ΚΤΡΙΑΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ	300.000 €	30.000 €	30.000 €	2%	6.000 €	600 €	600 €
ΣΥΝΟΛΟ	1.656.000 €	686.875 €	255.625 €		126.000 €	65.150 €	22.025 €
Δίκτυο Συγκέντρωσης							
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	280.725 €	87.100 €	87.100 €	2%	5.615 €	1.742 €	1.742 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	238.245 €	57.722 €	57.722 €	2%	4.765 €	1.154 €	1.154 €
ΣΥΝΟΛΟ	518.970 €	144.822 €	144.822 €		10.379 €	2.896 €	2.896 €
Κυρίως Δικτύου							
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	399.600 €	371.400 €	371.400 €	2%	7.992 €	7.428 €	7.428 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	213.000 €	18.696 €	18.696 €	2%	4.260 €	374 €	374 €
ΣΥΝΟΛΟ	612.600 €	390.096 €	390.096 €		12.252 €	7.802 €	7.802 €
Δίκτυο Διανομής Πεζοδρομίου							
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	978.800 €	978.800 €	0 €	2%	19.576 €	19.576 €	0 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΑΙΘΡ. ΣΤΕΓΑΣΗΣ	0 €	0 €	631.400 €	8%	0 €	0 €	50.512 €
ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	941.256 €	634.824 €	0 €	2%	18.825 €	12.696 €	0 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	0 €	0 €	353.600 €	10%	0 €	0 €	35.360 €
ΣΥΝΟΛΟ	1.920.056 €	1.613.624 €	985.000 €		38.401 €	32.272 €	85.872 €
ΣΥΝΟΛΟ	4.707.626 €	2.835.417 €	1.775.543 €		187.033 €	108.121 €	118.595 €
Κόστος εσωτερικής καλωδίωσης και εισόδου στο κτήριο ανά χρήστη	350 €			0%	0 €	0 €	0 €
				% ετήσιου OPEX/CAPEX ανά τεχνολογική λύση	3,97%	3,81%	6,68%

(σχ. 5.24) Υπολογισμός λειτουργικού κόστους για τις λύσεις FTTx

Έτσι λοιπόν, το λειτουργικό κόστος ως ποσοστό του αντίστοιχου επενδυτικού είναι για την περιοχή του Παλαιού Φαλήρου 3,97% για το δίκτυο

FTTH homerun, 3,81% για το δίκτυο FTTH GPON και 6,68% για το δίκτυο FTTC VDSL.

5.4 Κριτήρια Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων

Η οικονομική αξιολόγηση των τεχνικών λύσεων θα στηριχτεί σε οικονομικούς όρους και έννοιες που μπορούν να συγκεκριμενοποιήσουν την αποδοτικότητα των επενδύσεων, όπως η καθαρή παρούσα αξία, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, κτλ. [17]

5.4.1 Ταμειακές Ροές

Η ανάλυση των ταμειακών ροών (cash flow - CR) αναφέρεται στα χρηματικά ποσά των εσόδων και των εξόδων κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, η οποία συνήθως είναι το ένα έτος. Από την ανάλυση αυτή, δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού του ετήσιου κόστους της επένδυσης κατά τα πρώτα χρόνια του εξεταζόμενου έργου, καθώς και των αντίστοιχων κερδών για τα επόμενα χρόνια. Τέλος, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί και το χρονικό σημείο κατά το οποίο τα έσοδα και το κόστος της επένδυσης ισορροπούν.

5.4.2 Προεξοφλημένες Ταμιακές Ροές

Προκειμένου η οικονομική ανάλυση μιας επένδυσης να γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η χρονική αξία του χρήματος. Όπως είναι γνωστό, ένα ποσό χρημάτων που λαμβάνεται σήμερα έχει μεγαλύτερη αξία από το ίδιο ποσό χρημάτων που λαμβάνεται στο μέλλον. Η διαφορά στην αξία του χρήματος ισούται με το ποσό των τόκων που θα μπορούσαν να έχουν κερδηθεί από τα χρήματα αυτά. [37]

Συνεπώς, οι προεξοφλημένες ταμιακές ροές (Discounted cash flow - DCF) εκφράζονται ως:

$$DCF = \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

(εξ. 5.1)

Όπου,

t = Χρόνος της ταμιακής ροής

CF_t = Ταμιακή ροή στο χρόνο t

r = Επιτόκιο προεξόφλησης

Το επιτόκιο προεξόφλησης, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως στα τηλεπικοινωνιακά έργα, κυμαίνεται μεταξύ 10% και 15 %. Δεδομένου ότι η τιμή του επιτοκίου συνυπολογίζει και ρίσκα σχετικά με τις πιθανές αβεβαιότητες του κάθε έργου και των εκτιμώμενων ταμειακών ροών αυτού, γίνεται κατανοητό ότι για νέα τηλεπικοινωνιακά έργα με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας επιλέγεται επιτόκιο προεξόφλησης 15%, ενώ για ώριμα τηλεπικοινωνιακά έργα με μικρό βαθμό αβεβαιότητας επιλέγεται επιτόκιο προεξόφλησης 10%. Θεωρώντας ότι η αναβάθμιση του δικτύου σταθερής πρόσβασης σε τεχνολογία FTTx είναι μια σχετικά ώριμη τηλεπικοινωνιακή επένδυση με μέτριο προς χαμηλό ρίσκο, το επιτόκιο προεξόφλησης που θα χρησιμοποιηθεί είναι 12%.

5.4.3 Καθαρή παρούσα αξία

Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value - NPV) είναι μια από τις βασικότερες μεθόδους αξιολόγησης της οικονομικής εφικτότητας έργων μεγάλης διάρκειας. Αναφέρεται στο συνολικό άθροισμα των Προεξοφλημένων Χρηματικών - Ταμιακών Ροών (DCF) στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο και εκφράζεται ως:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

(εξ. 5.2)

Όπου,

t = Χρόνος της ταμιακής ροής

CF_t = Ταμιακή ροή στο χρόνο t

r = Επιτόκιο προεξόφλησης

N = Συνολική χρονική διάρκεια έργου

Η καθαρή παρούσα αξία αποτελεί μια ένδειξη για το πόση αξία προσδίδει το εξεταζόμενο έργο στην αξία της εταιρίας. Επιπλέον, αποτελεί καθοριστικό κριτήριο για την αποδοχή ($NPV > 0$) ή την απόρριψη ($NPV < 0$) του έργου.

5.4.4 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) αποτελεί ένα δείκτη της απόδοσης μιας επένδυσης, σε αντίθεση με την καθαρή παρούσα αξία που δείχνει μια τιμή ή ένα μέγεθος. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης ορίζεται ως το επιτόκιο προεξόφλησης που έχει ως αποτέλεσμα το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας. Για το υπολογισμό του IRR απαιτείται η επίλυση της παρακάτω εξίσωσης ως προς το IRR: [17]

$$\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

(εξ. 5.3)

Γενικά, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης χρησιμοποιείται ως ένας επιπλέον έλεγχος κατά την εξέταση της εφικτότητας μιας επένδυσης επικουρικά στο NPV. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το IRR δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως συγκριτικό κριτήριο για έργα με διαφορετική διάρκεια και μορφή των ταμειακών ροών, καθώς ένα έργο με υψηλότερο κόστος αρχικής επένδυσης, συγκρινόμενο με ένα άλλο, μπορεί να έχει χαμηλότερο IRR, αλλά να παράγει τελικά υψηλότερο NPV. Συνεπώς, όταν δεν υπάρχουν περιορισμοί κεφαλαίου, θα επιλέγεται πάντα το έργο με τη μεγαλύτερο NPV αντί του υψηλότερου IRR.

5.4.5 Περίοδος αποπληρωμής

Η περίοδος αποπληρωμής (Payback Period) αναφέρεται στη χρονική περίοδο που απαιτείται προκειμένου τα έσοδα της επένδυσης να αποπληρώσουν το κόστος της αρχικής επένδυσης. Η περίοδος αποπληρωμής εκφράζεται ως: [37]

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = n: \sum_{t=0}^{n-1} CF_t < 0, \sum_{t=0}^n CF_t \geq 0$$

(εξ. 5.4)

Εκτός από την απλή περίοδο αποπληρωμής, υπάρχει και η προεξοφλημένη περίοδος αποπληρωμής η οποία εκφράζεται ως:

$$\text{Προεξοφλημένη περίοδος αποπληρωμής} = n: \sum_{t=0}^{n-1} \frac{CF_t}{(1+r)^t} < 0, \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq 0$$

(εξ. 5.5)

Και σε αυτή την περίπτωση, η περίοδος αποπληρωμής χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως ένας επιπλέον έλεγχος κατά την εξέταση της εφικτότητας μιας επένδυσης επικουρικά στο NPV. Όπως είναι φυσικό, κατά τη σύγκριση δύο επενδύσεων, προτιμητέα είναι αυτή με τον μικρότερο χρόνο αποπληρωμής.

5.4.6 Ανταποδοτικότητα της επένδυσης

Τέλος, ένα ακόμα κριτήριο για τη αξιολόγηση της απόδοσης μιας επένδυσης είναι η ανταποδοτικότητα της επένδυσης (Return on Investment - ROI), η οποία ορίζεται ως ο λόγος των κερδών της επένδυσης προς το κόστος της και εκφράζεται ως: [37] [40]

$$ROI = \frac{\text{Έσοδα από την επένδυση} - \text{Κόστος Επένδυσης}}{\text{Κόστος Επένδυσης}}$$

(εξ. 5.5)

5.5 Οικονομική αξιολόγηση λύσεων FTTx

Το επόμενο βήμα είναι η οικονομική αξιολόγηση των τριών τεχνικών λύσεων: FTTH - homerun, FTTH - GPON και FTTC - VDSL για την περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, χρησιμοποιώντας τόσο τα κριτήρια που παρουσιάστηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, όσο και τα μοντέλα εκτίμησης αποδοχής της τεχνολογίας FTTx, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.

5.5.1 Οικονομική αξιολόγηση FTTH – homerun

Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αξιολόγηση της λύσης FTTH - homerun, όπως αυτά υπολογίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συνολικός Αριθμός συνδρομητών περιοχής Π. Φαλήρου	12.000
Μηνιαίο ARRU (συνδρομή)	20€
Επιτόκιο προεξόφλησης	12%
Λειτουργικό κόστος εκφρασμένο ως ποσοστό του κόστους υλοποίησης	3,97%
Συνολικό σταθερό κόστος	4.131.636€
Μεταβλητό κόστος ανά πελάτη	398€

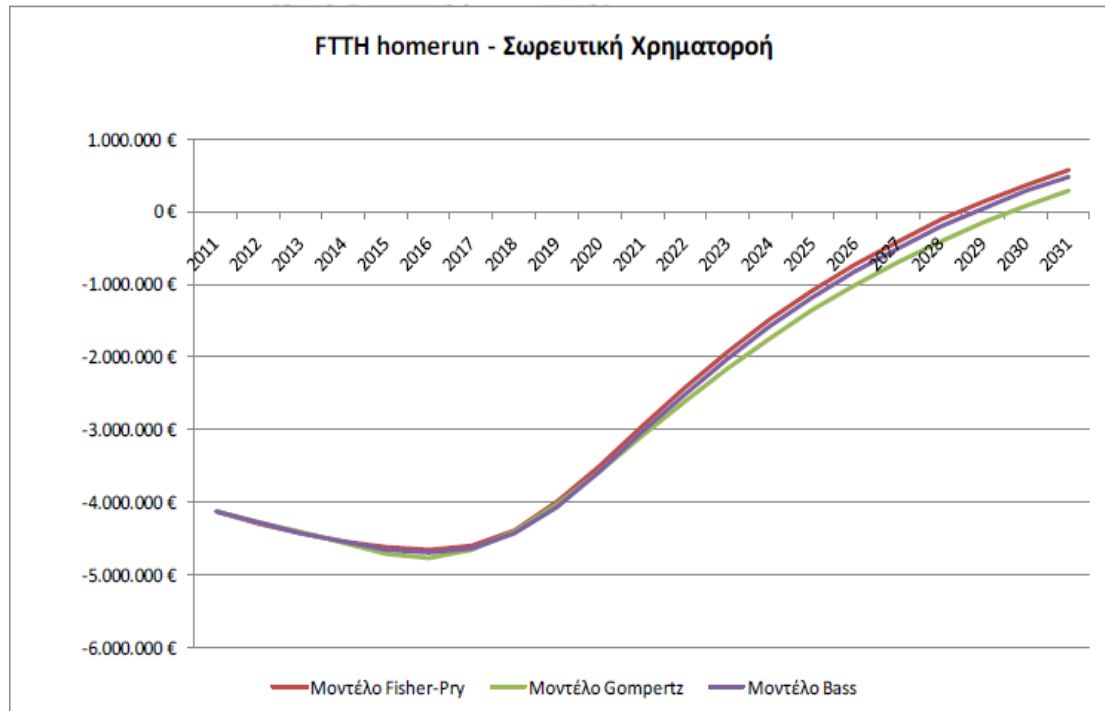
(σχ. 5.25) Δεδομένα για την οικονομική ανάλυση της λύσης FTTH – homerun

Εξετάζοντας της εφικτότητα της επένδυσης σε βάθος εικοσαετίας και χρησιμοποιώντας τα ποσοστά αποδοχής της τεχνολογίας FTTx ανά έτος και ανά μοντέλο, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο σχήμα 4.8 (κεφάλαιο 4), είναι δυνατός ο υπολογισμός της περιόδου αποπληρωμής (Payback Period), της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) και του εσωτερικού επιτοκίου επένδυσης. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι λαμβάνεται ως παραδοχή το γεγονός ότι τα πρώτα δίκτυα κατασκευάστηκαν μέσα στο 2011 και οι πρώτες συνδέσεις FTTH homerun ήταν διαθέσιμες το 2012. Τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης παρουσιάζονται επόμενο σχήμα και οι αναλυτικοί υπολογισμοί στο Παράτημα.

	Μοντέλο Fisher-Pry	Μοντέλο Gompertz	Μοντέλο Bass
Payback period	18 Έτη	19 Έτη	18 Έτη
NPV	588.990 €	296.907 €	496.257 €
IRR	13,08%	12,55%	12,91%

(σχ. 5.26) Αποτελέσματα ανάλυσης της λύσης FTTH homerun

Επιπλέον, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η συσσωρευτική χρηματοροή της λύσης FTTH homerun για τις εκτιμήσεις των μοντέλων Fisher-Pry, Gompertz και Bass.



(σχ. 5.27) Συσσωρευτική Χρηματοροή της λύσης FTTH homerun ανά μοντέλο διεξόδου

Όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα, οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων εκτίμησης της διεξόδου της τεχνολογίας FTTH στους καταναλωτές είναι μικρές. Το μοντέλο με τα πιο αισιόδοξα αποτελέσματα είναι το μοντέλο Fisher-Pry, ενώ τα πιο απαισιόδοξα αποτελέσματα φέρει το μοντέλο Gompertz. Πιο συγκριμένα, η περίοδος αποπληρωμής βρίσκεται πολύ κοντά στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου και είναι 18 έτη για το Fisher-Pry και Bass, ενώ για το Gompertz είναι 19 έτη. Η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική και στα τρία μοντέλα, με καλύτερη επίδοση τις 590 χιλιάδες ευρώ (Fisher-Pry), ενώ ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 13%.

5.5.2 Οικονομική αξιολόγηση FTTH - GPON

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξιολόγηση της λύσης FTTH - GPON, όπως αυτά υπολογίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συνολικός Αριθμός Συνδρομητών περιοχής Π. Φαλήρου	12.000
Μηνιαίο ARRU (Συνδρομή)	20€
Επιτόκιο προεξόφλησης	12%
Λειτουργικό κόστος εκφρασμένο ως ποσοστό του κόστους υλοποίησης	3,81%
Συνολικό σταθερό κόστος	2.235.417€
Μεταβλητό κόστος ανά πελάτη	400€

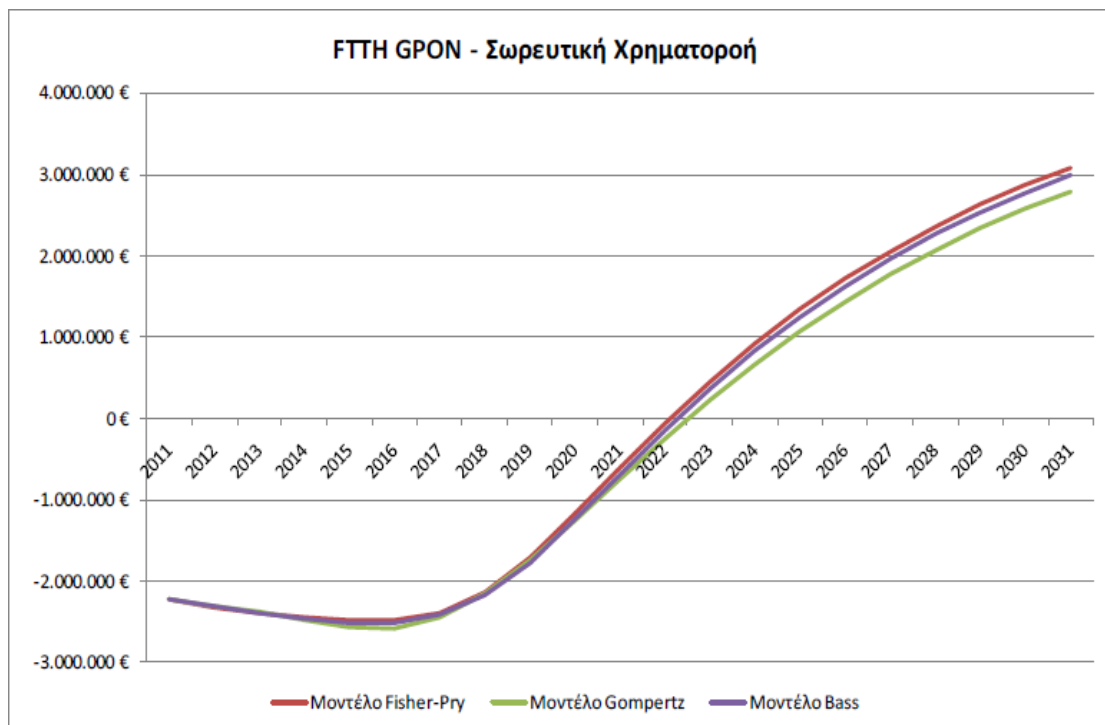
(σχ. 5.28) Δεδομένα για την ανάλυση της λύσης FTTH - GPON

Χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία και τις ίδιες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση του FTTH - homerun, γίνεται η συγκεκριμένη οικονομική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί και οι αναλυτικοί υπολογισμοί στο Παράτημα.

	Μοντέλο Fisher-Pry	Μοντέλο Gompertz	Μοντέλο Bass
Payback period	12 Έτη	12 Έτη	12 Έτη
NPV	3.084.792 €	2.792.155 €	2.991.883 €
IRR	19,79%	19,14%	19,55%

(σχ. 5.29) Αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης της λύσης FTTH - GPON

Επιπλέον, στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η συσσωρευτική χρηματοροή της λύσης FTTH - GPON για τις εκτιμήσεις των μοντέλων Fisher-Pry, Gompertz και Bass.



(σχ. 5.30) Συσσωρευτική χρηματοροή της λύσης FTTH - GPON ανά μοντέλο διείσδυσης

Όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα, και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των τριών μοντέλων εκτίμησης της διείσδυσης της τεχνολογίας FTTC στους καταναλωτές είναι μικρές. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 12 έτη και για τα τρία μοντέλα, η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, με καλύτερη επίδοση τα τρία εκατομμύρια ευρώ (Fisher-Pry), ενώ, τέλος, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 19,5%.

5.5.3 Οικονομική αξιολόγηση FTTC VDSL

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξιολόγηση της λύσης FTTC VDSL, όπως αυτά υπολογίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συνολικός Αριθμός Συνδρομητών περιοχής Π. Φαλήρου	12.000
Μηνιαίο ARRU (Συνδρομή)	20€
Επιτόκιο προεξόφλησης	12%
Λειτουργικό κόστος εκφρασμένο ως ποσοστό του κόστους υλοποίησης	6,68%
Συνολικό σταθερό κόστος	1.253.193€
Μεταβλητό κόστος ανά πελάτη	44€

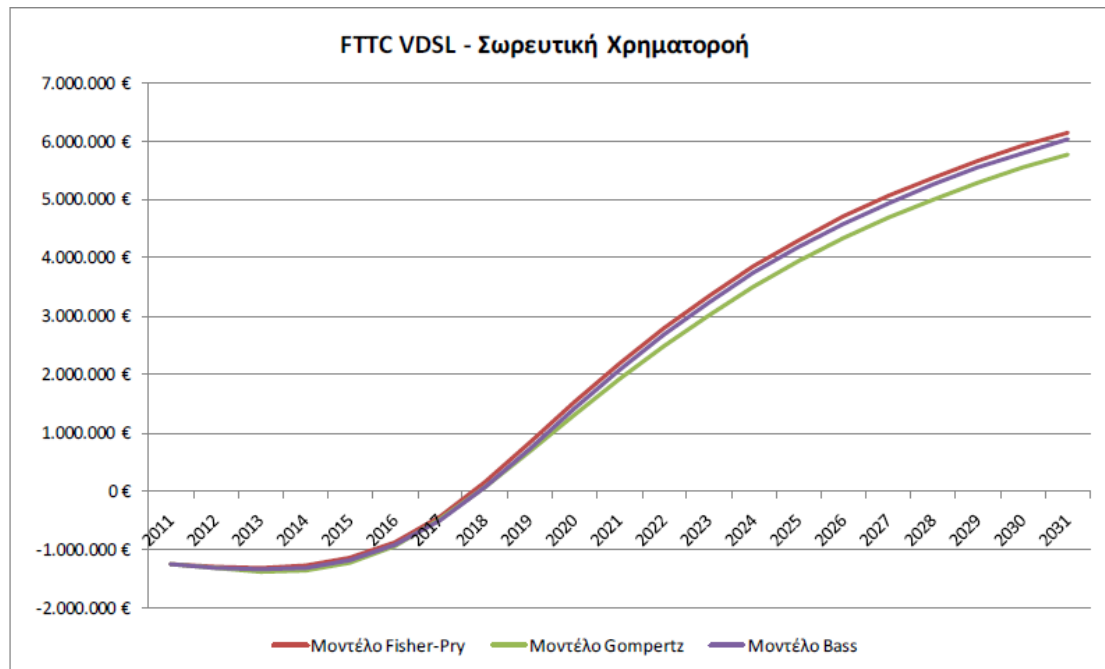
(σχ. 5.31) Δεδομένα για την οικονομική ανάλυση της λύσης FTTC - VDSL

Χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία και τις ίδιες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν και παραπάνω περιπτώσεις, γίνεται η συγκεκριμένη οικονομική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί και οι αναλυτικοί υπολογισμοί στο Παράτημα.

	Μοντέλο Fisher-Pry	Μοντέλο Gompertz	Μοντέλο Bass
Payback period	7 Έτη	7 Έτη	7 Έτη
NPV	6.149.138 €	5.774.602 €	6.030.410 €
IRR	33,34%	32,04%	32,74%

(σχ. 5.32) Αποτελέσματα ανάλυσης της λύσης FTTC - VDSL

Επιπλέον, στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συσσωρευτική χρηματοροή της λύσης FTTC VDSL για τις εκτιμήσεις των μοντέλων Fisher-Pry, Gompertz και Bass.



(σχ. 5.33) Συσσωρευτική χρηματοροή της λύσης FTTC - VDSL ανά μοντέλο διείσδυσης

Όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα, και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των τριών μοντέλων εκτίμησης της διείσδυσης της τεχνολογίας FTTx στους καταναλωτές είναι μικρές. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 7 έτη και για τα τρία μοντέλα, η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, με καλύτερη επίδοση γύρω στα 6,1 εκατομμύρια ευρώ (Fisher- Pry), ενώ, τέλος, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 32,5%.

5.6 Συμπεράσματα σύγκρισης

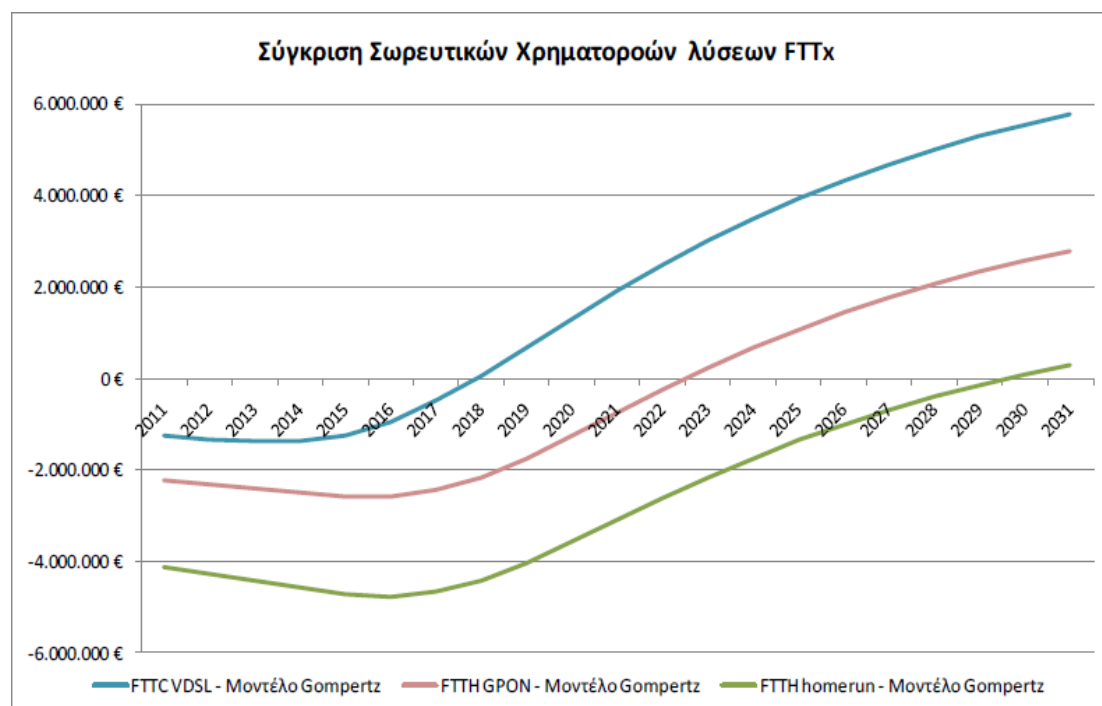
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης των τεχνικών λύσεων FTTx, όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι αναπόφευκτο να συγκριθούν και μεταξύ τους. Η σύγκριση θα στηριχθεί στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση του μοντέλου Gompertz, διότι όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι το μοντέλο που αποτυπώνει καλύτερα τη διείσδυση των ευρυζωνικών συνδέσεων στους έλληνες καταναλωτές. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση του μοντέλου Gompertz είναι σαφώς τα πιο απαισιόδοξα σε σχέση με τα άλλα δύο κι έτσι δύναται κατάδειξη του χειρότερου δυνατού σεναρίου.

Τα αποτελέσματα των τριών λύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	FTTH homerun	FTTH GPON	FTTC VDSL
Payback period	19 Έτη	12 Έτη	7 Έτη
NPV	296.907 €	2.792.155 €	5.774.602 €
IRR	12,55%	19,14%	32,04%

(σχ. 5.34) Συγκριτικά αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης των λύσεων FTTx

Επιπλέον, στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνονται η σωρευτικές χρηματοροές και των τριών λύσεων για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο των 20 ετών.



(σχ. 5.35) Σύγκριση συσσωρευτικών χρηματοροών λύσεων FTTx

Όπως διαφαίνεται, η πιο συμφέρουσα οικονομικά επένδυση είναι η λύση FTTC VDSL, αφού έχει τον μικρότερο χρόνο αποπληρωμής με μόλις 7 έτη, ενώ συγχρόνως έχει την μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία, αλλά και το μεγαλύτερο εσωτερικό συντελεστή απόδοσης στο πέρας της εικοσαετίας. Στον αντίποδα, η επένδυση της λύσης FTTH homerun θα χαρακτηριζόταν μάλλον επίφοβη, καθώς ο χρόνος αποπληρωμής πλησιάζει το πέρας της εικοσαετίας και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι οριακά πάνω από το επιτόκιο προεξόφλησης που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, τα αποτελέσματα της λύσης FTTH GPON την τοποθετούν ανάμεσα στις δύο άλλες λύσεις, με αποτέλεσμα να μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι αποτελεί τον μέσο όρο αυτών.

Συνεπώς, με αυστηρώς οικονομικά κριτήρια, τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης δείχνουν ότι η τεχνολογική λύση FTTC VDSL υπερτερεί ξεκάθαρα έναντι των άλλων δύο λύσεων, καθώς έχει τη μικρότερη περίοδο αποπληρωμής, τη μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία και το μεγαλύτερο εσωτερικό συντελεστή απόδοσης. Παρόλα αυτά, όμως, είναι μια

τεχνολογία με ημερομηνία λήξεως, αφού αντιμετωπίζει περιορισμούς τόσο ως προς τους ρυθμούς μετάδοσης όσο και ως προς την επεκτασιμότητα της, με αποτέλεσμα, όταν οι παρεχόμενες εφαρμογές της ευρυζωνικότητας ωριμάσουν και οι ανάγκες για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης αυξηθούν εκ νέου, η μετάβαση σε τεχνολογία FTTH να είναι αναπόφευκτη.

Βιβλιογραφία

- [1] Corning International Traffic Model
- [2] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.1/en>
- [3] <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/evrizonikotita.php>
- [4] <http://www.tcom.auth.gr/isdn/technologies/dsl-tutorial.html>
- [5] Δίκτυα υπολογιστών, Tanenbaum Andrew S., Εκδ. Κλειδάριθμος
- [6] <http://www.usr-emea.com/education/bb3.asp?loc=grec>
- [7] TeleGeography, ©2010 PriMetrica, Inc.
- [8] Telecommunications and Economic Growth, Qiang, Christine Z., Unpublished paper World Bank, Washington, D.C
- [9] Realizing the Benefits of Broadband, Intel Corporation 2010
- [10] Ευρυζωνικότητα: προώθηση, επίδειξη, στρατηγική, βέλτιστες πρακτικές, Παρουσίαση, Χ. Μπούρας
- [11] The impact of broadband on jobs and the German economy, Prof. Dr. Raul L. Katz1, Dr. Stephan Vaterlaus, Patrick Zenhausem, Dr. Stephan Suter and Dr. Philippe Mahler, Intereconomics: Review of European Economic Policy, vol. 45, 2010
- [12] URL: www.telecom.ntua.gr/photonics, Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα οπτικών Ινών, Ηρακλής Αβραμόπουλος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών (ΕΜΠ), Δεκέμβριος 2012
- [13] Εισαγωγή στις οπτικές ίνες, Ευθυμίου Χρήστος, Τ.Ε.Ι Σερρών, Σέρρες 2011
- [14] Δυναμική Δρομολόγηση και Ανάθεση Μήκους Κύματος σε Διαφανή WDM Δίκτυα που λαμβάνει υπόψη το Κέρδος των Ενισχυτών, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ποτού Κων/να, Δεκέμβριος 2009
- [15] WDM over POF τεχνολογία στο δίκτυο Μετάδοσης Κινητής πληροφορίας, Ειδική επιστημονική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Φυσικής, Μπανιάς Κωνσταντίνος
- [16] Τηλεματική: Συστήματα Οπτικών Τηλεπικοινωνιών, Τμήμα Βιομηχανικής Πληροφορικής, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Καβάλας, Ιωάννης Δ. Τσαλαμάνης, 2011
- [17] Τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή δικτύων οπτικών ινών εντός πόλεων και εγκατάσταση δομημένης οριζόντιας και κάθετης καλωδίωσης οπτικών ινών εντός κτιρίων, e-business forum, ομάδα εργασίας Ιδ3, Σεπτέμβριος 2008
- [18] G. Keiser. 2006. FTTH Concepts and Applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [19] A. Banerjee, M. Sirbu. 2003. Towards Technologically and Competitively Neutral Fiber to the Home (FTTH) Infrastructure, Broadband Services: Business Models and Technologies for Community Networks in Proceeding of the TPRC conference

- [20] Occam Networks, Inc. 2005. Whitepaper for FTTx: Selecting the best architecture for the access network
- [21] Τρούλος Κωνσταντίνος, Οπτικές Υποδομές Δικτύων Πρόσβασης Νέας Γενιάς: Στρατηγικές Δημοτικής Ανάπτυξης, Διδακτορική Διατριβή, 2012
- [22] www.idt.com/application/datacom-telecom/fttx-xpon-optical-network
- [23] eltex.nsk.ru/en/xpon-network-description
- [24] www.FTTxtra.com
- [25] Sigurdsson H., Ph.D. thesis “Techno-Economics of Residential Broadband Deployment”, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby 2007, IMM-PHD: ISSN 0909-3192
- [26] Βασιλόπουλος Χ., Παγιατάκης Γ., “Προηγμένες τηλεπικοινωνιακές Υποδομές και Υπηρεσίες”, Ο.Τ.Ε. Α.Ε. Γενική Δ/νση Τεχνικών Θεμάτων, Μαρούσι, 2001
- [27] Σύσταση της ITU-T G.992.3 (2002), Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers -2 (ADSL2)
- [28] Σύσταση της ITU-T G.992.5 (2003), Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers– Extended Bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)
- [29] Σύσταση της ITU-T G.993.1 (2004), Very high speed digital subscriber line transceivers
- [30] Σύσταση της ITU-T G.993.2 (2006), Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)
- [31] Δούκογλου Τ., “Τεχνολογία DSL σήμερα και αύριο”, ΟΤΕ Α.Ε.
- [32] EAITY, “Πρωώθηση της Ευρυζωνικότητας στη Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδος”, Υποέργο 1: Αυτεπιστασία, “Μελέτη για την Άθροιση ζήτησης Ευρυζωνικών Υπηρεσιών στην Περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδος”, 10/2009
- [33] Γκιμπερίτης Β. “Εφαρμογές Τηλεματικής & Πληροφορικής”, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
- [34] Βαρδάγγαλου Γ., “Web 2.0 και εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης”, Περιοδικό on line, τεύχος 27, Αθήνα, Μάιος – Ιούλιος 2011
- [35] Μπούρας Χ., “Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, <http://ru6.cti.gr/bouras/index2.php>
- [36] Rogers E., “Diffusion of innovations”, 3rd ed., Free Press, New York, 1983, ISBN 0 02112926650 5
- [37] Casier K., "Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Deployment in a Competitive Setting", PhD degree at the Faculty of engineering of the Ghent University, 8/1/2009
- [38] ATKEARNEY, “Η Χάραξη Εθνικής Στρατηγικής στον Τομέα των Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών για τη περίοδο 2007 – 2013”, Αθήνα, Μάιος 2008

- [39] Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), “Πορεία της Ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα – Α’ Τρίμηνο 2010”, Μάιος 2010
- [40] Ο.Τ.Ε. Α.Ε., “Εσωτερικές Εταιρικές Αναφορές”, Α’ τρίμηνο 2011 – Δ’ τρίμηνο 2013
- [41] Παρατηρητήριο για τη κοινωνία της πληροφορίας, “12^η Εξαμηνιαία Αναφορά για την Ευρυζωνικότητα”, Αθήνα, Μάρτιος 2011
- [42] Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), “ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ 2014-2020”, Οκτώβριος 2014
- [43] <http://www.infocom.gr/2014/05/20/stasimh-h-poreia-twn-enallaktikwn-thlepikoinwniakwn-paroxwn-sto-vdsl/16480/>
- [44] http://www.doriforikanea.gr/newsite/news_article.php?id=14406&catid=7
- [45] http://www.cyta.gr/el/presscentersection/~media/Files/CYTA/PDF/interviews/1204_kinita_nea_michalis_achilleos.pdf
- [46] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/toolkit/notes/PracticeNote/2974> ,Μάρτιος 2013
- [47] “Οπτικές Υποδομές Δικτύων Πρόσβασης Νέας Γενιάς: Στρατηγικές Δημοτικής Ανάμειξης”, Διδακτορική Διατριβή, Κωνσταντίνος Τρούλος, Αθήνα, Φεβρουάριος 2012.
- [48] <http://www.fibrain.hu/metrojet/multitube-cable-mk-lx6-type>
- [49] <http://www.fibrain.hu/metrojet/fiber-bundles-mk-bx2-type>
- [50] FDT - Exterior Molding Apartment Pathway, <http://janrek.blogspot.com/2008/09/gpon.html>
- [51] “Μοντέλο Εισαγωγής του FTTH στο Αστικό Τηλεφωνικό Δίκτυο”, Διπλωματική Εργασία, Γεωργίου Δέσποινα, Πάτρα, 2013.

Παράρτημα

Οικονομική ανάλυση ανά μοντέλο αποδοχής της λύσης FTTH homerun

FTTH homerun - Μοντέλο Fisher-Pry

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Διάδοση %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Αριθμός πελατών	0	1.18%	2.58%	5.53%	11.35%	21.52%	36.01%	51.65%	64.17%	72.02%	76.21%	78.25%	79.20%	79.64%	79.84%	79.93%	79.97%	79.99%	79.99%	80.00%	80.00%
Έσοδα		142	310	664	1.362	2.582	4.322	6.198	7.701	8.642	9.145	9.390	9.504	9.557	9.581	9.591	9.596	9.598	9.599	9.600	9.600
Σταθερό CAPEX	4.131.626	34.039	74.409	159.295	326.825	619.641	1.037.182	1.487.592	1.848.232	2.074.175	2.194.731	2.253.586	2.281.071	2.293.641	2.299.334	2.301.901	2.303.056	2.303.576	2.303.609	2.303.914	2.303.962
Μεταβλητό CAPEX		56.449	66.946	140.770	277.820	485.587	692.423	746.929	598.061	374.689	199.922	97.601	45.580	20.844	9.441	4.257	1.916	862	387	174	78
Συνολικό CAPEX		4.188.075	4.255.021	4.395.790	4.673.611	5.159.197	5.851.620	6.598.550	7.196.610	7.571.299	7.771.221	7.868.822	7.914.402	7.935.247	7.944.688	7.948.945	7.950.861	7.951.723	7.952.110	7.952.284	7.952.362
OPEX		166.391	169.051	174.643	185.681	204.973	232.483	262.158	285.919	300.805	308.748	312.626	314.437	315.265	315.640	315.809	315.885	315.919	315.935	315.942	315.945
Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-188.800	-161.588	-156.118	-136.677	-70.919	112.277	478.504	964.252	1.398.680	1.686.061	1.843.359	1.921.054	1.957.531	1.974.253	1.981.834	1.985.255	1.986.795	1.987.487	1.987.799	1.987.938
Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-168.572	-128.817	-111.122	-86.861	-40.241	56.883	216.451	389.445	504.378	542.866	529.922	493.087	448.616	403.971	362.074	323.838	289.365	258.452	230.797	206.083
Συμμετρική Χρηματοροή	-4.131.626	-4.300.198	-4.429.014	-4.540.136	-4.626.997	-4.667.238	-4.610.355	-4.393.904	-4.004.459	-3.500.081	-2.957.214	-2.427.293	-1.934.206	-1.485.590	-1.081.619	-719.545	-395.707	-106.342	152.110	382.907	588.990

Payback period 18 Έτη
NPV στα 20 έτη 588.990 >0
IRR στα 20 έτη 13%

FTTH homerun - Μοντέλο Gompertz

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021'	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Διάδοση %	0	0,05%	0,71%	3,94%	11,72%	23,51%	36,64%	48,63%	58,24%	65,34%	70,31%	73,68%	75,91%	77,37%	78,31%	78,92%	79,31%	79,56%	79,72%	79,82%	79,89%
Αριθμός πελατών		6	85	472	1.407	2.822	4.397	5.835	6.988	7.841	8.438	8.842	9.109	9.284	9.397	9.470	9.517	9.547	9.566	9.578	9.586
Έσοδα		1.398	20.474	113.377	337.669	677.183	1.055.375	1.400.485	1.677.354	1.881.830	2.025.040	2.121.994	2.186.224	2.228.191	2.255.369	2.272.872	2.284.103	2.291.293	2.295.890	2.298.825	2.300.699
Σταθερό CAPEX	4.131.626																				
Μεταβλητό CAPEX		2.318	31.634	154.064	371.951	563.028	627.169	572.306	459.141	339.090	237.490	160.782	106.515	69.594	45.071	29.025	18.625	11.924	7.622	4.868	3.107
Συνολικό CAPEX		4.133.944	4.165.578	4.319.642	4.691.594	5.254.622	5.881.790	6.454.097	6.913.238	7.252.328	7.489.818	7.650.600	7.757.115	7.826.709	7.871.780	7.900.805	7.919.430	7.931.354	7.938.976	7.943.845	7.946.952
OPEX		164.240	165.497	171.618	186.396	208.764	233.682	256.419	274.661	288.133	297.568	303.956	308.188	310.953	312.743	313.897	314.637	315.110	315.413	315.606	315.730
Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-165.160	-176.658	-212.306	-220.678	-94.609	194.525	571.759	943.552	1.254.607	1.489.982	1.657.256	1.771.521	1.847.644	1.897.555	1.929.250	1.950.842	1.964.259	1.972.854	1.978.351	1.981.862
Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-147.465	-140.830	-151.115	-140.245	-53.684	98.552	258.635	381.085	452.424	479.734	476.422	454.705	423.432	388.277	352.595	318.225	286.083	256.549	229.700	205.453
Συμμετρική Χρηματοροή	-4.131.626	-4.279.091	-4.419.921	-4.571.036	-4.711.281	-4.764.965	-4.666.412	-4.407.777	-4.026.693	-3.574.269	-3.094.534	-2.618.113	-2.163.407	-1.739.975	-1.351.698	-999.103	-680.878	-394.795	-138.246	91.454	296.907

Payback period 19 Έτη
NPV στα 20 έτη 296.907 >0
IRR στα 20 έτη 13%

FTTH homerun - Μοντέλο Bass

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Διάδοση %	0	0,57%	2,03%	5,05%	10,85%	20,83%	34,96%	50,36%	63,00%	71,18%	75,69%	77,96%	79,05%	79,56%	79,80%	79,91%	79,96%	79,98%	79,99%	80,00%	80,00%
Αριθμός πελατών		66	244	605	1.303	2.500	4.195	6.043	7.560	8.542	9.083	9.355	9.486	9.547	9.576	9.589	9.595	9.598	9.599	9.600	9.600
Έσοδα		16.302	58.568	145.310	312.624	599.891	1.006.863	1.450.292	1.814.350	2.049.965	2.179.872	2.245.233	2.276.606	2.291.324	2.298.155	2.301.309	2.302.762	2.303.431	2.303.738	2.303.880	2.303.945
Σταθερό CAPEX	4.131.626																				
Μεταβλητό CAPEX		27.033	70.091	143.848	277.462	476.384	674.896	735.353	603.730	390.728	215.430	108.391	52.027	24.408	11.327	5.231	2.410	1.109	510	235	108
Συνολικό CAPEX		4.158.659	4.228.751	4.372.599	4.650.061	5.126.445	5.801.341	6.536.693	7.140.423	7.531.151	7.746.580	7.854.971	7.906.997	7.931.405	7.942.732	7.947.963	7.950.373	7.951.482	7.951.992	7.952.226	7.952.334
OPEX		165.222	168.007	173.722	184.745	203.672	230.485	259.701	283.667	299.210	307.769	312.076	314.143	315.112	315.562	315.770	315.866	315.910	315.930	315.939	315.944
Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-175.954	-179.531	-172.260	-149.584	-80.166	101.482	455.239	926.934	1.360.027	1.656.673	1.824.767	1.910.437	1.951.804	1.971.265	1.980.308	1.984.486	1.986.412	1.987.298	1.987.706	1.987.893
Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-4.131.626	-157.102	-143.121	-122.611	-95.063	-45.488	51.414	205.927	374.373	490.439	533.404	524.577	490.362	447.303	403.360	361.795	323.713	289.310	258.427	230.786	206.078
Συμμετρική Χρηματοροή	-4.131.626	-4.288.728	-4.431.849	-4.554.460	-4.649.523	-4.695.011	-4.643.597	-4.437.670	-4.063.297	-3.572.858	-3.039.454	-2.514.877	-2.024.515	-1.577.212	-1.173.852	-812.057	-488.345	-199.035	59.392	290.178	496.257

Payback period 18 Έτη
NPV στα 20 έτη 496.257
IRR στα 20 έτη 13%

Οικονομική ανάλυση ανά μοντέλο αποδοχής της λύσης FTTH GPON

FTTH GPON - Μοντέλο Fisher-Pry

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	*2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διόδοση %	0	1.18%	2.58%	5.53%	11.35%	21.52%	36.01%	51.65%	64.17%	72.02%	76.21%	78.25%	79.20%	79.64%	79.84%	79.93%	79.97%	79.99%	79.99%	80.00%	80.00%
Αριθμός πελατών		142	310	664	1.362	2.582	4.322	6.198	7.701	8.642	9.145	9.390	9.504	9.557*	9.581	9.591	9.596	9.598	9.599	9.600	9.600
Έσοδα		34.039	74.409	159.295	326.825	619.641	1.037.182	1.487.592	1.848.232	2.074.175	2.194.731	2.253.586	2.281.071	2.293.641	2.299.334	2.301.901	2.303.056	2.303.576	2.303.809	2.303.914	2.303.962
Σταθερό CAPEX	2.235.417																				
Μεταβλητό CAPEX		56.732	67.282	141.477	279.217	488.027	695.902	750.683	601.066	376.572	200.927	98.091	45.809	20.949	9.488	4.279	1.926	866	389	175	79
Συνολικό CAPEX		2.292.149	2.359.432	2.500.909	2.780.125	3.268.152	3.964.054	4.714.737	5.315.803	5.692.375	5.693.302	5.991.393	6.037.202	6.058.151	6.067.640	6.071.919	6.073.844	6.074.710	6.075.099	6.075.274	6.075.353
OPEX		87.405	89.970	95.365	106.012	124.622	151.158	179.784	202.704	217.063	224.725	228.465	230.212	231.011	231.373	231.536	231.609	231.642	231.657	231.664	231.667
Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-110.098	-82.844	-77.547	-58.404	6.992	190.122	557.126	1.044.462	1.480.540	1.769.079	1.927.029	2.005.050	2.041.680	2.058.472	2.066.086	2.069.521	2.071.068	2.071.763	2.072.076	2.072.216
Προξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-98.302	-66.043	-55.197	-37.117	3.967	96.322	252.015	421.841	533.897	569.596	553.975	514.646	467.900	421.204	377.466	337.584	301.639	269.411	240.582	214.820
Σωρευτική Χρηματοροή	-2.235.417	-2.333.719	-2.399.761	-2.454.958	-2.492.075	-2.488.107	-2.391.786	-2.139.770	-1.717.930	-1.184.032	-614.436	-60.461	454.185	922.086	1.343.290	1.720.756	2.058.340	2.359.979	2.629.390	2.869.972	3.084.792

Payback period 12 Έτη
NPV στα 20 έτη 3.084.792 >0
IRR στα 20 έτη 20%

FTTH GPON - Μοντέλο Gompertz

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διόδοση %	0	0,05%	0,71%	3,94%	11,72%	23,51%	36,64%	48,63%	58,24%	65,34%	70,31%	73,68%	75,91%	77,37%	78,31%	78,92%	79,31%	79,56%	79,72%	79,82%	79,89%
Αριθμός πελατών		6	85	472	1.407	2.822	4.397	5.835	6.989	7.841	8.438	8.842	9.109	9.284	9.397	9.470	9.517	9.547	9.566	9.578	9.586
Έσοδα		1.398	20.474	113.377	337.669	677.183	1.055.375	1.400.485	1.677.354	1.881.830	2.025.040	2.121.994	2.186.224	2.228.191	2.255.369	2.272.872	2.284.103	2.291.293	2.295.890	2.298.825	2.300.699
Σταθερό CAPEX	2.235.417																				
Μεταβλητό CAPEX		2.330	31.793	154.838	373.821	565.857	630.320	575.182	461.448	340.794	238.683	161.590	107.050	69.944	45.298	29.171	18.718	11.984	7.661	4.893	3.123
Συνολικό CAPEX		2.237.747	2.269.540	2.424.378	2.798.199	3.364.056	3.994.376	4.569.558	5.031.007	5.371.801	5.610.484	5.772.074	5.879.124	5.949.068	5.994.366	6.023.537	6.042.255	6.054.239	6.061.900	6.066.793	6.069.916
OPEX		85.330	86.543	92.447	106.702	128.279	152.315	174.248	191.844	204.839	213.940	220.102	224.184	226.851	228.579	229.691	230.405	230.862	231.154	231.340	231.460
Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-86.262	-97.862	-133.909	-142.853	-16.953	272.741	651.055	1.024.062	1.336.197	1.572.417	1.740.302	1.854.990	1.931.395	1.981.493	2.014.010	2.034.980	2.048.448	2.057.075	2.062.592	2.066.117
Προξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-77.020	-78.015	-95.314	-90.786	-9.619	138.179	294.504	413.601	481.846	506.276	500.295	476.130	442.626	405.453	367.952	331.949	298.345	267.501	239.481	214.188
Σωρευτική Χρηματοροή	-2.235.417	-2.312.437	-2.390.452	-2.485.766	-2.576.551	-2.586.171	-2.447.992	-2.153.486	-1.739.886	-1.258.040	-751.764	-251.469	224.661	667.287	1.072.740	1.440.692	1.772.641	2.070.986	2.338.487	2.577.968	2.792.155

Payback period 12 Έτη
NPV στα 20 έτη 2.792.155 >0
IRR στα 20 έτη 19%

FTTH GPON - Μοντέλο Bass

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Διόδοση %	0	0,57%	2,03%	5,05%	10,85%	20,83%	34,96%	50,36%	63,00%	71,18%	75,69%	77,96%	79,05%	79,56%	79,80%	79,91%	79,96%	79,98%	79,99%	80,00%	80,00%	
Αριθμός πελατών		68	244	605	1.303	2.500	4.195	6.043	7.560	8.542	9.355	9.866	9.547	9.576	9.589	9.589	9.595	9.598	9.599	9.599	9.600	
Έσοδα		16.302	58.568	145.310	312.624	599.891	1.006.863	1.450.292	1.814.350	2.049.965	2.179.872	2.245.233	2.276.606	2.291.324	2.298.155	2.301.309	2.302.762	2.303.431	2.303.738	2.303.880	2.303.945	
Σταθερό CAPEX	2.235.417																					
Μεταβλητό CAPEX		27.169	70.444	144.571	278.856	478.778	678.287	739.048	606.763	392.691	216.512	108.935	52.288	24.530	11.384	5.257	2.422	1.115	513	236	108	
Συνολικό CAPEX		2.262.586	2.333.030	2.477.601	2.477.601	2.576.457	3.235.235	3.913.522	4.652.570	5.259.333	5.652.025	5.868.537	5.977.472	6.029.760	6.054.290	6.065.675	6.070.932	6.073.353	6.074.468	6.074.981	6.075.216	6.075.325
OPEX		86.278	88.964	94.476	105.110	123.367	149.231	177.413	200.550	215.524	223.781	227.934	229.928	230.864	231.298	231.498	231.591	231.633	231.653	231.662	231.666	
Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-97.145	-100.840	-93.737	-71.342	-2.254	179.344	533.831	1.007.036	1.441.749	1.739.579	1.908.363	1.994.389	2.035.930	2.055.472	2.064.553	2.068.749	2.070.683	2.071.573	2.071.982	2.072.170	
Προξοφλημένες Ταμειακές Ροές	-2.235.417	-86.737	-80.389	-66.720	-45.339	-1.279	90.861	241.478	406.725	519.909	560.098	548.609	511.910	466.583	420.590	377.186	337.458	301.583	269.386	240.571	214.815	
Σωρευτική Χρηματοροή	-2.235.417	-2.322.154	-2.402.543	-2.469.263	-2.514.602	-2.515.881	-2.425.020	-2.183.541	-1.776.816	-1.256.907	-696.809	-148.201	363.710	830.292	1.250.883	1.628.069	1.965.527	2.267.110	2.536.496	2.777.067	2.991.883	

Payback period 12 Έτη
NPV στα 20 έτη 2.991.883
IRR στα 20 έτη 20%

Οικονομική ανάλυση ανά μοντέλο αποδοχής της λύσης FTTC VDSL

FTTC VDSL - Μοντέλο Fisher-Pry

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διείσδυση %	0	1,18%	2,58%	5,53%	11,35%	21,52%	36,01%	51,65%	64,17%	72,02%	76,21%	78,25%	79,20%	79,64%	79,84%	79,93%	79,97%	79,99%	79,99%	80,00%	80,00%
Αριθμός πελατών		142	310	664	1.362	2.582	4.322	6.199	7.701	8.642	9.145	9.399	9.504	9.557	9.581	9.591	9.596	9.598	9.599	9.599	9.600
Εσοδα		34.039	74.409	159.295	326.825	619.641	1.037.182	1.487.592	1.848.232	2.074.175	2.194.731	2.253.586	2.281.071	2.293.641	2.299.334	2.301.901	2.303.056	2.303.576	2.303.809	2.303.914	2.303.962
Σταθερό CAPEX	1.253.193																				
Μεταβλητό CAPEX		6.174	7.322	15.396	30.395	53.109	75.730	81.691	65.410	40.980	21.865	10.675	4.985	2.280	1.033	466	210	94	42	19	9
Συνολικό CAPEX		1.259.367	1.266.689	1.282.085	1.312.470	1.365.578	1.441.308	1.523.000	1.588.410	1.629.369	1.651.255	1.661.929	1.666.914	1.668.194	1.670.227	1.670.692	1.670.902	1.670.996	1.671.038	1.671.057	1.671.066
ΟΡΕΧ		84.118	84.607	85.635	87.665	91.212	96.271	101.727	106.096	108.833	110.294	111.007	111.340	111.492	111.561	111.592	111.606	111.612	111.615	111.616	111.617
Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-56.252	-17.520	58.264	208.775	475.320	865.182	1.304.174	1.676.726	1.924.362	2.062.572	2.131.904	2.164.746	2.179.869	2.186.740	2.189.843	2.191.241	2.191.869	2.192.152	2.192.279	2.192.336
Προεξοφλημένες Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-50.225	-13.967	41.471	132.680	269.709	438.328	589.942	677.201	693.944	664.093	612.872	555.636	499.570	447.450	400.076	357.439	319.233	285.067	254.538	227.272
Σωρευτική Χρηματοροή	1.253.193	1.303.418	1.317.385	-1.275.914	-1.143.234	-873.525	-435.197	154.745	831.947	1.525.891	2.189.984	2.802.855	3.358.492	3.858.062	4.305.512	4.705.588	5.063.027	5.382.260	5.667.327	5.921.865	6.149.138

Payback period 7 Έτη
NPV στα 20 έτη 6.149.138 >0
IRR στα 20 έτη 33%

FTTC VDSL - Μοντέλο Gompertz

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διείσδυση %	0	0,05%	0,71%	3,94%	11,72%	23,51%	36,64%	48,63%	58,24%	65,34%	70,31%	73,68%	75,91%	77,37%	78,31%	78,92%	79,31%	79,56%	79,72%	79,82%	79,89%
Αριθμός πελατών		6	85	472	1.407	2.822	4.397	5.835	6.989	7.841	8.438	8.842	9.109	9.284	9.397	9.470	9.517	9.547	9.566	9.578	9.586
Εσοδα		1.398	20.474	113.377	337.669	677.183	1.055.375	1.400.485	1.677.354	1.881.830	2.025.040	2.121.994	2.186.224	2.228.191	2.255.369	2.272.872	2.284.103	2.291.293	2.295.890	2.298.825	2.300.699
Σταθερό CAPEX	1.253.193																				
Μεταβλητό CAPEX		254	3.460	16.850	40.680	61.578	68.593	62.593	50.216	37.086	25.974	17.585	11.650	7.612	4.929	3.174	2.037	1.304	834	532	340
Συνολικό CAPEX		1.253.447	1.256.906	1.273.756	1.314.437	1.376.015	1.444.608	1.507.201	1.557.417	1.594.503	1.620.478	1.638.062	1.649.712	1.657.323	1.662.253	1.665.427	1.667.464	1.668.768	1.669.602	1.670.134	1.670.474
ΟΡΕΧ		83.723	83.954	85.079	87.796	91.909	96.491	100.672	104.026	106.503	108.238	109.412	110.191	110.699	111.028	111.240	111.376	111.463	111.519	111.555	111.577
Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-82.578	-66.940	11.448	209.193	523.696	890.291	1.237.220	1.523.112	1.738.241	1.890.828	1.994.997	2.064.384	2.109.880	2.139.412	2.158.457	2.170.690	2.178.526	2.183.537	2.186.738	2.188.782
Προεξοφλημένες Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-73.731	-53.364	8.148	132.946	297.159	451.049	559.655	615.159	626.827	608.796	573.514	529.876	483.530	437.766	394.342	354.087	317.290	283.946	253.895	226.904
Σωρευτική Χρηματοροή	1.253.193	1.326.924	1.380.288	-1.372.139	-1.239.194	-942.035	-490.986	68.670	683.829	1.310.656	1.919.452	2.492.966	3.022.842	3.506.372	3.944.138	4.338.481	4.692.567	5.009.857	5.293.803	5.547.698	5.774.602

Payback period 7 Έτη
NPV στα 20 έτη 5.774.602 >0
IRR στα 20 έτη 32%

FTTC VDSL - Μοντέλο Bass

Έτος	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	-5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διείσδυση %	0	0,57%	2,03%	5,05%	10,85%	20,83%	34,96%	50,36%	63,00%	71,18%	75,69%	77,96%	79,05%	79,56%	79,80%	79,91%	79,96%	79,98%	79,99%	80,00%	80,00%
Αριθμός πελατών		68	244	605	1.303	2.500	4.195	6.043	7.560	8.542	9.083	9.355	9.486	9.576	9.589	9.595	9.598	9.599	9.599	9.599	9.600
Εσοδα		16.302	58.568	145.310	312.624	599.891	1.006.863	1.450.292	1.814.350	2.049.965	2.179.872	2.245.233	2.276.606	2.291.324	2.298.155	2.301.309	2.302.762	2.303.431	2.303.738	2.303.880	2.303.945
Σταθερό CAPEX	1.253.193																				
Μεταβλητό CAPEX		2.957	7.666	15.733	30.346	52.102	73.813	80.425	66.030	42.734	23.561	11.855	5.690	2.669	1.239	572	264	121	56	26	12
Συνολικό CAPEX		1.256.150	1.263.816	1.279.548	1.309.894	1.361.996	1.435.809	1.516.235	1.582.264	1.624.998	1.648.560	1.660.414	1.666.104	1.668.774	1.670.013	1.670.585	1.670.848	1.670.970	1.671.026	1.671.051	1.671.063
ΟΡΕΧ		83.903	84.415	85.466	87.493	90.973	95.903	101.275	105.686	108.540	110.114	110.905	111.286	111.464	111.547	111.585	111.602	111.611	111.614	111.616	111.617
Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-70.558	-33.513	44.112	194.785	456.816	837.147	1.268.591	1.642.835	1.898.691	2.046.197	2.122.473	2.159.630	2.177.191	2.185.369	2.189.152	2.190.896	2.191.699	2.192.068	2.192.238	2.192.316
Προεξοφλημένες Ταμιακές Ροές	-1.253.193	-62.998	-26.717	31.398	123.789	259.210	424.125	573.846	663.433	684.687	658.821	610.160	554.323	498.956	447.170	399.950	357.383	319.209	285.056	254.534	227.270
Σωρευτική Χρηματοροή	1.253.193	1.316.191	1.342.908	-1.311.510	-1.187.721	-928.511	-504.387	69.460	732.892	1.417.579	2.076.400	2.686.560	3.240.883	3.739.839	4.187.009	4.586.959	4.944.341	5.263.550	5.548.606	5.803.139	6.030.410

Payback period 7 Έτη
NPV στα 20 έτη 6.030.410
IRR στα 20 έτη 33%

