



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Οικονομοτεχνική Μελέτη και Ανάλυση
Επιχειρηματικών Μοντέλων Οπτικών Δικτύων
Πρόσβασης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Γ. Καματερός

Επιβλέπων : Βασίλειος Μάγκλαρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Οικονομοτεχνική Μελέτη και Ανάλυση Επιχειρηματικών Μοντέλων Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Γ. Καματερός

Επιβλέπων : Βασίλειος Μάγκλαρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23η Ιουλίου 2012.

.....
Βασίλειος Μάγκλαρης

.....
Συμεών Παπαβασιλείου

.....
Δημήτριος Καλογεράς

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....
Αναστάσιος Γ. Καματερός

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © Αναστάσιος Γ. Καματερός , Αθήνα 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Βασίλειο Μάγκλαρη, καθώς και το Δρ Μηχανικό Κωνσταντίνο Τρούλο για το χρόνο του ,τον οποίο και μου διέθεσε απλόχερα σε κάθε βήμα εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας,όπως και για τις πολύτιμες συμβουλές του σε κάθε πρόβλημα που προέκυπτε. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για τη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο .

Περίληψη

Το δημόσιο χάλκινο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο αδυνατεί να καλύψει τις μελλοντικές ανάγκες εύρους ζώνης στα δίκτυα πρόσβασης. Μοναδική ικανοποιητική λύση για το μέλλον αποτελεί η ανάπτυξη οπτικών δικτύων πρόσβασης και ιδιαίτερα FTTH (Fiber To The Home) δικτύων. Παρά τις όποιες τεχνικές και κυρίως οικονομικές δυσκολίες, η κατασκευή δικτύων FTTH έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ως το μεγαλύτερο τεχνολογικό άλμα για μια χώρα μετά τον εξηλεκτρισμό αυτής.

Ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης χαρακτηρίζεται από την αντίστοιχη Αρχιτεκτονική (FTTH,FTTB,FTTN), τοπολογία (Point to Point, Point to Multipoint) και τεχνολογία (Ενεργό ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο). Οι συνηθέστερες επιλογές για FTTH είναι Point to Point Active και Point to Multipoint Passive, χωρίς να αποκλείονται οι υπόλοιποι συνδυασμοί. Ανάλογα με τις επιμέρους επιλογές,υπεισέρχονται και διαφορετικά κόστη.

Τα επιχειρηματικά μοντέλα για παρόχους οπτικών δικτύων πρόσβασης είναι αυτά του Παρόχου Παθητικής Υποδομής, του Παρόχου Χωρητικότητας και του Παρόχου Λιανικής. Στην πράξη,ένας πάροχος Λιανικής ακολουθεί ταυτόχρονα και τα τρία μοντέλα μαζί, εφόσον η αγορά είναι κατάλληλα ρυθμισμένη. Το μοντέλο του Παρόχου Παθητικής Υποδομής απαιτεί τα μικρότερα κόστη ,αλλά και επιφέρει τα μικρότερα έσοδα. Το μοντέλο του Παρόχου Λιανικής απαιτεί τα μεγαλύτερα κόστη ,αλλά και επιφέρει τα μεγαλύτερα έσοδα.

Αποτελεί αντικείμενο έρευνας και βελτιστοποίησης αφενός η επιμέρους κατανομή της παροχής υπηρεσιών σε Παροχή Παθητικών Υποδομών, Χωρητικότητας και Λιανικής, αφετέρου η ευαισθησία της αύξησης του ARPU, αφού καθοριστικός παράγοντας της ελκυστικότητας της επένδυσης αναδεικνύεται ο επιτυγχανόμενος βαθμός διείσδυσης.

Λέξεις-Κλειδιά: Οπτική Ίνα, Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης, Οπτική Ίνα στο Σπίτι, Οπτική Ίνα στο Κτίριο, Ενεργά Οπτικά Δίκτυα, Παθητικά Οπτικά Δίκτυα, Επιχειρηματικά Μοντέλα Παρόχων Οπτικών Δικτύων Προσβασης, Τεχνοοικονομική Ανάλυση Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

Abstract

Last mile, made of copper, is unable to cover the future needs of bandwidth of the access networks. The only future proof solution is the development of optical access networks, especially FTTH (Fiber To The Home). Despite the technical and mainly financial difficulties, the construction of FTTH networks has been characterized by many as the largest technological jump of a country after its electrification.

Every optical access network is identified by its Architecture (FTTH,FTTB,FTTN), its topology (Point to Point, Point to Multipoint) and its Technology (Active or Passive Optical Network). The most usual choices for FTTH are Point to Point Active and Point to Multipoint Passive, without eliminating the rest of the combinations. Depending on these choices, different costs occur.

The business models for the optical access networks providers are: Dark Fiber Provider, Capacity Wholesaler and Retailer . In practice, a Retailer follows all three models simultaneously, as long as the market is appropriately regulated. The business model of Dark Fiber Provider demands the smallest expenses, but produces the smallest revenues as well. The business model of Retailer demands the largest expenses, but produces the largest revenues.

Both the side allocation of providing the services of Dark Fiber, Capacity Wholesaler and Retailer and the sensitivity of the ARPU increase are objects of research and optimization. Penetration emerges as the decisive factor of the attractiveness of the investment .

Keywords : Optical Fiber, Optical Access Networks, Fiber To The Home, FTTH,FTTB, FTTN, FTTC, GPON, NG-PON, NG-PON2, EPON, 10G-EPON, Active Ethernet, WDM PON, Point to Point, Point to Multipoint, Optical Providers Business Models

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	8
Abstract	9
Πίνακας Περιεχομένων	10
Κεφάλαιο 1.....	13
Εισαγωγή.....	13
1.1 Σκοπός-Εισαγωγή.....	14
1.2 Πλαίσιο Ζήτησης και Τεχνολογικής Εξέλιξης	14
1.2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	14
1.2.2 Υπεροχή FTTH έναντι xDSL και DOCSIS.....	16
1.2.3 Δυσκολίες Ανάπτυξης Δικτύου FTTH	18
1.3 Οπτική Τεχνολογία.....	19
1.3.1 Δομή και Κατηγορίες Οπτικών Ινών.....	19
1.3.2 Παράγοντες Περιορισμού Οπτικών Ζεύξεων.....	21
1.3.3 Φασματικά Παράθυρα στις Οπτικές Επικοινωνίες	21
1.3.4 Ισολογισμός Ισχύος και Τεχνικές Πολυπλεξίας.....	22
1.3.5 Αρχιτεκτονική, Τοπολογία και Τεχνολογία Δικτύων FTTx.....	23
1.3.6 Επιχειρηματικά Μοντέλα FTTH	25
1.3.7 Διείσδυση FTTH	26
1.4 FTTH στην Ελλάδα.....	29
Κεφάλαιο 2.....	33
Δίκτυα FTTH & Business Models	33
2.1 Δομή και Κατασκευή Δικτύων FTTx.....	34
2.1.1 Δομή Δικτύων FTTx	34
2.1.2 Κατασκευή Δικτύων FTTx.....	35
2.1.2.1 Μέθοδος Mini-Trenching (Μικροτάφρου).....	36
2.1.2.2 Μέθοδος Micro Trenching	36
2.2 Αρχιτεκτονική Δικτύων FTTx.....	36
2.3 Τοπολογία Δικτύων FTTx.....	38
2.4 Τεχνολογίες Δικτύων FTTx.....	40
2.4.1 Εισαγωγή.....	40
2.4.2 Active Ethernet σε PtP τοπολογία	40
2.4.3 Active Ethernet σε PtMP τοπολογία	42

2.4.4 Σύγκριση Home Run και Active Star δικτύων	44
2.5.1 Δίκτυα xPON.....	45
2.5.1.1 GPON, NG-PON και NG-PON2.....	48
2.5.1.1.1 Υλοποίηση GPON με 2 μήκη κύματος	48
2.5.1.1.2 Υλοποίηση GPON με 3 μήκη κύματος	50
2.5.1.1.3 Υλοποίηση GPON με 4 μήκη κύματος	51
2.5.1.2 NG-GPON και NG-GPON2	53
2.5.1.3 EPON και 10G-EPON.....	54
2.5.1.4 WDM-PON	55
2.6 Σύγκριση xPON Τεχνολογιών.....	56
2.7 Ισολογισμός Ισχύος (Power Budget) Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης.....	57
2.7.1 Ισολογισμός Ισχύος.....	57
2.7.2 Εξασθένιση ανά οπτικό Στοιχείο.....	59
2.8 Επιχειρηματικά Μοντέλα Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης.....	60
2.8.1 Εισαγωγή.....	60
2.8.2 Retailer	61
2.8.3 Capacity Wholesaler.....	62
2.8.4 Dark Fiber Provider.....	62
2.8.5 Εξοπλισμός ανά Επιχειρηματικό Μοντέλο	63
2.9 Μελλοντική Εξέλιξη FTTH Δικτύων	65
Κεφάλαιο 3.....	67
Ανάλυση Εσόδων και Εξόδων	67
3.1 Εισαγωγή.....	68
3.2 Έξοδα Κατασκευής	69
3.2.1 Εισαγωγή.....	69
3.2.2 Δικαιώματα Διέλευσης.....	70
3.2.3 Feeder Segment	70
3.2.4 Distribution Network.....	75
3.2.5 Drop Cable Segment.....	76
3.2.6 Lead-in.....	77
3.2.7 Internal Cabling.....	77
3.2.8 Στοιχεία δικτύου ανά επιχειρηματικό μοντέλο	78
3.3 Έξοδα Λειτουργίας.....	80
3.4 Έσοδα Λειτουργίας	82
3.4.1 Έσοδα Λειτουργίας για Dark Fiber Provider	82

3.4.2 Έσοδα Λειτουργίας για Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ	84
3.4.3 Έσοδα Λειτουργίας για Capacity Wholesaler μέχρι το Δίκτυο Κορμού.....	85
3.4.4 Έσοδα για Retailer.....	86
3.4.4.1 Επιχειρηματικοί (Business) Πελάτες.....	86
3.4.4.2 Οικιακοί (Home) Πελάτες.....	87
3.4.4.2.1 Data	87
3.4.4.2.2 Voice	88
3.4.4.2.3 Video	89
3.4.5 Αξιολόγηση Επένδυσης.....	90
Κεφάλαιο 4.....	93
Παραδοχές και Ανάλυση Μοντέλου	93
4.1 Εισαγωγή.....	94
4.2 Υιοθέτηση Υπάρχοντος Μοντέλου και Παραδοχές	94
4.2.1 Στοιχεία και Συμπεράσματα Υπάρχοντος Μοντέλου.....	96
4.3 Επέκταση Υπάρχοντος Μοντέλου σε Περαιτέρω Case Studies.....	98
4.4 Βασικές Παραδοχές και Υποθέσεις του Μοντέλου.....	99
4.5 Αποτελέσματα Μοντέλου.....	100
4.5.1 Case Study : Dark Fiber Provider.....	100
4.5.2 Case Study: Capacity Wholesaler.....	102
4.5.3 Case Study: Retailer	104
4.5.3.1 Case Study : Retailer με αυξημένο ARPU	105
4.5.4 Case Study : Realistic Wholesaler.....	107
4.5.4.1 Case Study : Realistic Wholesaler με αυξημένο ARPU.....	109
4.5.5 Case Study : Realistic Retailer	111
4.5.5.1 Case Study : Realistic Retailer με αυξημένο ARPU	114
4.6 Συμπεράσματα Επέκτασης Μοντέλου.....	117
Κεφάλαιο 5.....	121
Συμπεράσματα και Προοπτικές.....	121
5.1 Συμπεράσματα-Προοπτικές.....	122
Παράρτημα.....	126
Βιβλιογραφία.....	127
Κατάλογος Σχημάτων.....	129
Κατάλογος Πινάκων.....	132

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός-Εισαγωγή

Από τη γέννηση κιάλας του Internet έγινε σαφές ότι η αύξηση του διαθέσιμου bitrate αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην εξέλιξη των διαθέσιμων υπηρεσιών, αλλά και του ίδιου του Διαδικτύου. Από τις πρώτες κιάλας προσπάθειες οικιακής πρόσβασης στο Internet εξελίχθηκε ένα ιδιότυπο “κυνήγι” ταχύτητας πρόσβασης. Μετά από δύο περίπου δεκαετίες εκθετικής αύξησης του bitrate διαπιστώθηκε πως το δημόσιο χάλκινο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο είχε φτάσει στα όριά του με την τεχνολογία VDSL2. Μόνη λύση προς περαιτέρω πρόοδο αποτελούν τα FTTx δίκτυα και κυρίως τα δίκτυα FTTH. Κατά την κατασκευή αυτών, το χάλκινο last mile αντικαθίσταται πλήρως με οπτικές ίνες και οι ταχύτητες πρόσβασης είναι πάρα πολύ υψηλές, αν όχι πρακτικά απεριόριστες.

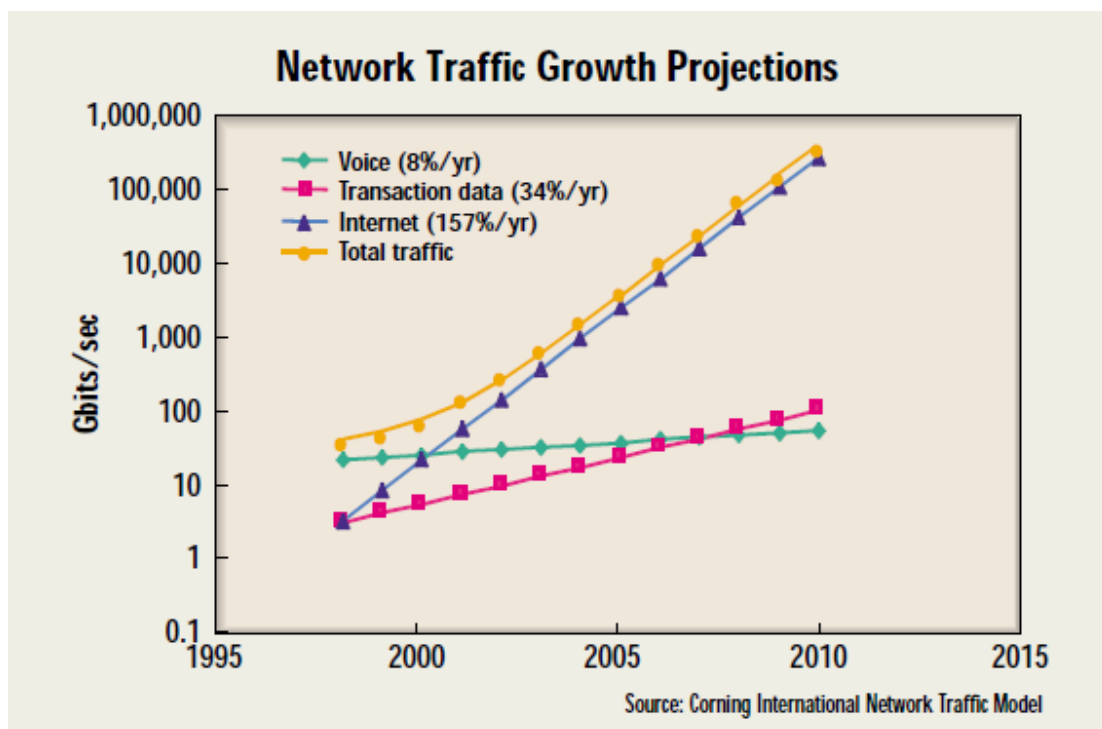
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αρχικά θα αιτιολογηθεί η ανάγκη μετάβασης σε οπτικά δίκτυα πρόσβασης και στη συνέχεια θα αναλυθούν εκτενώς όλες οι δυνατές τεχνολογικές επιλογές για την ανάπτυξη τέτοιων δικτύων με τις αντίστοιχες τεχνικές λεπτομέρειες. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα επιχειρηματικά μοντέλα που μπορούν να ακολουθηθούν, ενώ τέλος θα αναπτυχθεί ένα Μοντέλο Κόστους για τη διερεύνηση της βιωσιμότητας και της ελκυστικότητας πιθανής επένδυσης σε FTTH δίκτυο με διάφορα σενάρια και φυσικά τις αντίστοιχες παραδοχές.

Τέλος, θα εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας όσο αφορά την κατασκευή οπτικών δικτύων πρόσβασης και τις προκλήσεις που αυτά επιφέρουν μέσα στο σημερινό πλαίσιο.

1.2 Πλαίσιο Ζήτησης και Τεχνολογικής Εξέλιξης

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ζήτηση εύρους ζώνης από οικιακούς και επαγγελματικούς χρήστες αυξάνεται δραματικά χρόνο με το χρόνο όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.1. 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 High Definition Video (HD Video) ανάλυσης 1920X1080 pixels, δηλαδή ~2,1 Megapixels και την αναπτυσσόμενη 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.



Σχήμα 1.1: Παγκόσμια ζήτηση δικτυακής 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 στα 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 στον Πίνακα 1.1 .

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

Πίνακας 1.1 : Μέγιστο Αρχικό Downstream Bitrate ανά Τεχνολογία

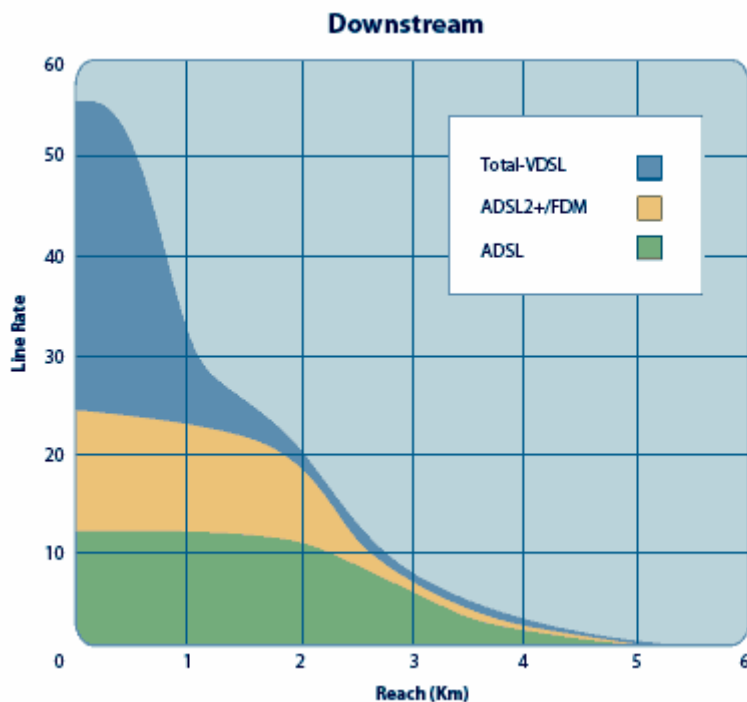
1.2.2 Υπεροχή FTTH έναντι xDSL και DOCSIS

Παρατηρούμε λοιπόν ότι μέσα σε μόλις 17 χρόνια επιτεύχθηκε μια βελτίωση του downstream bitrate κατά ~173.000 φορές, μία αύξηση σαφώς εκθετική μιας και κατά μέσο όρο υπερδιπλασιάζεται ανά 12 μήνες, ακολουθώντας έναν ιδίτυπο “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 δύο δεκαετιών συμπεραίνουμε ότι ο νόμος του Nielsen είναι μάλλον ελαφρώς απαισιόδοξος). Ακόμη και αν η πρόοδος αυτή σχετικά επιβραδυνθεί, μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι η ζήτηση για διαρκώς αυξανόμενο 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 με το aDSL2+, ενώ ακόμη και η χρήση VDSL2 (που προϋποθέτει την ύπαρξη οπτικής ίνας μέχρι σχετικά κοντά στον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη) δε φτάνει πάνω από τα 250 Mbps. Αντίθετα, η χρήση της οπτικής ίνας μέχρι το χρήστη εξασφαλίζει πολλαπλάσιο bitrate, το οποίο έχει ήδη φτάσει τα μερικά Gbps με την προοπτική σαφούς αύξησης. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι:

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

- Η μέγιστη ταχύτητα που έχει επιτευχθεί (εργαστηριακά) μέχρι στιγμής μέσω μίας οπτικής ίνας είναι τα ~109 Tbps (109.000 φορές μεγαλύτερο από το 1 Gbps το οποίο αποτελεί μία τυπική ταχύτητα στο σημερινό εμπορικό FTTH), το Μάρτιο του 2011. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το σύνολο της μέσης παγκόσμιας κίνησης IP στο Internet για το 2012, που σύμφωνα με έκθεση της Cisco Systems Inc του Μαΐου 2012, θα κινηθεί στα ~72,97 Tbps, όπως και του 2013 που αναμένεται να κινηθεί στα ~100,4 Tbps. Το 2011 εκτιμάται ότι διαμορφώθηκε στα ~50,36 Tbps.
- Το θεωρητικό μέγιστο capacity 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 4 Pbps.

Αυτά και μόνο τα στοιχεία 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 υποψηφίας τεχνολογίας, θα πειστούμε ακόμη περισσότερο ότι η επιλογή δε μπορεί να είναι άλλη παρά η τεχνολογία FTTH. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται η επιδείνωση του μέγιστου θεωρητικού bitrate ανά τεχνολογία όσο μεγαλώνει το μήκος του συνδρομητικού βρόχου.



Σχήμα 1.2: Μέγιστη θεωρητική ταχύτητα σε συνάρτηση με το μήκος συνδρομητικού βρόχου ανά πρωτόκολλα

Είναι φανερό ότι μερικές εκατοντάδες μέτρα του συνδρομητικού βρόχου αρκούν για τη 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 κτλ η πραγματική

ταχύτητα του συνδρομητή είναι σαφώς μικρότερη. Αντίθετα, στην FTTH τεχνολογία, ακόμη και αρκετά χιλιόμετρα οπτικής ίνας δεν εμποδίζουν bitrate της τάξης του 1 Gbps. 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 δε συμβαίνει στο FTTH μιας και ο ηλεκτρονικός θόρυβος δε μπορεί να επηρεάσει το οπτικό σήμα του FTTH.

Αξίζει να σημειωθεί πως η διαφορά μεταξύ FTTH και xDSL τεχνολογιών γίνεται ακόμα μεγαλύτερη στο upstream κομμάτι μιας και οι καλύτερες επιδόσεις για το aDSL2+ είναι τα 3,3 Mbps (Annex M), για το VDSL2 τα 250 Mbps (και αυτό για πολύ μικρές αποστάσεις), ενώ το FTTH υποστηρίζει εδώ και χρόνια το 1 Gbps, το οποίο ήδη αυξάνεται. Μάλιστα, σε εμπορικό επίπεδο οι οπτικές ζεύξεις συνηθίζεται να είναι συμμετρικές, χωρίς πάντως αυτό να είναι υποχρεωτικό, ενώ στο FTTH πράγματι δεν παρέχεται συμμετρία σε αρκετές περιπτώσεις.

Αντίστοιχα καταλυτική υπέρ του FTTH είναι και η σύγκρισή του με το καλωδιακό δίκτυο (cable) μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Ακόμη και το πλέον πρόσφατο πρωτόκολλο (Data Over Cable Service Interface Specification 3.0 ή DOCSIS 3.0) δεν υπερβαίνει στην εμπορική πραγματικότητα ταχύτητες μεγαλύτερες των (downstream/upstream) 444.96/122.88 Mbps, το οποίο μάλιστα κατά περίπτωση μπορεί να μοιράζεται ανάμεσα σε αρκετούς συνδρομητές, κάνοντας την πραγματική επίδοση του DOCSIS 3.0 ακόμα φτωχότερη.

1.2.3 Δυσκολίες Ανάπτυξης Δικτύου FTTH

Το FTTH ,φυσικά, έχει και μειονεκτήματα, το κυριότερο από τα οποία (αν όχι το μοναδικό) είναι το υψηλό κόστος ανάπτυξης του αντίστοιχου δικτύου, ακόμη και σε αστικά κέντρα με πυκνή πληθυσμιακή κατανομή. Σίγουρα ο άμεσος ανταγωνιστής του είναι το δημόσιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο χαλκού (last mile), οπότε δε μπορούν παρά να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ τους. Ένα από τα βασικά ζητήματα είναι ότι το last mile υπάρχει ήδη σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες και στο σύνολο της επικράτειάς τους, ενώ αντίθετα το δίκτυο FTTH θα πρέπει να φτιαχτεί από την αρχή (“from scratch”). Το last mile είχε κατά κανόνα κατασκευαστεί παλαιότερα, όταν και υπήρχε ένα Κρατικό Τηλεπικοινωνιακό Μονοπώλιο και η παροχή τηλεφωνικών υπηρεσιών από μόνη της ήταν αρκετή στο γενικό πληθυσμό. Η ανάπτυξη του last mile ξεκινούσε από τις μεγάλες πόλεις ,οι κάτοικοι των οποίων δεν είχαν άλλη επιλογή για την παροχή τηλεπικοινωνιακών (τηλεφωνικών ουσιαστικά) υπηρεσιών, παρά το Κρατικό Μονοπώλιο, το οποίο μπορούσε να τιμολογήσει την κάθε υπηρεσία του “όσο ήθελε” (χωρίς κανέναν έλεγχο κοστοστρέφειας) και έτσι οι κάτοικοι των πόλεων εκ των πραγμάτων ήταν αναγκασμένοι να χρηματοδοτούν την ανάπτυξη last mile και στις ημιαστικές και αγροτικές περιοχές . Σήμερα, με την απελευθέρωση της αγοράς των Τηλεπικοινωνιών και την ανάπτυξη της ιδιωτικής πρωτοβουλίας, τίποτα παρόμοιο δε μπορεί να συμβεί τόσο λόγω αντικειμενικών συνθηκών (ανταγωνισμός παρόχων) όσο και για ρυθμιστικούς λόγους.

Είναι χαρακτηριστικό ότι σε όσες χώρες το (κατά κανόνα) πρώην Κρατικό Τηλεπικοινωνιακό Μονοπώλιο (μιας και πλέον έχουν ιδιωτικοποιηθεί, μερικώς ή πλήρως) έχει αποφασίσει να παρέχει κάτι καλύτερο από aDSL2+, αυτό είναι είτε VDSL είτε Point-To-MultiPoint (PtMP) FTTH. Το χαρακτηριστικό και των δύο αυτών επιλογών είναι ότι δίνουν λίγες ή και σχεδόν καθόλου δυνατότητες για “άνοιγμα” του αντίστοιχου δικτύου σε εναλλακτικούς παρόχους, οπότε η εκάστοτε ρυθμιστική αρχή έχει μικρά περιθώρια ρύθμισης προς όφελος του καταναλωτή. Μάλιστα, επειδή, κατά κανόνα, τα πρώην Κρατικά Τηλεπικοινωνιακά Μονοπώλια αποτελούν Παρόχους με Σημαντική Ισχύ στην Αγορά (ΣΙΑ ή incumbents), οι αποφάσεις τους για την ανάπτυξη ή μη ευρυζωνικών υποδομών συγκεκριμένου τύπου αποτελούν συντριπτικό παράγοντα για την περαιτέρω εξέλιξη της τηλεπικοινωνιακής ανάπτυξης της αντίστοιχης χώρας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η το δίκτυο VDSL δε λογίζεται καν ως NGA Network (Next Generation Access Network) από μεγάλο κομμάτι της βιβλιογραφίας. Η ανάπτυξη ενός δικτύου ανοιχτού ισότιμα προς όλους τους παρόχους (ΣΙΑ και εναλλακτικούς) αποτελεί για πολλούς αναλυτές της αγοράς την ευνοϊκότερη μορφή δικτύου για την επίτευξη μέγιστου ανταγωνισμού ανάμεσα στους παρόχους αυτούς τόσο στις τιμές, όσο και στο επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Αντίθετα με τους incumbents, διάφοροι πάροχοι Ηλεκτρικής Ενέργειας, αλλά και Φυσικού Αερίου έχουν κατασκευάσει FTTH δίκτυα στο εξωτερικό, κατά κανόνα Point-To-Point (PtP), ανοιχτά προς οποιονδήποτε τηλεπικοινωνιακό πάροχο θελήσει να προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω αυτών. Δυστυχώς στην Ελλάδα, παρά το ότι το δίκτυο της ΔΕΠΑ (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου) κατασκευάστηκε σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία λίγα χρόνια, δεν αναπτύχθηκαν παράλληλα FTTH υποδομές.

Πάντως, παρά τις όποιες δυσκολίες, μπορούμε να αισιοδοξούμε για την εμπορική επιτυχία ενός FTTH δικτύου, μιας και το παράδειγμα της xDSL τεχνολογίας αποδεικνύει πως υπάρχει χώρος και ζήτηση στην αγορά για ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλών (αλλά και υπερυψηλών) ταχυτήτων.

1.3 Οπτική Τεχνολογία

1.3.1 Δομή και Κατηγορίες Οπτικών Ινών

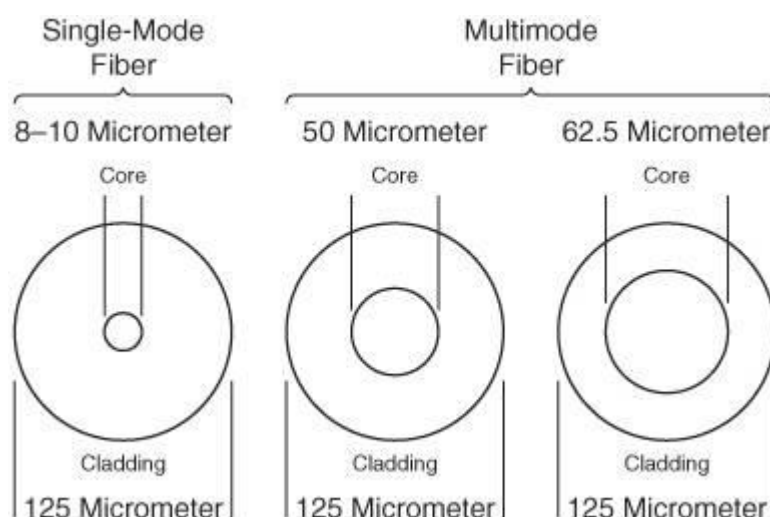
Η οπτική ίνα ανακαλύφθηκε το 1955 και στηρίχθηκε στην ανάλυση του διηλεκτρικού κυματοδηγού που είχε γίνει το 1910 από τους Debye και Χόνδρο. Χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στις οπτικές τηλεπικοινωνίες το 1965, αλλά παρουσίαζε μεγάλες απώλειες (περισσότερα από 20 dB/km). Η πρώτη οπτική ίνα με σχετικά χαμηλές απώλειες (4 dB/km) κατασκευάστηκε το 1972 από την εταιρεία Corning. Κομβικό σημείο για την εμπορική ενσωμάτωση της οπτικής τεχνολογίας στις τηλεπικοινωνίες ήταν η ανακάλυψη των ενισχυτών ίνας ερβίου (Erbium Doped Fiber Amplifier - EDFA) και η εμπορική διάθεση αυτών το 1990.

Η οπτική ίνα αποτελείται από δύο διηλεκτρικά : τον πυρήνα (core) με δείκτη διάθλασης n_1 στο κέντρο της και το μανδύα (cladding) να τον περιβάλλει με δείκτη διάθλασης n_2 , οριακά μικρότερο του n_1 ($n_1 > n_2$). Αυτή ακριβώς η συνθήκη εξασφαλίζει τη δυνατότητα συνεχόμενων ολικών εσωτερικών ανακλάσεων του οπτικού σήματος εντός της οπτικής ίνας. Για λόγους μηχανικής αντοχής, τα δύο αυτά διηλεκτρικά καλύπτονται από προστατευτικό περίβλημα.

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το πόσους ρυθμούς μπορούν να κυματοδηγήσουν:

- τις μονότροπες ίνες (Single Mode Fiber-SMF), που κυματοδηγούν ένα μόνο ρυθμό και έχουν διάμετρο πυρήνα 10 μm και διάμετρο μανδύα 125 μm
- τις πολύτροπες ίνες (Multi Mode Fiber-MMF), που κυματοδηγούν 2 ή και περισσότερους ρυθμούς με διάμετρο πυρήνα 50 ή 62,5 μm και διάμετρο μανδύα 125 μm

Οι μονότροπες ίνες είναι πιο ακριβές χρησιμοποιούνται σε οπτικές ζεύξεις στο δίκτυο κορμού (backbone network) των διάφορων παρόχων (με πάντα επιθυμητή την ύπαρξη οπτικών δακτυλίων, ώστε σε περίπτωση αστοχίας σε ένα σημείο να υπάρχει failover κάνοντας δρομολόγηση κατά την αντίστροφη φορά του δακτυλίου), ενώ οι πολύτροπες ίνες είναι πιο φθηνές και χρησιμοποιούνται σε μητροπολιτικά δίκτυα (MAN-Metropolitan Area Networks) και σε δίκτυα πρόσβασης, αντιπροσωπευτικότερο παράδειγμα των οποίων είναι το FTTH. Στο σχήμα 1.3 φαίνεται η διάταξη των δύο ειδών οπτικών ινών.



Σχήμα 1.3 : Διάταξη Μονότροπων και Πολύτροπων Οπτικών Ινών

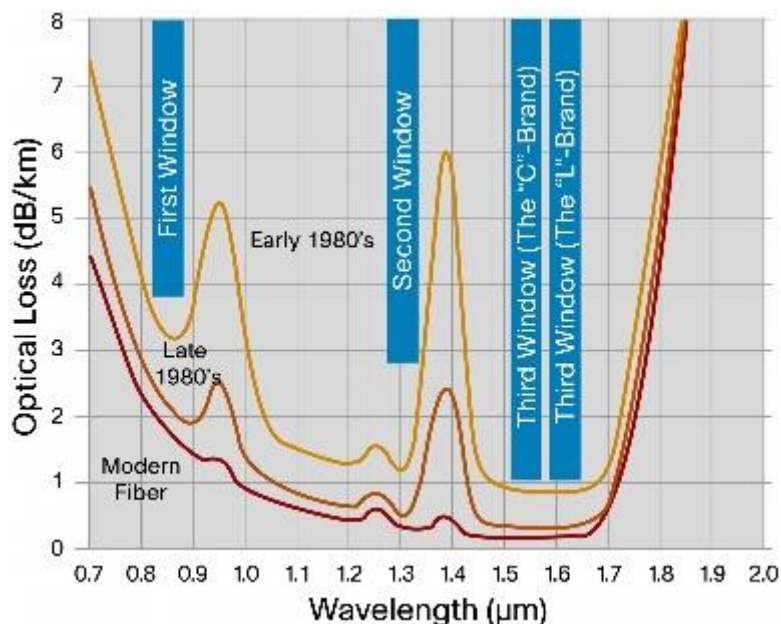
1.3.2 Παράγοντες Περιορισμού Οπτικών Ζεύξεων

Οι σημερινές οπτικές ίνες εισάγουν ελάχιστη απόσβεση στο σήμα μας, περίπου 0,3 dB/km , δίνοντάς μας τη δυνατότητα να καλύψουμε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να χρειάζεται να γίνει ενίσχυση του οπτικού σήματος. Πέραν της απόσβεσης, το δεύτερο μεγάλο πρόβλημα στις οπτικές επικοινωνίες είναι η διασπορά. Διασπορά είναι η συχνοτική εξάρτηση του δείκτη διάθλασης σε ένα διηλεκτρικό μέσο, που έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης για κάθε μήκος κύματος στο μέσο αυτό. Αυτή η διαφορά ταχύτητας ανάγεται σε συγκεκριμένη διαφορά σε απόσταση μεταξύ των μεταδιδόμενων bits. Αν αυτή η απόσταση παραβιάσει κάποιο (άνω ή κάτω) κατώφλι (threshold) και ανάλογα με το bitrate της οπτικής ζεύξης, μπορεί να επηρεάσει το λαμβανόμενο σήμα και να προκαλέσει σφάλματα στη μετάδοση αφού το ένα bit θα παρεμβάλλει στο άλλο (Διασυμβολική Παρεμβολή-Intersymbol Interference). Η εμφάνιση της διασποράς είναι αναπόφευκτη, μιας και δεν υπάρχει οπτική πηγή που να εκπέμπει ένα και μόνο μήκος κύματος ,οπότε εμφανίζεται ακόμα και στη “μονοχρωματική” ακτινοβολία, χωρίς πάντως να είναι αναγκαστικά κυρίαρχη μεταξύ των δυσμενών φαινομένων που επηρεάζουν μια οπτική ζεύξη. Ακόμα και σε οπτικές πηγές χαμηλού κόστους, η διασπορά δε γίνεται αισθητή σε μήκος κάτω των 10 χιλιομέτρων, οπότε συνήθως δε μας απασχολεί στο FTTH (αντίθετα, μας απασχολεί στο δίκτυο κορμού) .

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι πέραν της απόσβεσης και της διασποράς, ένας τρίτος παράγοντας είναι τα Μη Γραμμικά Φαινόμενα (Αυτοδιαμόρφωση Φάσης, Ετεροδιαμόρφωση Φάσης, Μίξη 4 Φωτονίων, Σκέδαση Raman και Σκέδαση Brillouin),τα οποία όμως δεν επηρεάζουν το σχεδιασμό δικτύου FTTH μιας και το μήκος ζεύξης που χρειάζεται ώστε να γίνουν αισθητά τα Μη Γραμμικά Φαινόμενα είναι πολύ μεγαλύτερο του μήκους των συνδρομητικών βρόχων.

1.3.3 Φασματικά Παράθυρα στις Οπτικές Επικοινωνίες

Η δυνατότητα επίτευξης πολύ υψηλών ταχυτήτων στις οπτικές επικοινωνίες υπάρχει λόγω της χρήσης “φασματικών παραθύρων” χαμηλής απόσβεσης. Συγκεκριμένα, υπάρχουν 3 φασματικά παράθυρα που έχουν χρησιμοποιηθεί ή/και χρησιμοποιούνται και τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 1.4 .Η ανακάλυψη αυτών των “φασματικών παραθύρων” έδωσε την κατάλληλη ώθηση στην ανάπτυξη της οπτικής τεχνολογίας, ώστε μέσα σε λίγες δεκαετίες να έχει κατορθώσει σημαντικότερη πρόοδο.



Σχήμα 1.4: οπτική απόσβεση σε συνάρτηση με το κυματοδηγούμενο μήκος κύματος

- Το πρώτο φασματικό παράθυρο βρίσκεται στην περιοχή 800nm – 900nm και είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, μιας και μπορούν να κατασκευαστούν πολύ φθηνές οπτικές πηγές με βάση το πυρίτιο σε αυτό. Δυστυχώς όμως κυριαρχεί η μεγάλη απόσβεση (και διασπορά), γεγονός που αποκλείει τη χρήση του σε επαρκώς μεγάλες για το FTTH αποστάσεις. Χρησιμοποιείται για πολύ μικρές αποστάσεις σε data centers και οικιακές καλωδιώσεις.
- Το δεύτερο φασματικό παράθυρο βρίσκεται στην περιοχή 1260nm - 1360nm και συνδυάζει πολύ μικρή απόσβεση με σχεδόν μηδενική διασπορά γύρω από τα 1310nm.
- Το τρίτο φασματικό παράθυρο βρίσκεται στην περιοχή 1430nm - 1580nm και έχει τη μικρότερη απόσβεση από κάθε άλλο κομμάτι του φάσματος.

Στην πράξη, χρησιμοποιούνται το δεύτερο και το τρίτο φασματικό παράθυρο για το FTTH.

1.3.4 Ισολογισμός Ισχύος και Τεχνικές Πολυπλεξίας

Για να αντιμετωπίσουμε τις απώλειες που υπεισέρχονται λόγω της οπτικής ίνας, αλλά και των διάφορων στοιχείων ενός δικτύου FTTH θα πρέπει να κάνουμε ισολογισμό ισχύος (power budget) της ζεύξης μας. Ο υπολογισμός αυτός παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 και καθορίζει διάφορες κρίσιμες παραμέτρους του συστήματός μας όπως το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόχου, 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 κτλ .

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

- Ηλεκτρονική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Electronic Time Division Multiplex - ETDM), όπου ροές δεδομένων χαμηλότερης ταχύτητας πολυπλέκονται σε ένα ταχύτερο ηλεκτρικό σήμα και διαμορφώνουν οπτικό φέρον.
- Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Optical Division Multiplex - OTDM), όπου οπτικά σήματα χαμηλότερης ταχύτητας πολυπλέκονται σε ένα ταχύτερο οπτικό σήμα.
- Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplex - WDM), όπου εφαρμόζεται ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων με χρήση πολλαπλών οπτικών φερόντων .

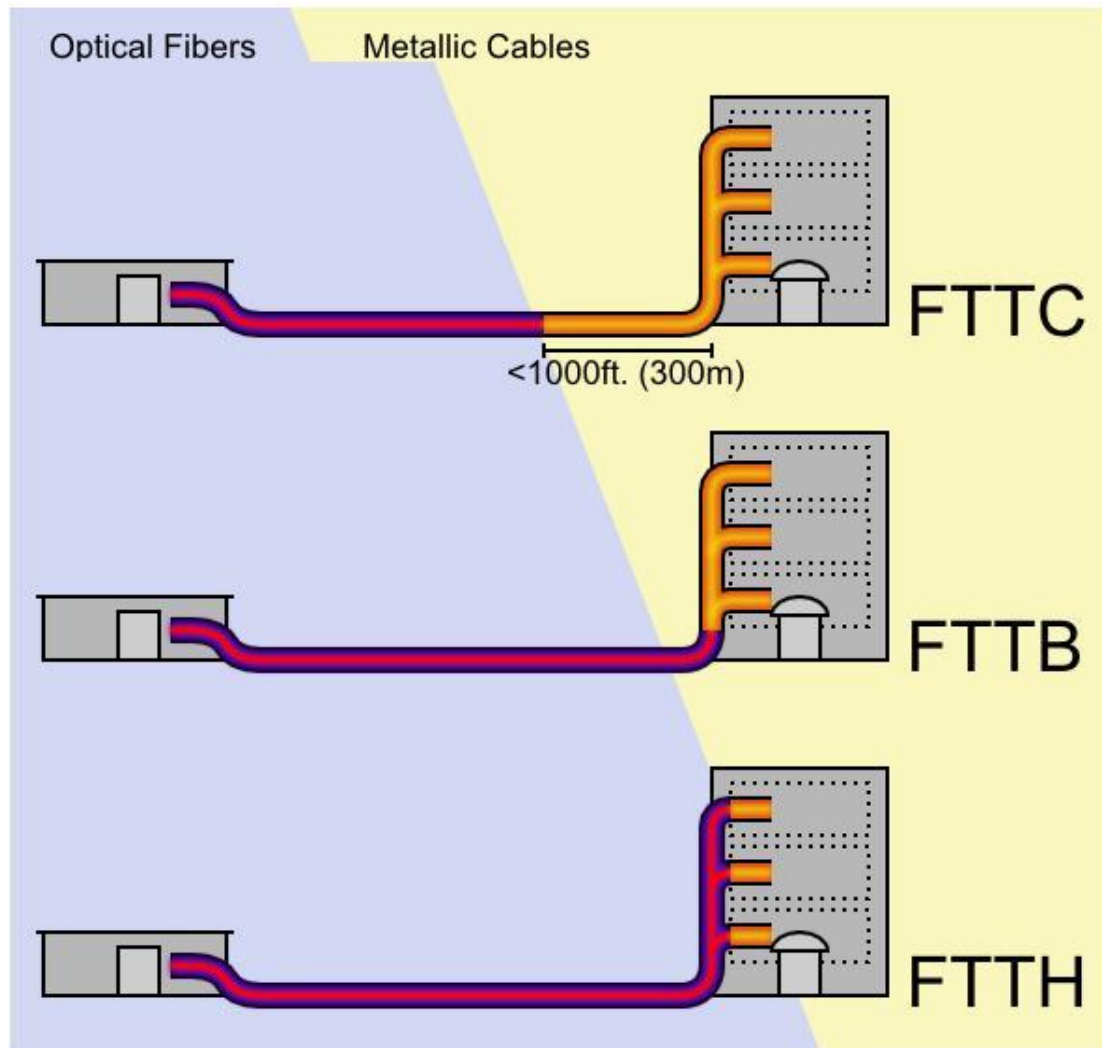
Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιείται αποκλειστικά Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου, πλην της λύσης του WDM PON, όπου χρησιμοποιείται Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος.

1.3.5 Αρχιτεκτονική, Τοπολογία και Τεχνολογία Δικτύων FTTx

Οι κυριότερες αρχιτεκτονικές FTTx είναι τρεις :

- FTTN (Fiber To The Neighborhood – Οπτική Ίνα στη “γειτονιά”, ή FTTC), όπου η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το KV (KabelVerzweiger) και ουσιαστικά ταυτίζεται με το VDSL. Η απόσταση ανάμεσα στον τερματισμό της οπτικής ίνας και στο χρήστη είναι (τυπικά) λιγότερο από 300 μέτρα και καλύπτεται από το χάλκινο τοπικό υποβρόχο (local subloop) του last mile .
- FTTB (Fiber To The Building – Οπτική Ίνα στο Κτίριο), όπου η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το κτίριο (συνήθως το υπόγειο όσο αφορά πολυκατοικίες) και τα τελευταία λίγα μέτρα μέχρι το συνδρομητή καλύπτονται με διάφορα μέσα (για παράδειγμα, με καλώδια Ethernet) .
- FTTH (Fiber To The Home – Οπτική Ίνα στο Σπίτι), όπου η οπτική ίνα φτάνει μέχρι την οικία του συνδρομητή, οπότε έχουμε από άκρης σε άκρη του βρόχου μας καθαρά οπτικό σήμα.

Οι σχετικές αρχιτεκτονικές απεικονίζονται στο Σχήμα 1.5



Σχήμα 1.5: Αρχιτεκτονικές FTTx (η πρώτη είναι xDSL τεχνολογία)

Οι τοπολογίες που επιλέγονται για τα FTTx δίκτυα είναι οι εξής δύο :

- PtP (Point-to-Point (σημείο προς σημείο), όπου ο κάθε χρήστης είναι απευθείας συνδεδεμένος με το Κεντρικό Γραφείο (Central Office - CO) του παρόχου μέσω μίας δικής του dedicated οπτικής ίνας.
- PtMP (Point-to-MultiPoint (σημείο προς πολλαπλά σημεία), όπου υπάρχουν κάποια σημεία συγκέντρωσης ώστε ενώ ξεκινάει μία οπτική ίνα από το CO, αυτή να διαχωρίζεται σε πολλές οπτικές ίνες με βήματα διπλασιασμού κάθε φορά και αυτές να φτάνουν σε πολλούς χρήστες (τυπικά 32 ή 64 χρήστες)

Οι τεχνολογίες FTTx είναι δύο : Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical network - PON) και Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network - AON). Η διαφορά τους είναι ότι ανάμεσα στο CO και το συνδρομητή στο μεν AON υπάρχουν μόνο ενεργά οπτικά στοιχεία (τα οποία χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα, κατάλληλη ψύξη και αρκετά συχνή συντήρηση) , ενώ στο PON παρεμβάλλονται μόνο παθητικά οπτικά

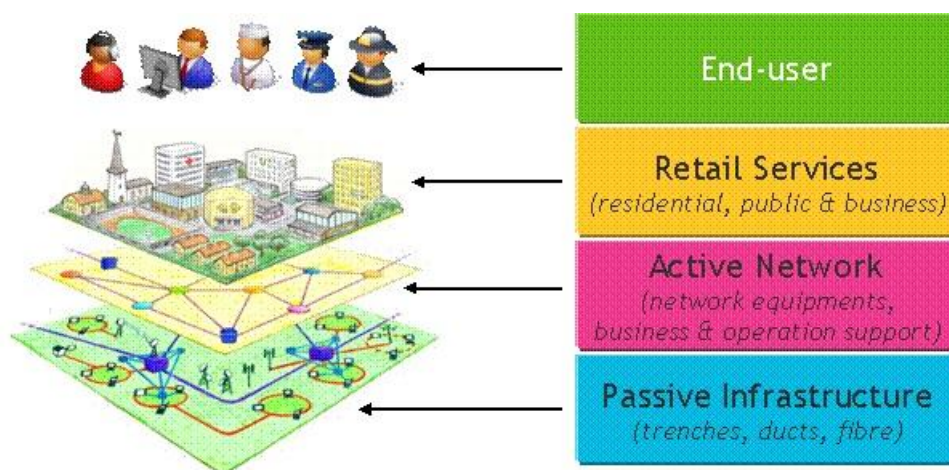
στοιχεία, τα οποία λειτουργούν χωρίς ρεύμα και χρειάζονται ελάχιστη ή και καθόλου συντήρηση.

Τυπικά, οποιοσδήποτε συνδυασμός Τοπολογίας και Τεχνολογίας είναι (τεχνικά) εφικτός σε συγκεκριμένη Αρχιτεκτονική. Στην πράξη σε FTTH δίκτυα συνήθως χρησιμοποιείται είτε ο συνδυασμός PON και PtMP για την ανάπτυξη GPON (Gigabit PON, χωρίς πάντως να αποκλείεται και ο συνδυασμός PON και PtP), Next Generation PON (NGPON) και WDM PON είτε ο συνδυασμός AON και PtP για την ανάπτυξη δικτύου AON (Active Ethernet). Οι ολοκληρωμένες αυτές λύσεις περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε από τώρα ότι η επιλογή AON και PtP δικτύου είναι εν γένει πιο κοστοβόρα (αν και μάλλον όχι τόσο περισσότερο όσο θα περίμενε ίσως κανείς), αλλά ταυτόχρονα παρέχει και μεγαλύτερες τεχνολογικές δυνατότητες, ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι θα αντέξει περισσότερο στο χρόνο με βάση την εξέλιξη της τεχνολογίας (future-proof solution), χωρίς πάντως να αμελείται και η λύση του WDM PON, το οποίο όμως δεν έχει ακόμα ούτε προτυποποιηθεί ούτε χρησιμοποιηθεί σε εμπορικές εφαρμογές. Το τελευταίο μόνο ασήμαντο δεν είναι, καθώς είναι κοινά παραδεκτό πως τα υψηλά αρχικά κεφάλαια που απαιτούνται για την κατασκευή ενός δικτύου FTTx και η μεγάλη διάρκεια οικονομική ζωή του ενεργητικού του παρόχου καθιστούν τις τεχνολογικές επιλογές κρίσιμες για τον ανταγωνισμό και τη ρύθμιση της αγοράς για πολλά χρόνια.

1.3.6 Επιχειρηματικά Μοντέλα FTTH

Ένα δίκτυο FTTH έχει 4 στρώματα

- το παθητικό στρώμα υποδομής (passive infrastructure) όπου συνυπάρχουν οι οπτικές ίνες με τις τάφρους, ενώ σε αυτό περιλαμβάνονται και όλα τα στοιχεία του οπτικού δικτύου που λειτουργούν χωρίς την τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος (οπτικές ίνες, οπτικός κατανεμητής, optical splices κοκ)
- το ενεργό δίκτυο (active network) το οποίο περιλαμβάνει το δικτυακό εξοπλισμό που χρειάζεται τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος για να λειτουργήσει
- οι υπηρεσίες λιανικής (retail services) οι οποίες παρέχουν σύνδεση στο Διαδίκτυο και
- οι τελικοί χρήστες (end users)



Σχήμα 1.6 : στρώματα δικτύου FTTH

Με βάση τα στρώματα αυτά μπορούν να υπάρξουν 3 επιχειρηματικά μοντέλα :

- Retailer, όπου ένας μόνο πάροχος θα έχει στην ιδιοκτησία του το παθητικό στρώμα υποδομής, το ενεργό δίκτυο και τις υπηρεσίες λιανικής. Το δίκτυό δε θα ανοίγει προς άλλους παρόχους, ενώ είναι σημαντικό να προσθέσει περιεχόμενο (content) στις υπηρεσίες του πέρα από τη σύνδεση στο Διαδίκτυο (τηλεφωνία , IPTV , Video on Demand κοκ).
- Capacity Wholesaler , όπου ένας πάροχος κατέχει τόσο το παθητικό στρώμα υποδομής όσο και το ενεργό δίκτυο, αλλά τις υπηρεσίες τις παρέχουν άλλοι πάροχοι οι οποίο πληρώνουν τον κάτοχο μηνιαίο μίσθωμα για τη χρήση του δικτύου του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διασύνδεση του παρόχου με τους υπόλοιπους είτε στο Κεντρικό Γραφείο (Central Office – CO) είτε ,συχνότερα , στο δίκτυο κορμού (Core Network).
- Dark Fiber Rprovider, όπου ένας πάροχος περιορίζεται μόνο στο παθητικό στρώμα υποδομής και εναπόκειται στους υπόλοιπους παρόχους τόσο η κατασκευή ενεργού δικτύου ,όσο και η παροχή υπηρεσιών. Τα δύο αυτά στρώματα μπορούν είτε να υλοποιούνται από τον ίδιο πάροχο (active sharing) είτε από διαφορετικούς (full separation) .

1.3.7 Διείσδυση FTTH

Η διείσδυση FTTH παγκοσμίως είναι μάλλον χαμηλή , αλλά αυξάνει σημαντικά τα τελευταία χρόνια και έχει ακόμα πολύ μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης. Ο μεγαλύτερος

αριθμός συνδρομητών FTTH εντοπίζεται στην Ιαπωνία, στη Νότια Κορέα, στις ΗΠΑ, στις Σκανδιναβικές χώρες, στην Ταϊβάν και στη Ρωσία.

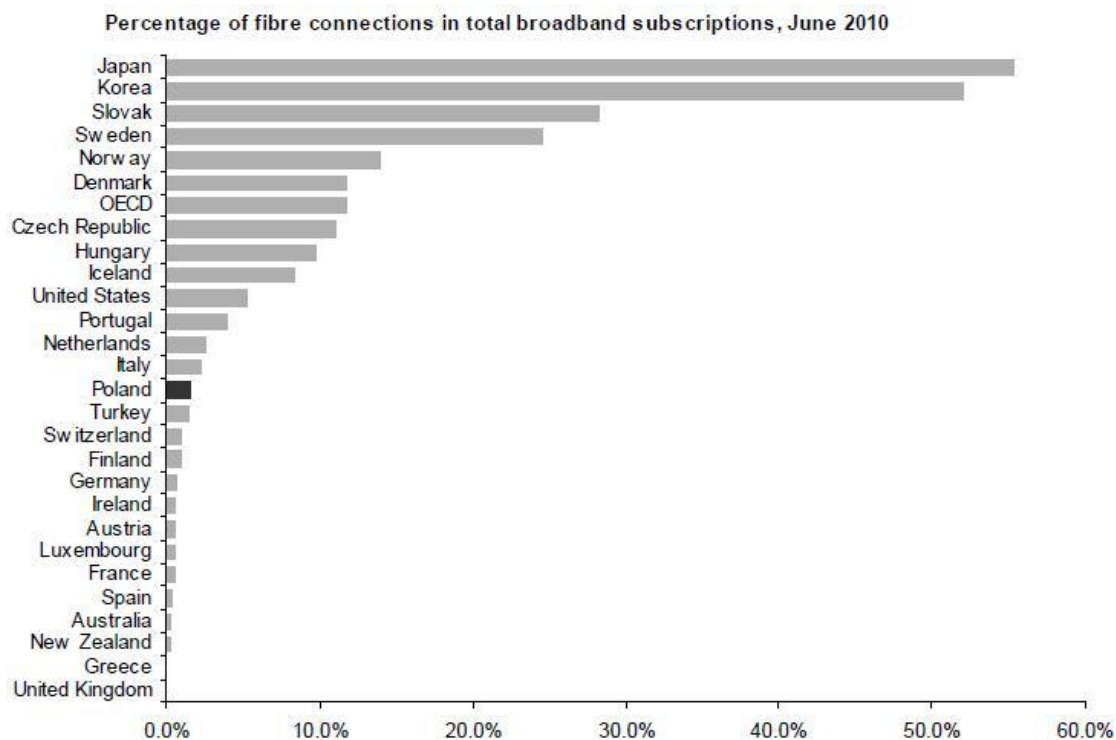
Στις περισσότερες περιπτώσεις παρέχεται ταχύτητα 1/1 Gbps, ενώ αξίζει να σημειωθεί πως η France Telecom παρέχει (πιλοτικά) 2,5/1,2 Gbps.

Στον πίνακα 1.2 φαίνεται η διείσδυση των FTTH και FTTB παγκοσμίως σε απόλυτα νούμερα σύμφωνα με έκθεση του ΟΟΣΑ τον Ιούνιο του 2011. Πέραν του απόλυτου αριθμού των συνδρομητών αυτού καθαυτού, σημασία έχει και πόσες είναι οι συνδέσεις FTTH και FTTB στο σύνολο των ευρυζωνικών συνδέσεων μιας χώρας.

Το σχήμα 1.7 αναδεικνύει ότι οι δύο μοναδικές χώρες στον κόσμο όπου η πλειοψηφία (άνω του 50%) των ευρυζωνικών συνδέσεων είναι FTTH και FTTB είναι η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα. Έπονται με αξιόλογα ποσοστά η Σλοβακία, η Σουηδία, η Νορβηγία, η Δανία και η Τσεχία.

Χώρα	Συνδρομητές
Ιαπωνία	15.500.000
Νότια Κορέα	8.050.000
ΗΠΑ	4.800.000
Ταϊβάν	1.345.000
Χονγκ Κονγκ	740.000
Ρωσία	724.000
Κίνα	612.000
Σουηδία	478.900
Ιταλία	324.500
Γαλλία	252.900

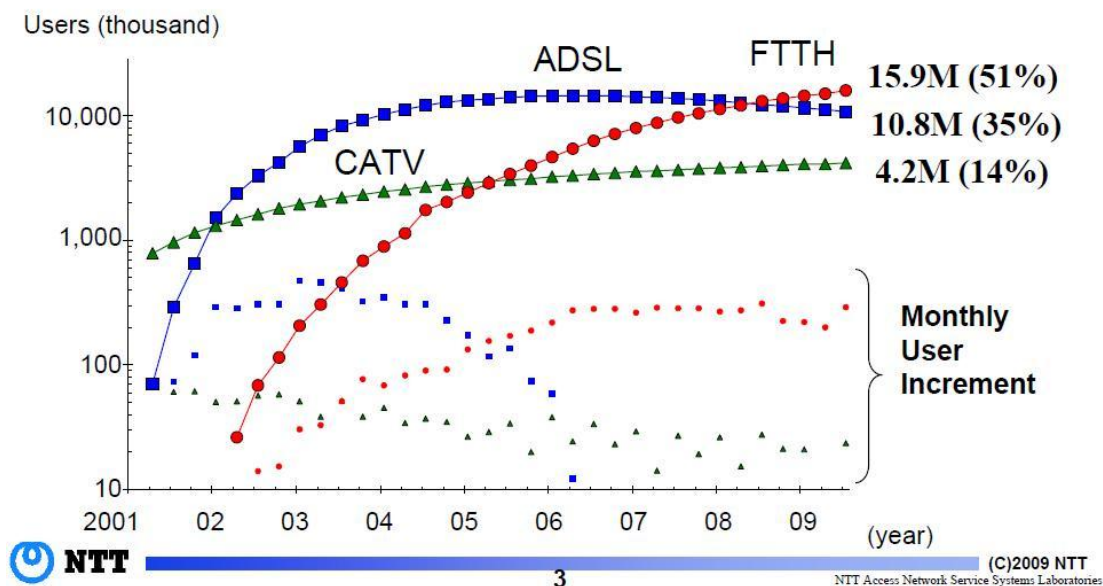
Πίνακας 1.2 : Διείσδυση FTTH και FTTB παγκοσμίως



Σχήμα 1.7: Ποσοστό FTTH και FTTB συνδέσεων ως ποσοστό των συνολικών ευρυζωνικών συνδέσεων ανά χώρα τον Ιούνιο του 2010

Ειδικά για την Ιαπωνία, η οποία είναι πρωτοπόρος στην υιοθέτηση οπτικών δικτύων πρόσβασης μαζικά, αξίζει να σημειωθεί αυτή ακριβώς η πορεία αύξησης του αριθμού των FTTH.

Στο σχήμα 1.8 παρατηρούμε ότι το 2009 ήταν η πρώτη χρονιά όπου οι συνδέσεις FTTH της NTT (Nippon Telegraph and Telephone, ο incumbent πάροχος στην Ιαπωνία) ξεπέρασαν κάθε άλλο τύπο ευρυζωνικής σύνδεσης, ενώ έγιναν και η απόλυτη πλειοψηφία, αποκτώντας ποσοστό 51% επί του συνολικού αριθμού ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ιαπωνία .



Σχήμα 1.8: Διαχρονική εξέλιξη ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ιαπωνία ανά τύπο σύνδεσης

1.4 FTTH στην Ελλάδα

Δυστυχώς στην Ελλάδα, μέχρι και τον Ιούλη του 2012, δεν υπάρχει πρακτικά σχεδόν καμία οικιακή γραμμή FTTH. Κάποιοι μεγάλοι επιχειρηματικοί όμιλοι διαθέτουν dedicated οπτική ίνα για τις επιχειρηματικές τους ανάγκες, αλλά πέραν τούτου δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διείσδυση στην Ελληνική αγορά. Αξίζει όμως να αναφέρουμε όλες τις περιπτώσεις όπου επιχειρείται ή αναμένεται να επιχειρηθεί κάτι καλύτερο από aDSL2+, το οποίο είναι πλέον αρκετά διαδεδομένο στην Ελληνική αγορά, έστω και με σημαντική καθυστέρηση σε σχέση με τη Δύση και με ακόμη και σήμερα σαφώς χαμηλότερο βαθμό διείσδυσης του μέσου όρου. Συγκεκριμένα:

- έχει εξαγγελθεί “Εθνικό Σχέδιο FTTH” από το αρμόδιο Υπουργείο με τον αντίστοιχο φορέα (Εθνικός Φορέας Διαχείρισης-Ε.ΦΟ.ΔΙΑ.), αλλά ακόμη δεν έχει δημοσιευθεί η αντίστοιχη τεχνοοικονομική μελέτη. Αρχικά γινόταν λόγος για παροχή σκοτεινής ίνας με αρχιτεκτονική FTTH και τοπολογία Point to Point τεχνολογίας Active Ethernet.
- Ο εμπορικός πάροχος Fibernet διαθέτει συνδέσεις FTTH στην πόλη των Σερρών με ταχύτητες έως και 100 Mbps συμμετρικά, αλλά σε περιορισμένο μέχρι στιγμής εύρος. Υποστηρίζει πως σχεδιάζει να επεκταθεί και στην πόλη της Θεσσαλονίκης.
- Ο εμπορικός πάροχος Forthnet ανακοίνωσε τον Ιούλη του 2012 την πρόθεσή του για κατασκευή πιλοτικού δικτύου FTTH στο δήμο Νέας Σμύρνης του νομού Αττικής αρχικά για 2.000 νοικοκυριά και με ταχύτητες έως 100 Mbps. Επιλέχθηκε η τεχνολογία GPON, ενώ

σύμφωνα με το Δελτίο Τύπου, η εταιρεία έχει πρόθεση να επεκταθεί και σε άλλους δήμους της μητροπολιτικής περιοχής Αθηνών.

- Ο incumbent πάροχος ΟΤΕ είχε ξεκινήσει την κατασκευή VDSL2 δικτύου, καθώς και την εμπορική διάθεση υπηρεσιών με ταχύτητες έως και 50 Mbps στο downstream. Η εμπορική διάθεση του VDSL2 διακόπηκε από την ΕΕΤΤ για ρυθμιστικούς λόγους και αναμένεται η απόφασή της σχετικά.
- Ο εμπορικός πάροχος Cyta Hellas παρέχει VDSL2 από το Central Office, καλύπτοντας ουσιαστικά όσους διαθέτουν χάλκινο βρόχο μήκους μικρότερο από 1.000 μέτρα. Όποιος συνδρομητής απέχει περισσότερο και αιτηθεί VDSL2, γίνεται downgrade σε aDSL2+. Ο εμπορικός πάροχος Wind έχει ξεκινήσει ταυτόσημη παροχή VDSL2 σε πιλοτικό επίπεδο από τον Ιούνιο του 2012, ενώ η Forthnet έχει ανακοινώσει την πρόθεση παροχής VDSL2 με τον ίδιο τρόπο με ένα premium σε σχέση με τις aDSL2+ συνδέσεις.
- Τέλος, ο εμπορικός πάροχος HCN (Hellenic Cables Networks) διαθέτει υπηρεσίες DOCSIS 3.0 σε δύο οδούς του δήμου Καλαμαριάς (οδός Περικλή και οδός Πασσαλίδη) της Θεσσαλονίκης με ταχύτητες έως και 120/2 Mbps. Στα άμεσα σχέδια του παρόχου βρίσκεται η επέκταση του δικτύου προς το κέντρο της Καλαμαριάς, αλλά και της μητροπολιτικής περιοχής της Θεσσαλονίκης.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι πολύ λίγα (αν όχι σχεδόν τίποτα) έχουν γίνει στη χώρα μας για υπηρεσίες καλύτερες του aDSL2+. Αποτελεί επιτακτική και αδήριτη ανάγκη η άμεση ανάπτυξη FTTH δικτύου στις μητροπολικές περιοχές Αθηνών και Θεσσαλονίκης.

Ένα “Εθνικό Σχέδιο Ευρυζωνικότητας” θα μπορούσε να είναι το εξής :

- Ανάπτυξη FTTH δικτύου σε Αττική και Θεσσαλονίκη, αλλά και σε μεσαίες και μικρότερες πόλεις, μιας και όπως θα αποδειχθεί στην παρούσα εργασία, ένα δίκτυο FTTH δίκτυο είναι βιώσιμο ακόμη και σε πόλεις μερικών χιλιάδων κατοίκων.
- Κατασκευή δικτύου VDSL δικτύου σε περιοχές με μικρότερο πληθυσμό, κυρίως αγροτικές. Ένα πιθανό threshold είναι αυτό των περίπου 5.000 κατοίκων.
- Παροχή Wi-max (Worldwide Interoperability for Microwave Access) σε ιδιαίτερα αραιοκατοικημένες περιοχές, πολύ μικρούς οικισμούς. Ένα πιθανό threshold είναι αυτό των περίπου 50 κατοίκων.

- Παροχή δορυφορικού Internet σε απομονωμένους οικισμούς ελάχιστων κατοίκων ή ακόμη και σε ξεχωριστές κατοικίες. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται συνήθως ως παράδειγμα κάποιο σπίτι στην ορεινή Πίνδο το οποίο βρίσκεται σε απόσταση χιλιομέτρων από το κοντινότερο οίκημα.

Σαφώς η περιγραφή αυτή είναι αρκετά γενική και δεν έχει αναλυτική αιτιολόγηση των επιμέρους επιλογών. Όμως, η λογική που ακολουθείται είναι αυτή της καθολικής ευρυζωνικής κάλυψης όλων των συμπολιτών μας.

Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσε να υπάρξει καθολική ευρυζωνική κάλυψη ακόμη και για τον τελευταίο κάτοικο της χώρας, μιας και το δικαίωμα στην ευρυζωνική πρόσβαση θεωρείται πλέον ένα από τα βασικότερα ανθρώπινα δικαιώματα ,μετά από το δικαίωμα της ζωής και αυτό της ελευθερίας.

Κεφάλαιο 2

Δίκτυα FTTH & Business Models

2.1 Δομή και Κατασκευή Δικτύων FTTx

2.1.1 Δομή Δικτύων FTTx

Ένα δίκτυο FTTx αποτελείται από 4 διακριτά και επιμέρους τμήματα από το Κεντρικό Γραφείο (Central Office-CO,στη βιβλιογραφία συναντάται και ως MPOP-Metropolitan Point of Presence ή και Wire Center) μέχρι και το συνδρομητή. Η τεχνική που ακολουθείται είναι η διάνοιξη τάφρων από το Κεντρικό Γραφείο μέχρι το κτίριο του συνδρομητή και η εφαρμογή οπτικών ινών σε αυτές. Ανάλογα την εφαρμοζόμενη Αρχιτεκτονική, Τοπολογία και Τεχνολογία του οπτικού δικτύου πρόσβασης, η ανάγκη σε πλήθος και μέγεθος τάφρων διαφέρει.

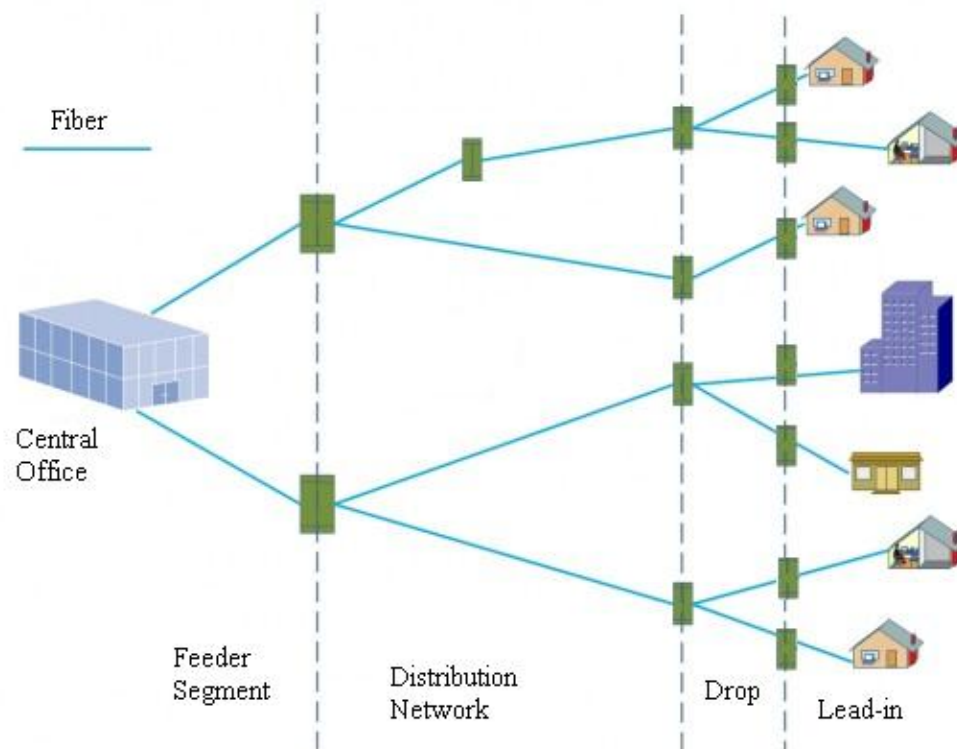
Συγκεκριμένα, τα 4 αυτά τμήματα είναι τα εξής :

- Feeder Segment, όπου οι οπτικές ίνες αναχωρούν από το Κεντρικό Γραφείο μέχρι να φτάσουν στο Δίκτυο Διανομής. Ανάλογα την τοπολογία του οπτικού δικτύου πρόσβασης, μπορεί να χρειάζονται πολλές ή λίγες τάφροι σε αυτό το τμήμα. Το εν λόγω ζήτημα θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω μιας και αποτελεί βασικό παράγοντα κόστους του δικτύου.
- Distribution Network, όπου οι οπτικές ίνες μόλις έχουν φτάσει από το Κεντρικό Γραφείο και το οπτικό σήμα μας υπόκειται σε κάποια επεξεργασία ώστε να παρασχεθούν υπηρεσίες προς τους συνδρομητές. Υπάρχει Τοπολογία που δε χρειάζεται το εν λόγω κομμάτι του δικτύου, όπως αναλύεται στη συνέχεια.
- Drop Cable Segment, το οποίο είναι το τελικό κομμάτι του δικτύου ανάμεσα στο Δίκτυο Διανομής και το κτίριο του συνδρομητή. Όπως και για το Feeder Segment, η διάνοιξη μικρών ή μεγάλων τάφρων.
- Lead-in, το οποίο αναφέρεται στο κομμάτι ανάμεσα στην ήδη υπάρχουσα ίνα μέχρι την είσοδο (ή , συχνότερα, το υπόγειο) του κτιρίου του συνδρομητή. Η ήδη εγκατεστημένη ίνα κατευθύνεται προς το κτίριο μέσω ενός συνδετήρα (connector) και εισέρχεται αυτού.

Τα 4 αυτά μέρη απεικονίζονται στο Σχήμα 2.1 . Πέραν αυτών , ειδικά για την Αρχιτεκτονική FTTH υπάρχει και το κομμάτι από τον τερματισμό του Lead-in μέχρι το χώρο του συνδρομητή, το οποίο αποτελεί την Εσωτερική Καλωδίωση (Internal Cabling) από οπτική ίνα.

Είναι αξιοσημείωτο πως για την επιλογή κατασκευής οπτικού δικτύου πρόσβασης, πρώτα επιλέγεται η Αρχιτεκτονική αυτού, στη συνέχεια η Τοπολογία του και τέλος η εφαρμοζόμενη Τεχνολογία. Αναλύοντας τις 3 αυτές παραμέτρους, μπορούμε να περιγράψουμε πλήρως ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης.

Τέλος, να αναφέρουμε ότι το μέγεθος της απαιτούμενης τάφρου είναι εν γένει διαφορετικό ανάμεσα στο Feeder Segment και στο Drop Cable Segment . Αυτό συμβαίνει τόσο λόγω συγκέντρωσης (concentration) στο Σημείο Διανομής, όσο και λόγω του ότι όσο φτάνουμε πιο κοντά σε συνδρομητές οι οπτικές ίνες θα πρέπει να διαχωρίζονται για να προσεγγίσουν τον αντίστοιχο χώρο.



Σχήμα 2.1 : Δομή Δικτύου FTTH

2.1.2 Κατασκευή Δικτύων FTTx

Σε ένα δίκτυο FTTx , το μεγαλύτερο κομμάτι του κόστους κατασκευής οφείλεται στα έργα εκσκαφής και αποκατάστασης σε δημόσιους κοινόχρηστους χώρους (πχ δρόμους). Υπολογίζεται ότι περίπου τα $\frac{3}{4}$ του κόστους κατασκευής επιμερίζεται στα έργα εκσκαφής και αποκατάστασης. Ως εκ τούτου, η εύρεση μεθόδων οι οποίες μπορούν να μειώσουν το εν λόγω κόστος επιφέρει σημαντική μείωση στο κόστος κατασκευής ολόκληρου του οπτικού δικτύου πρόσβασης. Οι εξελίξεις στις μεθόδους κατασκευής οπτικών υποδομών μείωσαν το συνολικό κόστος και τον χρόνο εκτέλεσης ενός έργου FTTx. Οι σημαντικότερες μέθοδοι κατασκευής τάφρων και εγκατάστασης οπτικών υποδομών που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές δικτύων πρόσβασης είναι οι εξής:

2.1.2.1 Μέθοδος Mini-Trenching (Μικροτάφρου)

Η μικροτάφρος είναι τομή ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) ή σε πεζοδρόμια, διατομής πλάτους ≤ 150 mm και βάθους μέχρι 400 mm σύμφωνα με τις συστάσεις ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Η τομή κατασκευάζεται με τη χρήση μηχανημάτων τύπου trencher, τα οποία κατασκευάζουν χάνδακα τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή σε πολύ σύντομο χρόνο. Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της τάφρου τοποθετούνται τυποποιημένες σωληνώσεις (διατομής 40mm ή 50mm και πλήθους συνήθως μέχρι 6) και εξασφαλίζεται η κατάλληλη χωροθέτησή τους καθ' όλο το μήκος της. Η τοποθέτηση των σωλήνων μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την διάνοιξη του χάνδακα (απαιτείται ειδικός μηχανισμός), ή σε δεύτερο χρόνο μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής. Οι σωληνώσεις συνήθως διατίθενται με προεγκατεστημένα συστήματα μικροσωληνώσεων τα οποία επιτρέπουν την εγκατάσταση οπτικών καλωδίων διαφορετικών διατομών και χωρητικότητας σε αριθμό ιών. Τα οπτικά καλώδια εγκαθίστανται αφού έχουν ολοκληρωθεί τα έργα κατασκευής, είτε με την μέθοδο έλξης είτε με την μέθοδο εμφύσησης.

2.1.2.2 Μέθοδος Micro Trenching

Το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης (micro trenching) περιορίζει σημαντικά την έκταση της εκσκαφής, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό στο αστικό περιβάλλον. Η μέθοδος δεν χρησιμοποιεί αυλάκωμα επί των οδοστρωμάτων και των πεζοδρομίων. Το σύστημα ένθετης οπτικής καλωδίωσης απαιτεί μια λεπτή περικοπή με «τροχό» (αρμοκοπή με δίσκο) σε επιφάνειες όπως η άσφαλτος ή το σκυρόδεμα, και έχει 1,5 cm πλάτος και 10-12 cm βάθος. Μετά την διάνοιξη τοποθετείται το κατάλληλο σύστημα μικροσωληνώσεων, και η τομή αποκαθίσταται αμέσως καλυπτόμενη με κατάλληλα υλικά αποκατάστασης. Όπως και στην περίπτωση του mini-trenching, έτσι κι εδώ τα οπτικά καλώδια εγκαθίστανται αφού έχουν ολοκληρωθεί τα έργα κατασκευής.

2.2 Αρχιτεκτονική Δικτύων FTTx

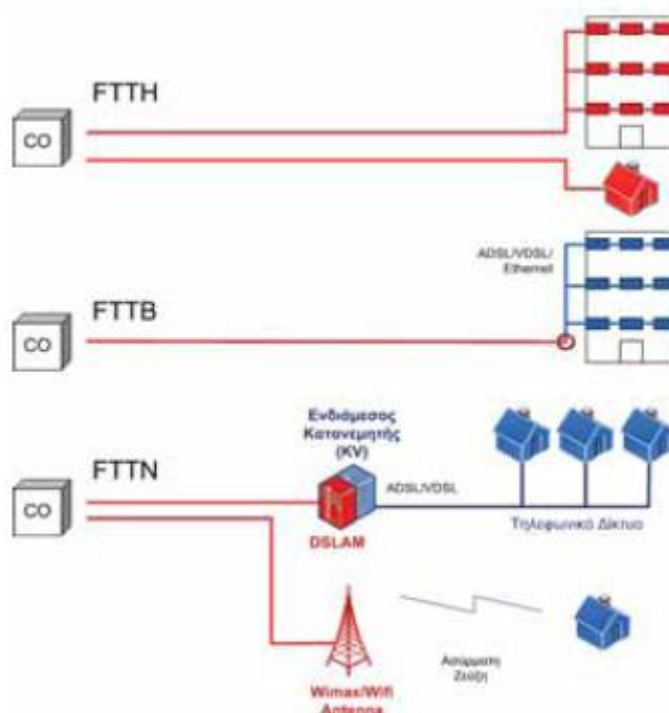
Υπάρχουν 3 χρησιμοποιούμενες Αρχιτεκτονικές : FTTC , FTTB και FTTH. Η διαφορά τους είναι το “πόσο μακριά” θα φτάσει η οπτική ίνα.

Συγκεκριμένα στην FTTC (ή FTTN - Fiber To The Node) τεχνολογία, η οπτική ίνα θα φτάσει αρκετά μακριά από το συνδρομητή σε κάποιον εξωτερικό χώρο και από εκεί θα συνεχίσει με χαλκό (vDSL) ή ασύρματα (WiFi ή WiMax) .

Στο FTTB η οπτική ίνα θα φτάσει μέχρι το κτίριο του συνδρομητή (για παράδειγμα στο υπόγειο της πολυκατοικίας) και από εκεί θα συνεχίσει μέχρι το χώρο του συνδρομητή με καλώδιο Ethernet ή με το συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού που υπάρχει ήδη.

Τέλος , στο FTTH η οπτική ίνα θα φτάσει μέχρι και το χώρο του συνδρομητή, διανύοντας ολόκληρη τη σχετική διαδρομή.

Μία διαισθητική απεικόνιση των παραπάνω συνανατάμε στο Σχήμα 2.2 . Παρακάτω θα εξειδικεύσουμε ανά Αρχιτεκτονική σύμφωνα με τα επιμέρους κομμάτια ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης , όπως αυτά αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 2.2 : Διαισθητική Απεικόνιση Αρχιτεκτονικών FTTx

Αν, λοιπόν, θελήσουμε να περιγράψουμε τις εν λόγω Αρχιτεκτονικές με βάση τα επιμέρους κομμάτια τους, μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- στο FTTC η οπτική ίνα καταλαμβάνει μόνο το κομμάτι του Feeder Segment. Στη συνέχεια υπάρχει ένα vDSL DSLAM στη θέση του Δικτύου Διανομής και το δίκτυο συνεχίζει είτε με vDSL μέσω χαλκού είτε ασύρματα (για παράδειγμα με WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access ή WiFi- Wireless Fidelity).
- στο FTTB η οπτική ίνα φτάνει μέχρι και το Lead in, αλλά το Internal Cabling δεν υλοποιείται με οπτική ίνα, αλλά είτε με καλώδιο Ethernet είτε με χρήση του (κατά κανόνα) ήδη υπάρχοντος συνεστραμμένου ζεύγους χαλκού .
- τέλος, στο FTTH η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το χώρο του συνδρομητή. Αυτό σημαίνει ότι και το Lead in αποτελείται από οπτική ίνα.

Παρατηρούμε λοιπόν πως ο βασικός παράγοντας διαφοροποίησης ανά Αρχιτεκτονική είναι το μέχρι πού θα φτάσει η οπτική ίνα. Εν γένει, όσο πιο κοντά

φτάσει στο συνδρομητή, τόσο περισσότερο μπορεί κανείς να εκμεταλλευθεί τις ιδιότητες της οπτικής ίνας, μιας και σε κάθε περίπτωση πλην FTTH παρεμβάλλεται χαλκός, ο οποίος περιορίζει τις δυνατότητες του δικτύου μας, ειδικά εάν καλύπτει μεγάλες αποστάσεις.

Στην περίπτωση του FTTH, έχουμε ακόμα και το Lead in να υλοποιείται με οπτική ίνα. Η κατασκευή αυτού του κομματιού είναι συνήθως χρονοβόρα, μιας και εμπλέκονται για κάθε κτίριο διαφορετικές διαδικασίες. Η κατασκευή μπορεί να απλοποιηθεί αν υπάρχει σχετική νομική πρόβλεψη υποχρεωτικής άδειας κατασκευής του Lead in για τα παλαιότερα κτίρια και πολεοδομική πρόβλεψη υποχρεωτικού οπτικού Lead in εκ κατασκευής για τα νεότερα.

Στον πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα απαιτούμενα οπτικά κομμάτια δικτύου πρόσβασης ανά εφαρμοζόμενη Αρχιτεκτονική .

	FTTC	FTTB	FTTH
Feeder Segment	X	X	X
Distribution Network	-	X	X
Drop Cable Segment	-	X	X
Lead in	-	X	X
Internal Cabling	-	-	X

Πίνακας 2.1 : Απαιτούμενα οπτικά κομμάτια δικτύου πρόσβασης ανά Αρχιτεκτονική.

2.3 Τοπολογία Δικτύων FTTx

Αφού επιλέξουμε την Αρχιτεκτονική του οπτικού μας δικτύου πρόσβασης, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή Τοπολογίας. Υπάρχουν δύο εναλλακτικές Τοπολογίες :

- PtP (Point to Point), όπου έχουμε απευθείας σύνδεση ανάμεσα στο Κεντρικό Γραφείο και το συνδρομητή με μία dedicated οπτική ίνα ανά συνδρομητή
- PtMP (Point to MultiPoint), όπου κάθε οπτική ίνα που ξεκινά από το Κεντρικό Γραφείο αντιστοιχεί σε ένα σχετικά μεγάλο (συνήθως 16 ή 32) συνδρομητών

Η επιλογή PtP τοπολογίας είναι εν γένει τεχνολογικά ανώτερη από αυτή της PtMP , μιας και με την πρώτη έχουμε μία οπτική ίνα ανά συνδρομητή , ο οποίος μπορεί να την εκμεταλλεύεται στο έπακρο, ενώ αντίθετα στη PtMP τοπολογία έχουμε χρήση κοινού μέσου, οπότε αφενός προκύπτουν τεχνολογικοί περιορισμοί και αφετέρου τίθενται ζητήματα ασφάλειας, ακριβώς λόγω της χρήσης κοινού μέσου.

Από την άλλη πλευρά , η PtP τοπολογία απαιτεί μεγάλο αριθμό οπτικών ινών και πολλές εργασίες διάνοιξης τάφρων, σε αντίθεση με την PtMP τοπολογία. Στην PtMP τοπολογία και μέχρι το Δίκτυο Διανομής χρησιμοποιείται μία οπτική ίνα ανά (συνήθως) 16 ή 32 συνδρομητές. Από αυτόν ακριβώς τον παράγοντα προκύπτει και το split ratio της υπηρεσίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε PtP δεν έχουμε Δίκτυο Διανομής με την αυστηρή έννοια, μιας και η οπτική ίνα κατευθύνεται απευθείας στο συνδρομητή, χωρίς να υπάρχει ενδιάμεσος εξοπλισμός. Βέβαια, αρχικά οι οπτικές ίνες τοποθετούνται σε μεγάλες τάφρους εξερχόμενες του CO, αλλά στη συνέχεια διακλαδίζονται σε μικρότερες τάφρους για να φτάσουν κοντά στους συνδρομητές. Η περιοχή αυτή της διακλάδωσης μπορεί να θεωρηθεί ως Δίκτυο Διανομής.

Η PtP τοπολογία παρουσιάζεται μόνο στα FTTH δίκτυα, μιας και σε κάθε άλλη περίπτωση, κάπου ανάμεσα στο Κεντρικό Γραφείο και το συνδρομητή υπάρχει ένα σημείο διανομής. Έτσι , προκύπτουν αβίαστα κάποιοι τεχνικοί περιορισμοί. Για παράδειγμα αν κανείς σκοπεύει να κατασκευάσει οπτικό δίκτυο τοπολογίας PtP έτσι κι αλλιώς, θα πρέπει πρώτα να επιλέξει Αρχιτεκτονική. Εκ των πραγμάτων , η μοναδική του επιλογή είναι η Αρχιτεκτονική. FTTH .

Στον Πίνακα 2.2 συνοψίζονται ο απαιτούμενος εξοπλισμός και οι απαιτούμενες εργασίες ανά τύπο Τοπολογίας οπτικού δικτύου πρόσβασης.

	Point to Point	Point to MultiPoint
Οπτικές Ίνες	Πολλές	Λιγότερες
Μεγάλες Τάφροι	Πολλές	Λιγότερες
Μικρές Τάφροι	Λίγες	Περισσότερες
Δίκτυο Διανομής	X	-

Πίνακας 2.2: Απαιτούμενος εξοπλισμός και απαιτούμενες εργασίες ανά τύπο Τοπολογίας οπτικού δικτύου πρόσβασης

Όσο αφορά τις μεγάλες τάφρους , στη μεν PtP τοπολογία θα έχουμε από το Κεντρικό Γραφείο κιάλας να εξέρχονται τόσες οπτικές ίνες όσες και οι (εν δυνάμει) συνδρομητές και κάποιες από αυτές (όσες αφορούν συνδρομητές σε μακρινές αποστάσεις), θα διακλαδίζονται αρκετά μακριά από το Κεντρικό Γραφείο, καθιστώντας απαραίτητη την ύπαρξη πολλών μεγάλων τάφρων. Αντίθετα , στην

PtMP τοπολογία, έχουμε μία οπτική ίνα ανά 16 ή 32 συνδρομητές, οπότε αναχωρούν λιγότερες οπτικές ίνες από το Κεντρικό Γραφείο. Μάλιστα, προσπαθούμε να φέρουμε το Δίκτυο Διανομής (μετά το οποίο κάθε συνδρομητής απολαμβάνει τη δική του ξεχωριστή οπτική ίνα), όσο πιο κοντά γίνεται στους συνδρομητές ούτως ώστε :

- να χρησιμοποιήσουμε όσο το δυνατόν λιγότερα μέτρα οπτικών ινών και
- να διανοίξουμε όσο το δυνατόν λιγότερες μεγάλες τάφρους για την κατασκευή του δικτύου μας

Εφόσον λοιπόν το όφελος είναι διπλό, επιδιώκεται ιδιαίτερα το να φέρουμε το Δίκτυο Διανομής όσο πιο κοντά γίνεται στους συνδρομητές.

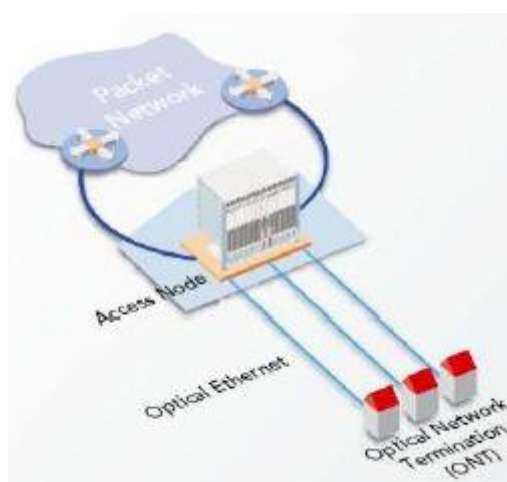
2.4 Τεχνολογίες Δικτύων FTTx

2.4.1 Εισαγωγή

Μετά την επιλογή Αρχιτεκτονικής και Τοπολογίας, απομένει η επιλογή τεχνολογίας του οπτικού δικτύου πρόσβασης. Εφόσον έχουν επιλεγεί συγκεκριμένοι συνδυασμοί Αρχιτεκτονικής και Τοπολογίας, η επιλογή Τεχνολογίας περιορίζεται σε λιγότερες επιλογές από το σύνολο, μιας και κάποιες τεχνολογίες είτε είναι συνυφασμένες με συγκεκριμένους συνδυασμούς Αρχιτεκτονικής και Τοπολογίας είτε δεν είναι καν εφικτός ο συνδυασμός Αρχιτεκτονικής, Τοπολογίας και Τεχνολογίας σε κάποιες περιπτώσεις. Όλα αυτά περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

2.4.2 Active Ethernet σε PtP τοπολογία

Το Active Ethernet σε PtP τοπολογία δίκτυο μπορεί να βρεθεί στη βιβλιογραφία και ως Home Run, Active Fiber ή PtP AON. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3, Από το CO όπου βρίσκεται ο Κόμβος Πρόσβασης (Access Node) ξεκινάει μία οπτική ίνα απευθείας για κάθε συνδρομητή.



Σχήμα 2.3 : Home Run Οπτικό Δίκτυο

Το Home Run δίκτυο αποτελεί την πιο απλή σχεδιαστικά λύση FTTH, ενώ μπορεί να υποστηρίξει τη μεγαλύτερη ταχύτητα από κάθε άλλη επιλογή. Κανένα κομμάτι του δικτύου μέχρι το CO δε χρησιμοποιείται από πάνω από έναν συνδρομητές, οπότε υπάρχει μεγάλη ασφάλεια, ενώ είναι αρκετά εύκολη η αντιμετώπιση προβλημάτων και βλαβών στο δίκτυο πρόσβασης. Το Home Run δίκτυο μπορεί να κατασκευαστεί αποκλειστικά σε συνδυασμό με FTTH Αρχιτεκτονική και PtP Τοπολογία.

Το Home Run δίκτυο μπορεί να εκμεταλλευθεί πλήρως ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της οπτικής ίνας : αφού μία και μόνο οπτική ίνα έχει πρακτικά απεριόριστο bandwidth ,το capacity που θα επιτευχθεί εξαρτάται αποκλειστικά από τον οπτικό εξοπλισμό που θα “φωτίσει” (όπως χαρακτηριστικά αποκαλείται) την οπτική ίνα. Αυτό σημαίνει πως υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες αναβάθμισης σχετικά εύκολα, αρκεί να αναβαθμιστεί ο ακραίος οπτικός εξοπλισμός. Μάλιστα, πηγαίνοντας ένα βήμα πιο πέρα , εάν εφαρμόσουμε Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος αντί για Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (η οποία χρησιμοποιείται σήμερα στα Home Run Δίκτυα), τότε θα έχουμε ουσιαστικά μία οπτική ζεύξη δικτύου πρόσβασης ευθέως ανάλογη με τις οπτικές ζεύξεις δικτύου κορμού των εκάστοτε εμπορικών παρόχων σήμερα.

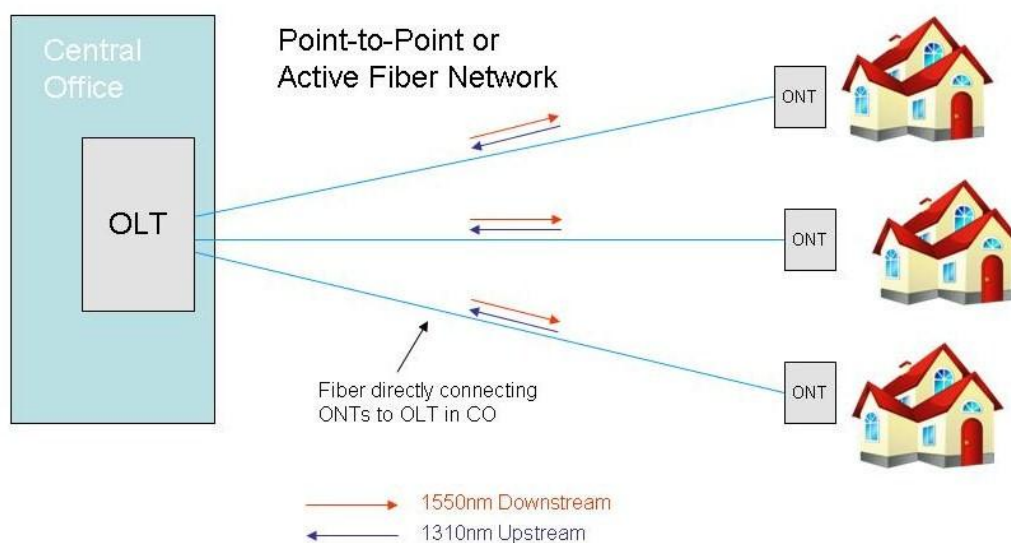
Φυσικά , κάτι τέτοιο θα “εκτοξεύσει” τις δυνατότητες του δικτύου , αλλά τουλάχιστον σήμερα παραμένει εξωφρενικά ακριβή υλοποίηση σε ποσά απλησίαστα για οποιονδήποτε οικιακό ή και επαγγελματικό πελάτη. Όμως, η τεχνολογία διαρκώς πραγματοποιεί άλματα και κάτι που κάποια στιγμή έμοιαζε ανέφικτο και μη ρεαλιστικό, πολλές φορές υλοποιείται μόλις λίγα χρόνια αργότερα και μάλιστα σε ικανοποιητικό κόστος.

Πλην των παραπάνω, αξίζει να σημειωθεί πως επιτυγχάνεται και μέγιστη ασφάλεια , καθώς για κάθε συνδρομητή υπάρχει ένας αποκλειστικός (dedicated) οπτικός βρόχος, κάνοντας δύσκολη (αν όχι αδύνατη) την υποκλοπή προσωπικών δεδομένων σε φυσικό επίπεδο.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα του Home Run Δικτύου είναι μάλλον προφανή. Απαιτείται πολύ μεγάλος όγκος οπτικών ινών, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη διάνοιξης πολλών μεγάλων τάφρων σε ολόκληρη τη διαδρομή ανάμεσα στο CO και στο συνδρομητή, παράγοντας ο οποίος είναι καθοριστικός για το τελικό κόστος ανάπτυξης του δικτύου. Για την ακρίβεια , ακριβώς έξω από το Κεντρικό Γραφείο θα υπάρχουν οι απολήξεις όλων των οπτικών ινών του συνόλου της περιοχής που εξυπηρετείται. Αυτό βέβαια έρχεται σε πλήρη αντιστοιχία με τα σημερινά Αστικά Κέντρα της xDSL τεχνολογίας, όπου όλοι οι χάλκινοι βρόχοι καταλήγουν στο Κεντρικό Γραφείο χωρίς να έχει προϋπάρξει σημείο συγκέντρωσης (εκτός και αν υπάρχει χρήση φερέσυχνου ,γεγονός αρκετά σπάνιο πλέον).Οι τάφροι γίνονται μικρότερες μόνο πολύ κοντά στο συνδρομητή.

Για την κατασκευή Home Run δικτύου χρειάζεται κατά σειρά ο Οπτικός Κατανομητής, η διάνοιξη τάφρων με τις αντίστοιχες οπτικές ίνες και ο τερματικός εξοπλισμός του χρήστη (Customer Premises Equipment – CPE). Στην επιλογή αυτή μπορούν να εφαρμοστούν και τα 3 επιχειρηματικά μοντέλα που αναφέρθηκαν. Σχετική ανάλυση θα ακολουθήσει στο Κεφάλαιο 3.

Το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόχου φτάνει περίπου τα 80 χιλιόμετρα, ενώ τυπικά για το μεν downstream κομμάτι χρησιμοποιείται η περιοχή γύρω από τα 1550 νανόμετρα και για το δε upstream η περιοχή γύρω από τα 1310 νανόμετρα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4

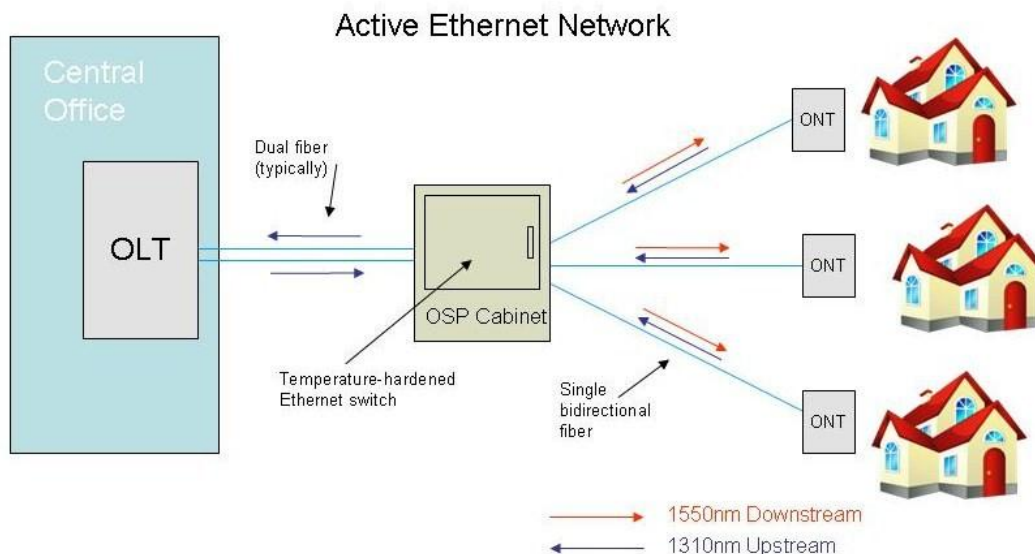


Σχήμα 2.4 : Κατανομή χρησιμοποιούμενου Μήκους Κύματος σε Home Run δίκτυο

Αξίζει να σημειωθεί πως το Home Run αποτελεί ενεργό οπτικό δίκτυο πρόσβασης, μιας και για τη σύνδεση του Κεντρικού Γραφείου με το συνδρομητή χρησιμοποιείται αποκλειστικά ενεργός εξοπλισμός. Τέλος, οι τυπικές ταχύτητες που παρέχονται συμμετρικά είναι στο 1/1 Gbps.

2.4.3 Active Ethernet σε PtMP τοπολογία

Το δίκτυο Active Ethernet σε PtMP τοπολογία συναντάται στη βιβλιογραφία και ως Active Star ή Active Ethernet. Είναι και αυτό ενεργό οπτικό δίκτυο (AON), αλλά σε αντίθεση με το Home Run, αποτελεί δίκτυο τοπολογίας PtMP. Η δομή του απεικονίζεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Active Star Δίκτυο

Στο Active Star Δίκτυο παρεμβάλλεται ανάμεσα στον Οπτικό Κατανομητή και τον τελικό χρήστη ένα ενεργό οπτικό στοιχείο το οποίο συγκεντρώνει τις οπτικές ίνες των συνδρομητών της περιοχής σε (τυπικά) δύο οπτικές ίνες (μία για το downstream και μία για το upstream), οι οποίες καταλήγουν στο Κεντρικό Γραφείο. Το ενεργό οπτικό στοιχείο είναι ένα Ethernet Switch, το οποίο βρίσκεται εκτός του Κεντρικού Γραφείου (Outside Plant) και για να λειτουργήσει χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια (μαζί με το αντίστοιχο failover σύστημα σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης), κατάλληλη ψύξη και συντήρηση μιας και η θέση του το κάνει αρκετά ευαίσθητο σε διάφορες φθορές. Λόγω του ενεργού του χαρακτήρα, το Active Star Δίκτυο μπορεί να παρέχει αρκετά υψηλές ταχύτητες, χωρίς όμως να φτάνει το επίπεδο του Home Run δικτύου. Το Active Star Δίκτυο συνδυάζεται αποκλειστικά με PtMP τοπολογία και Αρχιτεκτονική είτε FTTH είτε FTTB.

Ανάμεσα στο Ethernet Switch και το συνδρομητή μπορεί να υπάρχει είτε μία οπτική ίνα είτε ένα ζευγάρι αυτών.

Χρησιμοποιώντας ένα ζευγάρι ινών έχουμε σχετικά φθηνούς πομποδέκτες, αλλά μεγάλο όγκο ινών, άρα και απαιτούμενων τάφρων. Και στις δύο ίνες χρησιμοποιείται η περιοχή κοντά στα 1310 νανόμετρα. Υπάρχουν δύο σχετικά πρότυπα :

- 100BASE-LX , με 100 Mbps συμμετρικά στις δύο κατευθύνσεις
- 1000BASE-LX, με 1 Gbps συμμετρικό στις δύο κατευθύνσεις

Χρησιμοποιώντας μία ίνα έχουμε λιγότερες ίνες και μικρότερες τάφρους, αλλά πιο ακριβούς πομποδέκτες. Για αυτή την περίπτωση υπάρχουν επίσης δύο πρότυπα :

- 100BASE-BX , με 100 Mbps συμμετρικά στις δύο κατευθύνσεις. Για το κομμάτι του downstream χρησιμοποιείται η φασματική περιοχή κοντά στα 1550 νανόμετρα, ενώ για το upstream κοντά στα 1310 νανόμετρα.

- 1000BASE-BX, με 1 Gbps συμμετρικό στις δύο κατευθύνσεις. Για το κομμάτι του downstream χρησιμοποιείται η φασματική περιοχή κοντά στα 1490 νανόμετρα, ενώ για το upstream κοντά στα 1310 νανόμετρα.

Το μέγεθος του Ethernet Switch ξεκινάει από τις 2 ή 4 θύρες και φτάνει μέχρι και τις 1024 , αλλά συνηθίζονται οι 256 ή 512 θύρες. Το Ethernet Switch είναι ίσως το πιο ευαίσθητο και κομβικό σημείο του Active Star Δικτύου, καθώς βρίσκεται εκτός του Κεντρικού Γραφείου, εκτεθειμένο σε κάθε είδους κίνδυνο , είτε περιβαλλοντικό είτε ανθρώπινου παράγοντα.

Για την κατασκευή Active Star δικτύου χρειάζεται κατά σειρά ο Οπτικός Κατανομητής , η διάνοιξη μιας σχετικά μικρής τάφρου ανά 256 ή 512 συνδρομητές για την οπτική ζεύξη του Κεντρικού Γραφείου με το Ethernet Switch, το Ethernet Switch αυτό καθαυτό, η διάνοιξη τάφρων με τις αντίστοιχες οπτικές ίνες από το Ethernet Switch μέχρι το συνδρομητή και ο τερματικός εξοπλισμός του χρήστη (Customer Premises Equipment – CPE).

Είναι φανερό ότι η βασική διαφορά κόστους με το Home Run δίκτυο βρίσκεται στη χρήση σαφώς λιγότερων οπτικών ινών (άρα και διάνοιξη λιγότερων τάφρων αντίστοιχα), παράγοντας ο οποίος μειώνει το κόστος. Μάλιστα, όσο πιο κοντά βρίσκεται το Ethernet Switch στους τελικούς χρήστες, τόσο μειώνεται η ανάγκη για οπτικές ίνες και τάφρους .Από την άλλη, η χρήση του Ethernet Switch (και επιπρόσθετα η λειτουργία και συντήρησή του σε εξωτερικό χώρο) μεγαλώνει το κόστος. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί ένα tradeoff που επιδέχεται βελτιστοποίησης. Το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόχου καθορίζεται στα 10 χιλιόμετρα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται ο όρος “Active Ethernet” επειδή η διάταξη των στοιχείων του θυμίζει πολύ τα οικιακά/επιχειρηματικά δίκτυα όπου όλες οι δικτυακές συσκευές είναι συνδεδεμένες σε ένα Ethernet Switch επίσης και σε αυτό παρέχεται κεντρικά feed.

2.4.4 Σύγκριση Home Run και Active Star δικτύων

Μιας και τα δίκτυα τεχνολογίας Home Run και Active Star αποτελούν τις δύο μοναδικές τεχνολογίες ενεργών οπτικών δικτύων πρόσβασης, μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ τους, ανάλογα το τι χρειάζονται για την κατασκευή και λειτουργία τους. Μία τέτοια σύγκριση απεικονίζεται στον Πίνακα 2.3 .

	Home Run	Active Star
Οπτικός Κατανεμητής (CO)	X	X
Οπτικές Ίνες	Πολλές	Λιγότερες
Optical Line Terminator (OLT)	X	X
Μεγάλες Τάφροι	Πολλές	Λιγότερες
Μικρές Τάφροι	Λίγες	Περισσότερες
Ethernet Switch (OSP)	-	X
Optical Network Terminator (ONT)	X	X

Πίνακας 2.3 : Συγκριτική παρουσίαση εξοπλισμού οπτικών δικτύων πρόσβασης τεχνολογίας Home Run και Active Star

2.5.1 Δίκτυα xPON

Η πιο φθηνή τεχνολογία οπτικών δικτύων πρόσβασης είναι η τεχνολογία των xPON (Passive Optical Network) δικτύων. 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

Οι διαφορές των παραπάνω θα εξηγηθούν αργότερα. Η τρίτη επιλογή δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα εμπορικά, αν και φαίνεται αρκετά ελκυστική. Οι δύο πρώτες έχουν ταυτόσημη διάταξη, η οποία και αναλύεται παρακάτω.

Η επιλογή PtMP τοπολογίας για παθητικά οπτικά δίκτυα είναι η μόνη η οποία χρησιμοποιείται 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, ιδιαίτερα από incumbent παρόχους. 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 , ώστε :

$$2^y = x \quad (2.1)$$

Κάθε splitter επιφέρει μία αντίστοιχη απόσβεση, η οποία εν γένει διαφέρει, αλλά μία τυπική τιμή της είναι περίπου 0.5 dB ,πέραν των 3 dB 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 17,5 dB. Τα προηγούμενα πρέπει να συνυπολογιστούν κατά τη διενέργεια του ισολογισμού ισχύος για το οπτικό δίκτυο. Σε επόμενη παράγραφο ακολουθεί αναλυτική διεξαγωγή ισολογισμού ισχύος.

Επειδή λοιπόν χρησιμοποιείται κοινό μέσο (η αρχική οπτική ίνα), εγείρονται ιδιαίτερα θέματα ασφαλείας, για τα οποία και χρειάζεται σαφής προτυποποίηση. 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) .

Από τα μέσα κιόλας της δεκαετίας του 1990 εμφανίστηκε το πρώτο πρότυπο PON , το APON , το οποίο μετονομάστηκε σε BPON και προτυποποιήθηκε το 1998 (κατά ITU-T G.983.5). Το APON μόλις που έφτανε τα 155.52 Mbps (λιγότερα και από τα 250 Mbps του μέγιστου bandwidth του VDSL2), ενώ αργότερα το BPON έφτασε αρχικά τα 622.08 Mbps και στη συνέχεια τα 1244.16 Mbps.

Το 2001 εισήχθη το πρότυπο GPON (Gigabit Passive Optical network , κατά ITU-T G.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 1 Gbps 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 1250 Mbps, αλλά στην πράξη περιορίζεται στο 1 Gbps 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 και
- 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 10 Gbps.

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.

Στον Πίνακα 2.4 συνοψίζονται όλα τα παραπάνω.

	Bandwidth	Τυπικό Split Ratio	Bandwidth ανά Χρήστη	Reach (km)
GPON	2488 Mbps	1:32	77.8 Mbps	60
NG-PON	10 Gbps	1:32	312.5 Mbps	20
NG-PON2	~32 Gbps (αναμένεται)	1:32	1 Gbps	Άγνωστο
EPON	1 Gbps	1:16	62.5 Mbps	20
NGEPON	10 Gbps	1:16	625 Mbps	20

Πίνακας 2.4 : Βασικά Χαρακτηριστικά των ευρέως χρησιμοποιούμενων PON προτύπων

Τέλος, η τρίτη οικογένεια Παθητικών Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης είναι το WDM-PON, όπου χρησιμοποιείται Οπτική Πολυπλεξία Διάρθρωσης 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 1 Gbps , ενώ μπορεί να φτάσει έως και 2,5 Gbps (πάντα συμμετρικά). Δεν έχουμε ακόμα εμπορική εφαρμογή του WDM-PON , οπότε η αντίστοιχη τεχνολογία δεν είναι επαρκώς ώριμη ακόμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 3 μεγάλες αυτές οικογένειες Παθητικών Οπτικών Δικτύων πρόσβασης , η καθεμία ξεχωριστά.

2.5.1.1 GPON, NG-PON και NG-PON2

Η τεχνολογία GPON προτυποποιήθηκε κατά ITU-T με την οδηγία G.984 . Παρά την προτυποποίηση αυτή , η κατασκευή και απρόσκοπτη λειτουργία ενός δικτύου GPON το οποίο θα αποτελείται από στοιχεία (elements) διαφορετικών κατασκευαστών παραμένει αρκετά δύσκολη και χαρακτηρίζεται ως “επιχειρησιακή πρόκληση”.

Υπάρχουν 3 κυρίως στοιχεία (πέραν της οπτικής ίνας) στα GPON δίκτυα : ο Optical Line Terminator (OLT) στο CO (συνήθως), όπου και τερματίζει ο οπτικός βρόχος, τα οπτικά splitter που τοποθετούνται ενδιάμεσα (εκτός του χώρου του CO) και το Τερματικό Οπτικού Δικτύου (Optical Network Terminal - ONT), όπου και τερματίζεται το οπτικό δίκτυο στο χώρο του συνδρομητή για κάθε συνδρομητή. Αντίθετα, η μονάδα που εξυπηρετεί πολλούς συνδρομητές, για παράδειγμα σε μια πολυκατοικία (όπως και είναι η πλειοψηφία των περιπτώσεων), ονομάζεται Network terminal Unit (NTU). Πολλές φορές γίνεται, λανθασμένα, αδιάκριτη χρήση των δύο αυτών όρων, αν και ένα NTU κατά κανόνα εξυπηρετεί πολλά ONT πλην εξαιρέσεων , για παράδειγμα σε μια μονοκατοικία όπου προφανώς υπάρχει ένας μόνο συνδρομητής.

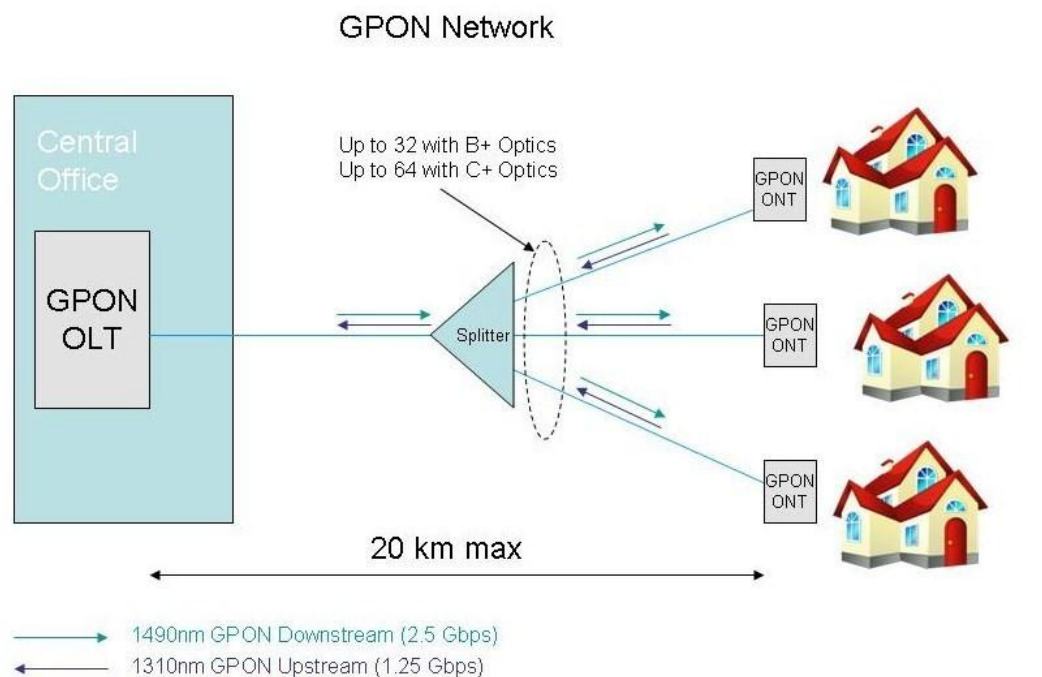
Το GPON μπορεί να υλοποιηθεί (κατά ITU-T) είτε με μονή οπτική ίνα είτε με ζεύγη οπτικών ινών. Στην πράξη επιλέγεται αποκλειστικά η πρώτη λύση (για λόγους κόστους), αν και η δεύτερη είναι εξίσου εφικτή (τεχνικά) με την πρώτη. Η οδηγία G.984 επιτρέπει μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου 60 χιλιόμετρα, αλλά στην 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.

Σε ένα δίκτυο GPON χρησιμοποιούνται 2,3 ή και 4 μήκη κύματος. Στην πράξη προτιμώνται τα 2 ή 3 μήκη κύματος. Ακολουθεί ανάλυση των εν λόγω τεχνικών.

2.5.1.1.1 Υλοποίηση GPON με 2 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 2.5 Gbps , ενώ το upstream του

1.2 Gbps. Όπως έχει προαναφερθεί, βασικά συστατικά στοιχεία του GPON είναι ο OLT (τυπικά εντός του CO), τα splitter και ο ONT στο χώρο του συνδρομητή. Σε περίπτωση παροχής triple play (Data, Voice, Video), θα πρέπει να γίνει αυτή μέσω των 1490 νανόμετρων. Αυτό εν γένει περιορίζει τις δυνατότητες της υλοποίησης των 2 μηκών κύματος. Είναι αξιοσημείωτο πως από τη φύση του GPON είναι πολύ εύκολο το multicast (ευρυεκπομπή, δηλαδή εκπομπή προς πολλούς, ή και όλους τους, συνδρομητές), λόγω της χρήσης κοινού μέσου. Η διάταξη της υλοποίησης GPON με δύο μήκη κύματος φαίνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 : Υλοποίηση GPON με δύο μήκη κύματος

Στο ONT υπάρχει ένας Diplexer (διπλέκτης, Σχήμα 2.7), ο οποίος αναλαμβάνει την “επικοινωνία” του εξοπλισμού του συνδρομητή με το υπόλοιπο οπτικό δίκτυο. Το εσωτερικό του σχεδιάζεται είτε σε 3 διαστάσεις (όπου διακριτά μέρη συναρμολογούνται με το χέρι) είτε σε 2 διαστάσεις με τη χρήση Planar Lightwave Circuit (PLC) και την τύπωση πυριτίου, το οποίο είναι προτιμότερο μιας και η εκτύπωση σε 2 διαστάσεις είναι αυτόματη, πιο απλή και με χαμηλότερο κόστος.

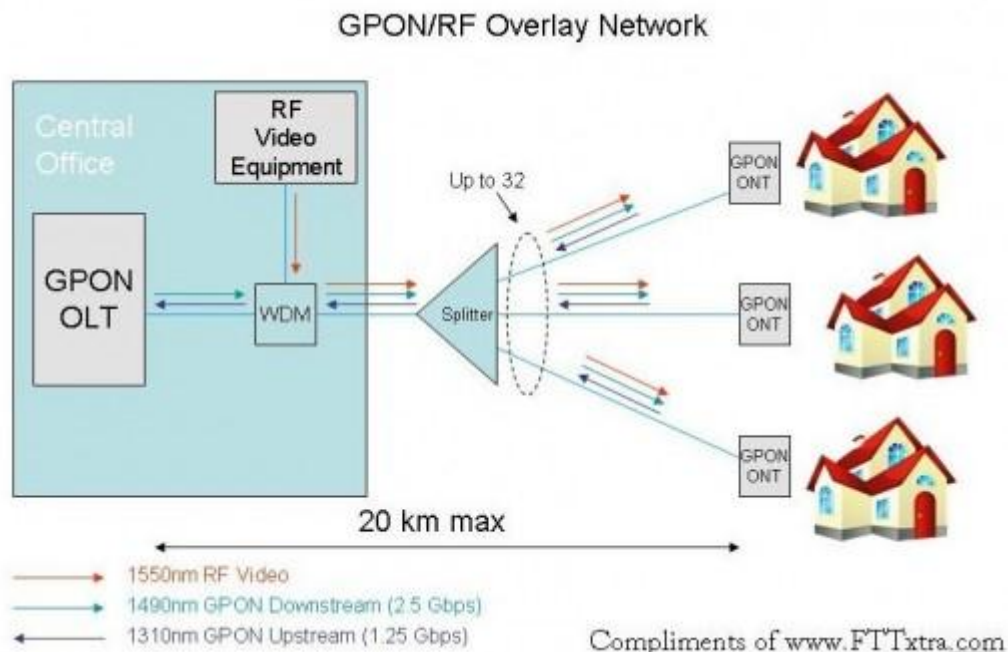


Compliments of www.FTTxtra.com

Σχήμα 2.7 : Diplexer

2.5.1.1.2 Υλοποίηση GPON με 3 μήκη κύματος

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 2.8 . Το μέγιστο μήκος οπτικού βρόχου παραμένει στα 20 χιλιόμετρα.

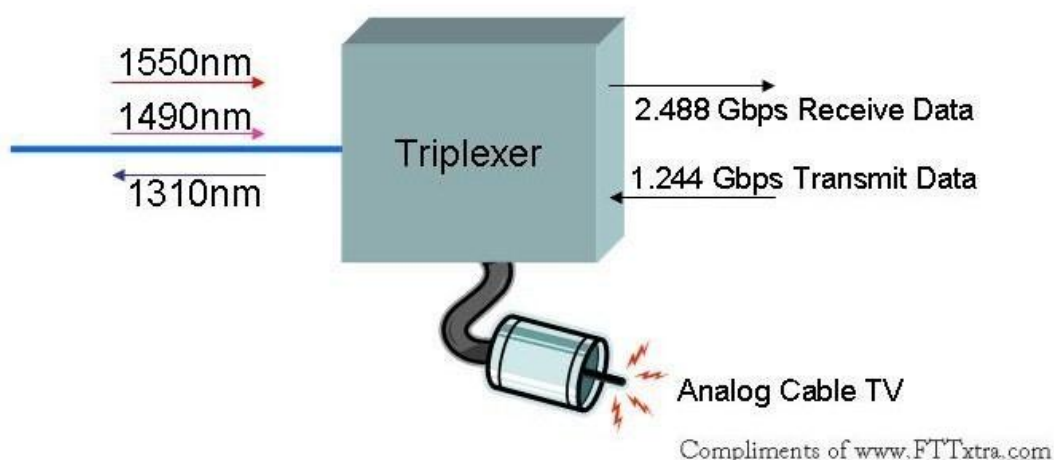


Σχήμα 2.8: Υλοποίηση GPON με 3 μήκη κύματος

Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει ο περιορισμός του split ratio στο 1:32 όχι λόγω του GPON δικτύου αυτού καθαυτού, αλλά λόγω του σήματος RF Video. Μία τυπική οπτική ίνα μπορεί να μεταφέρει μέγιστη οπτική ισχύ 20 dBm (ή 100 mW). Για μήκος οπτικού βρόχου 20 χιλιομέτρων και 32 συνδρομητές τα 100 αυτά mW σχεδόν εξαντλούνται για τη μεταφορά video. Έτσι, δεν υπάρχει αρκετή ισχύς για παραπάνω

συνδρομητές. Ακόμη και αν η εισερχόμενη ισχύς ξεπεράσει τα 20 dBm, η οπτική ίνα θα κυματοδηγήσει τα 20 από αυτά, απορρίπτοντας τα υπόλοιπα. Ακόμη και με οπτικό εξοπλισμό C+, δεν είναι δυνατή η υλοποίηση split ratio 1:64 . Για να γίνει κάτι τέτοιο, θα πρέπει να μειωθεί δραστικά το επίπεδο ευαισθησίας του δέκτη.

Ο πομποδέκτης για το RF video είναι ένας τριπλέκτης (triplexer , Σχήμα 2.9).Οι τριπλέκτες είναι πιο ακριβοί από τους διπλέκτες. Και αυτοί υλοποιούνται σε 3 διαστάσεις με συναρμολόγηση με το χέρι, αλλά συνήθως δεν τυπώνονται με πυρίτιο σε 2 διαστάσεις με PLC , οπότε το κόστος του παραμένει μάλλον υψηλό.



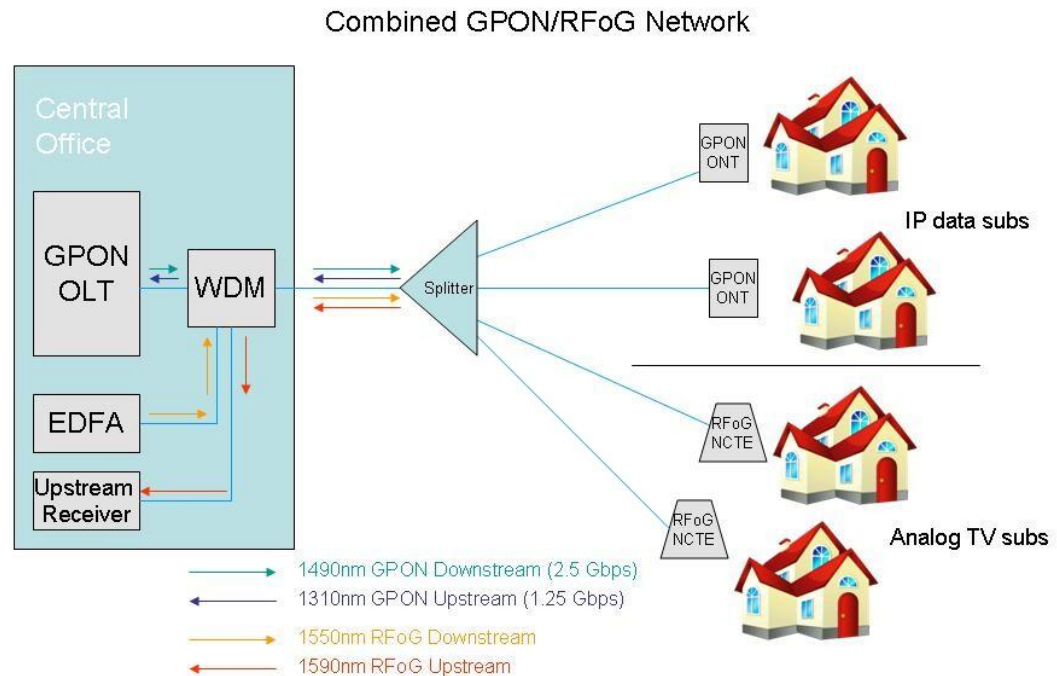
Σχήμα 2.9 : τριπλέκτης σε υλοποίηση GPON 3 μηκών κύματος

Ο OLT απλά φιλτράρει το μήκος κύματος του RF video, απορρίπτοντάς το. Ο ONT μετατρέπει το οπτικό σήμα των 1550 νανόμετρων σε ηλεκτρικό σήμα για τη μετάδοση μέσα στο σπίτι μέσω ομοαξονικών καλωδίων των 75 Ohm. Το τεχνικά δυσκολότερο κομμάτι στην υλοποίηση αυτή είναι το upstream κομμάτι του σήματος RF video. Συνήθως τα δεδομένα αυτά μετατρέπονται σε IP traffic και δρομολογούνται ανάλογα, αλλιώς χρησιμοποιείται η τεχνική RFoG (Radio Frequency over Glass) .

2.5.1.1.3 Υλοποίηση GPON με 4 μήκη κύματος

Τέλος, υπάρχει και η υλοποίηση με 4 μήκη κύματος, η οποία φαίνεται και στο σχήμα 2.10 . Σε αυτή την περίπτωση, πέραν των 3 μηκών κύματος (1310 , 1490 και 1550 νανόμετρα), χρησιμοποιούνται και τα 1590 νανόμετρα. Τα 1550 νανόμετρα χρησιμοποιούνται για το downstream κομμάτι του RF video και τα 1590 νανόμετρα για upstream κομμάτι αυτού. Επιπλέον των στοιχείων της υλοποίησης, εδώ υπάρχει ένας ενισχυτής ίνας ερβίου (EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier) για το downstream RF Video σήμα , καθώς και ένας δέκτης του Upstream RF Video

σήματος, οπότε γίνεται διαφανώς η μεταφορά του από το συνδρομητή προς το CO, χωρίς τη μετατροπή του σε IP traffic .



Σχήμα 2.10 : υλοποίηση GPON με 4 μήκη κύματος

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 2.488/1.244 Gbps (ύπαρξη ασυμμετρίας, καθώς φαίνεται να "αδικείται" το upstream μέρος). 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 Διάρθρωσης 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 (είναι ακριβώς το μισό του). 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 έναν τυπικό split ratio 1:32 αναμένεται να υπάρχουν σχεδόν 100 χρονοθυρίδες στο upstream κομμάτι.

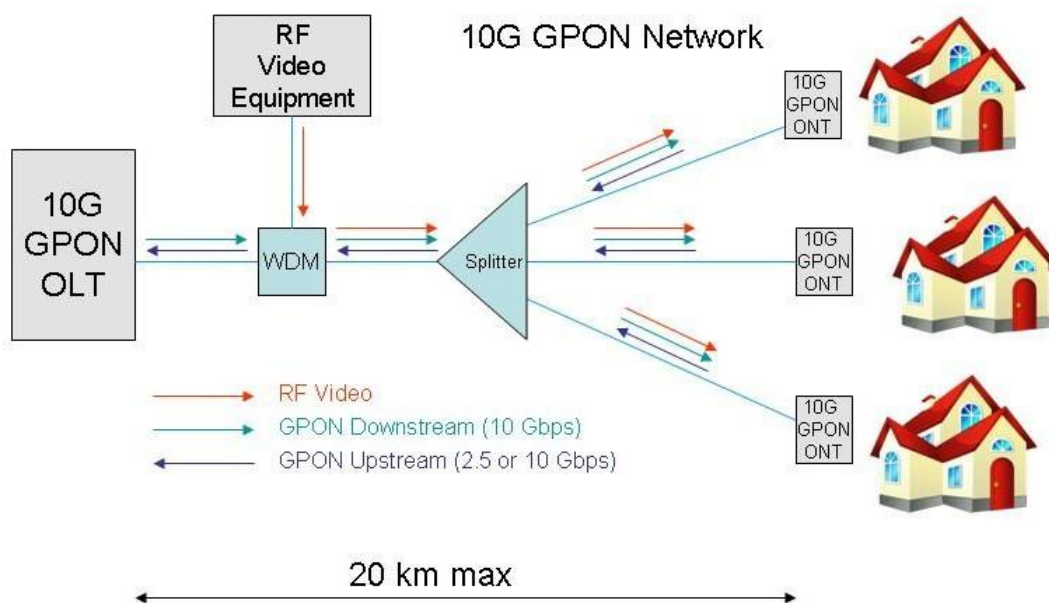
Το GPON υποστηρίζει Ethernet, ATM (Asynchronous Transfer Mode) και TDM (Time Division Multiplex). Εκπέμπονται 8.000 πλαίσια (frames) ανά δευτερόλεπτο για κάθε κατεύθυνση (με τα downstream πλαίσια να έχουν διπλάσιο μέγεθος από τα

upstream πλαίσια), ενώ παρέχεται σήμα εύρους 8 kHz για τηλεφωνία, το οποίο είναι ακριβώς διπλάσιο του εύρους της κλασικής τηλεφωνίας (όπου είναι 4kHz).

Το πρωτόκολλο διαχείρισης μεταξύ OLT και ONT είναι το OMCI (ONT Management & Control Interface), με τη χρήση του οποίου δε χρειάζεται απευθείας επικοινωνία με τα ONT. Μέσω του OMCI μπορεί να γίνει διαχείριση ενός OLT και όλων των ONT με τη χρήση μίας διεύθυνσης IP. Αυτό είναι ιδιαίτερα αποδοτικό για τη χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων διευθύνσεων IP, ενώ ταυτόχρονα μειώνει και το φόρτο του διαχειριστικού συστήματος, αλλά απαιτεί την εφαρμογή πρωτοκόλλου διαχείρισης συγκεκριμένης τεχνολογίας (technology-specific). Εάν υπάρχει υλοποίηση VoIP (Voice over Internet Protocol) στα ONT, συνήθως χρειάζεται ξεχωριστή διαχείριση και διεύθυνση IP, οπότε με τη χρήση του OMCI το όφελος είναι ακόμα μεγαλύτερο.

2.5.1.2 NG-GPON και NG-GPON2

Πιο πριν παρουσιάστηκαν οι 3 υλοποιήσεις της GPON τεχνολογίας. Το επόμενο βήμα αυτής είναι το NG-GPON (Next Generation GPON, συναντάται στη βιβλιογραφία και ως 10G-GPON, δηλαδή 10 Gigabit GPON). Στο NG-GPON το εύρος ζώνης στο downstream κομμάτι είναι 10 Gbps, ενώ το upstream εύρος ζώνης μπορεί να είναι 1.25 Gbps (σπάνια), 2.5 Gbps ή και 10 Gbps. Όσο υψηλότερο είναι αυτό, τόσο πιο ακριβά είναι τα οπτικά μέρη των ONT που χρησιμοποιούνται. Ένας πομπός στον ONT των 10 Gbps 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.



Σχήμα 2.11: Διάταξη NG-GPON δικτύου

Η διάταξη ενός NG-GPON δικτύου φαίνεται στο σχήμα 2.11 και είναι πανομοιότυπη με την υλοποίηση GPON 3 μηκών κύματος (χρησιμοποιούνται τα 1550 νανόμετρα για το RF video σήμα , τα 1490 νανόμετρα για το downstream κομμάτι και τα 1310 νανόμετρα για το upstream κομμάτι). Η μόνη διαφορά είναι ότι ο OLT είναι των 10 Gbps τα οποία κυματοδηγούνται στα 1490 νανόμετρα, ενώ το upstream μπορεί είτε να είναι 1,25 Gbps όπως και στο GPON είτε μεγαλύτερο (2,5 ή και 10 Gbps) .

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη σχεδιάζεται το NG-GPON2 με στόχο την παροχή 32 Gbps συμμετρικά ανά κατεύθυνση, ώστε για split ratio 1:32 να αναλογεί 1 Gbps (συμμετρικό) σε κάθε συνδρομητή. Υπάρχει ακόμα αρκετός χρόνος να διανυθεί μέχρι να φτάσουμε στην εμπορική διάθεση του NG-GPON2.

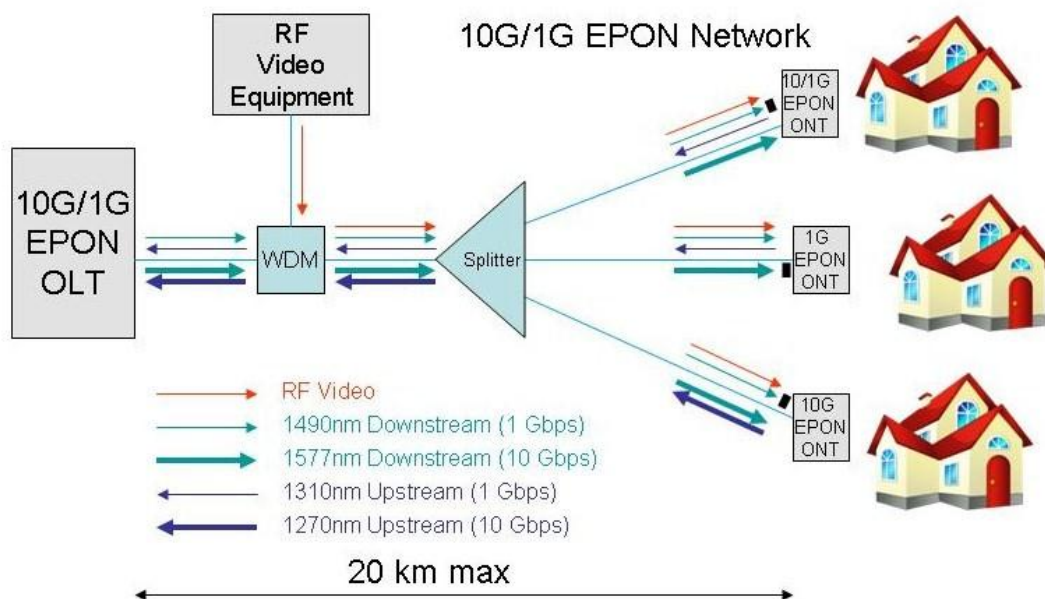
2.5.1.3 EPON και 10G-EPON

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

Στο downstream μέρος μεταδίδονται πλαίσια Ethernet και Idle Characters. Στο 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.

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 σχήμα 2.12 .Το μέγιστο μήκος του οπτικού βρόχου ανέρχεται στα 20 χιλιόμετρα.



Σχήμα 2.12 : Διάταξη δικτύου EPON (και 10G-EPON)

Για το 1 Gbps downstream χρησιμοποιούνται τα 1490 νανόμετρα, για τα 10 Gbps downstream τα 1577 νανόμετρα, ενώ για το 1 Gbps upstream τα 1310 νανόμετρα και για τα 10 Gbps 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.

Η προτυποποίηση της τεχνολογίας 10G-EPON βρίσκεται περίπου ένα χρόνο μπροστά από αυτή της NG-GPON, αλλά η συνάφεια τη δεύτερης με την τεχνολογία GPON είναι πιθανό να καταστήσει πιο δημοφιλή τη δεύτερη, ειδικά όπου έχει ήδη εφαρμοστεί η GPON τεχνολογία.

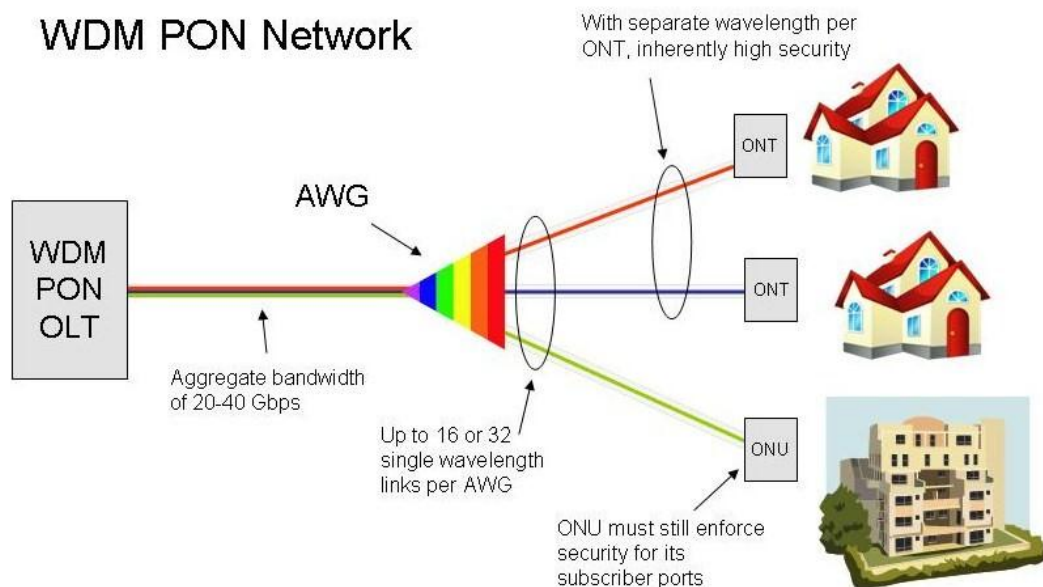
2.5.1.4 WDM-PON

Η τρίτη και τελευταία οικογένεια Παθητικών οπτικών Δικτύων Πρόσβασης είναι τα WDM-PON (Wavelength Division Multiplex) δίκτυα, τα οποία δεν έχουν ακόμα βρει εμπορική εφαρμογή, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους. Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός WDM-PON δικτύου είναι ότι συνδυάζει υψηλό εύρος ζώνης (εφάμιλλο βρισκουμε μόνο στα PtP 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).

Αν και δεν έχει γίνει ακόμα η σχετική προτυποποίηση, αναμένεται να υπάρχει split ratio 1:16 ή 1:32 για 20 ή 40 συμμετρικά Gbps ανά αρχική ίνα. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να προσφερθεί εύρος ζώνης έως και 2,5/2,5 Gbps 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. Για την ακρίβεια ένας τρόπος να

περάσουμε από τα σημερινά δίκτυα τεχνολογίας GPON στα δίκτυα τεχνολογίας WDM-PON είναι το να αντικαταστήσουμε τα παθητικά φίλτρα με AWG, αφού βέβαια αντικαταστήσουμε τα OLT.

Η διάταξη των οπτικών δικτύων πρόσβασης τεχνολογίας WDM-PON απεικονίζεται στο Σχήμα 2.13 .



Σχήμα 2.13 : Διάταξη δικτύου WDM-PON

Για κάθε συνδρομητή χρησιμοποιείται διαφορετικό μήκος κύματος, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά συνδρομητή, μεγαλύτερη ασφάλεια μιας και δε χρησιμοποιείται ίδιο μήκος κύματος (ενώ ενσωματώνεται ασφάλεια και στα ONT και ONU έτσι κι αλλιώς) και καλύτερη διαχείριση , αφού δεν υπάρχει παρεμβολή στο downstream κομμάτι. Από την άλλη πλευρά, το μεγαλύτερο μειονέκτημα ενός WDM-PON δικτύου είναι το ιδιαίτερα αυξημένο κόστος του και (προς το παρόν) η έλλειψη προτυποποίησής του, η οποία όμως αναμένεται σχετικά σύντομα. Το κόστος ανεβαίνει αφενός επειδή κάθε συνδρομητής πρέπει να έχει ξεχωριστό (dedicated) πομποδέκτη στο OLT και αφετέρου επειδή τα AWG είναι εν γένει πιο ακριβά από τα splitter που χρησιμοποιούνται στα GPON και EPON δίκτυα.

2.6 Σύγκριση xPON Τεχνολογιών

Μετά την αναλυτική παρουσίαση της οικογένειας των xPON τεχνολογιών , μπορούμε να τις συγκρίνουμε ως προς τα απαιτούμενα στοιχεία τους. Η σύγκριση αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.5

	GPON	NG-GPON, NG-GPON2	(10G) EPON	WDM-PON
Οπτικός Κατανομητής	X	X	X	X
Οπτικές Ίνες	X	X	X	X
Μεγάλες Τάφροι	Λίγες	Λίγες	Λίγες	Λίγες
Μικρές Τάφροι	Πολλές	Πολλές	Πολλές	Πολλές
ONT	X	X	X	X
Splitter	X	X	X	-
WDM Filter	X	X	X	-
AWG	-	-	-	X
(10G) EPON OLT	-	-	X	-
GPON OLT	X	-	-	-
NG-GPON / NG-GPON2 OLT	-	X	-	-
WDM OLT	-	-	-	X

Πίνακας 2.5 : Απαιτούμενα στοιχεία δικτύου ανά τεχνολογία xPON

2.7 Ισολογισμός Ισχύος (Power Budget) Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

2.7.1 Ισολογισμός Ισχύος

Ο πλέον σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση μιας οπτικής ζεύξης είναι το Bit Error Ratio (BER), το οποίο ισούται με το πηλίκο του αριθμού των bits που λήφθηκαν λανθασμένα (θεωρήθηκαν ως λογικό "0" ενώ είχε σταλεί ως λογικό "1" και το αντίστροφο) προς το συνολικό αριθμό bits που λήφθηκαν. Το BER βελτιώνεται εν μέρει με την ύπαρξη FEC (το οποίο έχει πράγματι υιοθετηθεί σχεδόν στο σύνολο των σημερινών οπτικών δικτύων πρόσβασης), αλλά αυτό αρκεί έως κάποιο όριο.

Το κριτήριο για τη σωστή λήψη πληροφορίας είναι αυτή να φτάνει στο δέκτη με ισχύ μεγαλύτερη (ή ίση) της ευαισθησίας του δέκτη (κατώφλι ισχύος). Για να είμαστε όσο το δυνατόν πιο σίγουροι ότι η ισχύς λήψης δε θα περάσει προς τα κάτω το κατώφλι ισχύος, προσθέτουμε και ένα “Κέρδος Ασφάλειας” (Safety Margin).

Αν λοιπόν θεωρήσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ T_x (την ελάχιστη εγγυημένη) και την ελάχιστη δυνατή ισχύ λήψης R_x η οποία θα είναι το όριο ευαισθησίας του δέκτη μας, προκύπτει ο ισολογισμός της ζεύξης μας LB (Link Budget), οριζόμενος ως :

$$LB = T_x - R_x \quad (2.2)$$

Εάν θεωρήσουμε τις ολικές απώλειες της ζεύξης μας ως TL (Total Loss) και προσθέσουμε και το περιθώριο Ασφαλείας, προκύπτει η σχέση που πρέπει να ικανοποιεί η ζεύξη μας :

$$LB \geq TL + \text{Safety Margin} \quad (2.3)$$

Οι απώλειες προκύπτουν από την εξασθένηση του οπτικού σήματος κατά την κυματοδηγήσή του εντός της οπτικής ίνας, από τον παθητικό εξοπλισμό και από τους συνδετήρες.

Έστω ότι έχουμε μήκους βρόχου D χιλιόμετρα και εξασθένηση του οπτικού σήματος στην οπτική ίνα (η οποία παραμένει σταθερή για συγκεκριμένο μήκος κύματος) FL (Fiber Loss) dB ανά χιλιόμετρο, τότε η ολική εξασθένηση (A_d) λόγω απόστασης θα είναι :

$$A_d = D \cdot FL \quad (2.4)$$

Αντίστοιχα, εάν κάθε συνδετήρας (connector) επιφέρει εξασθένηση CL (Connector Loss) dB και έχουμε N συνδετήρες στη ζεύξη, τότε η ολική εξασθένηση (A_c) που θα προκύψει από αυτούς θα είναι :

$$A_c = N \cdot CL \quad (2.5)$$

Τέλος, τα παθητικά οπτικά στοιχεία επιφέρουν εξασθένηση PEL (Passive Equipment Loss) dB, οπότε τελικά έχουμε :

$$TL = D \cdot FL + N \cdot CL + PEL \quad (2.6)$$

Έτσι υπολογίζουμε πολύ εύκολα την ολική εξασθένηση του οπτικού σήματος στην οπτική ζεύξη και προσθέτοντας σε αυτό το Κέρδος Ασφαλείας, βρίσκουμε το κάτω όριο του LB . Επειδή ο ένας παράγοντας του LB είναι η ευαισθησία του δέκτη, η οποία είναι γνωστή μετά την αγορά αυτού, αυτό που μένει να ρυθμιστεί κατάλληλα μέσω του ισολογισμού ισχύος είναι η Ισχύς Εκπομπής για δεδομένο μήκος ίνας. Υπενθυμίζουμε ότι η ισχύς Εκπομπής δε μπορεί να είναι απεριόριστα μεγάλη, μιας και υπάρχει ένα άνω όριο στην ισχύ που μπορεί να κυματοδηγήσει μία οπτική ίνα. Το όριο αυτό διαφέρει ανάλογα τον τύπο οπτικής ίνας.

2.7.2 Εξασθένιση ανά οπτικό Στοιχείο

Κάθε οπτικό στοιχείο που εισάγεται σε ένα οπτικό δίκτυο επιφέρει εξασθένιση στο οπτικό σήμα πλην του ενισχυτή του οπτικού σήματος. Για να υπολογιστεί σωστά το Power Budget πρέπει να έχουμε μία ρεαλιστική και όσο το δυνατόν πιο ακριβή εκτίμηση της εξασθένισης που επιφέρει κάθε οπτικό στοιχείο.

Για παράδειγμα μία οπτική ίνα που κυματοδηγεί οπτικό σήμα των 1310 νανόμετρων εισάγει εξασθένιση 0,33-0,35 dB ανά χιλιόμετρο κυματοδότησης. Το αντίστοιχο νούμερο για τα 1550 νανόμετρα είναι 0,19-0,20 dB ανά χιλιόμετρο.

Ειδική μνεία πρέπει να γίνει στα splitter, τα οποία επιφέρουν διπλή εξασθένιση στο σήμα. Από τη μία πλευρά υπάρχει η επιθυμητή εξασθένιση του σήματός μας στο μισό (3 dB) σε καθεμία από τις δύο εξόδους του splitter (άλλωστε αυτός ακριβώς είναι ο σκοπός χρήσης του : να χωρίσει το οπτικό σήμα σε δύο ίσα μέρη από άποψη ισχύος). Δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί κάτι καλύτερο από πλευράς εξασθένισης, αφού αν ήταν μικρότερη και στις δύο πλευρές θα παραβιαζόταν η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας. Από την άλλη όμως πλευρά, λόγω της (έστω και παθητικής) επεξεργασίας του οπτικού σήματος στο εσωτερικό του splitter, υπεισέρχεται επιπλέον εξασθένιση 0,5 dB. Οι συνδετήρες (connectors) που αναφέρθηκαν πιο πριν χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση δύο κομματιών ίνας μεταξύ τους.

Επειδή η μέγιστη απόσταση του οπτικού βρόχου καθορίζεται από πριν, οι απώλειες παθητικές στοιχείων είναι γνωστές και προκύπτουν άμεσα από το split ratio και οι απώλειες συνδετήρων είναι επίσης γνωστές, μπορεί να προσδιοριστεί το LB ανά τύπο οπτικού δικτύου πρόσβασης.

Στον Πίνακα 2.6 αναφέρονται τα τυπικά LB κάποιων τύπων οπτικών δικτύων πρόσβασης, όπως αυτά αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία.

Τύπος Δικτύου	LB (Link Budget)
GPON Class A	5-20 dBm
GPON Class B	10-25 dBm
GPON Class C	15-30 dBm
EPON 1000BASE-PX10	5-20 dBm
EPON 1000BASE-PX20	1-25 dBm

Πίνακας 2.6 : Τυπικά LB ανά τύπο οπτικού δικτύου πρόσβασης

Τέλος, αναφέρονται στον Πίνακα 2.7 οι πραγματικές τιμές εξασθένισης του οπτικού σήματος για διάφορα οπτικά στοιχεία.

Οπτικό Στοιχείο	Εξασθένιση
Οπτική Ίνα στα 1310 νανόμετρα	0,33-0,35 dB/km
Οπτική Ίνα στα 1550 νανόμετρα	0,19-0,20 dB/km
Συνδετήρας	0,2 dB
Splitter 1:2	3 dB + 0,5 dB
Splitter 1:64	18 dB + 3 dB

Πίνακας 2.7 : Πραγματικές τιμές εξασθένισης του οπτικού σήματος ανά οπτικό στοιχείο στο εμπόριο

Σημείωση : το splitter 1:64 είναι στην πραγματικότητα 6 συνεχόμενα splitter 1:2 το ένα πίσω από το άλλο .

2.8 Επιχειρηματικά Μοντέλα Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

2.8.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι να επενδύσει κανείς στην κατασκευή ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης. Η προτίμηση ενός μοντέλου έναντι κάποιου άλλου εξαρτάται στην πραγματικότητα από το βαθμό εμπλοκής αυτού κυρίως κατά τη λειτουργία του δικτύου και λιγότερο κατά την κατασκευή του. Πράγματι, όσο μεγαλύτερος ο βαθμός εμπλοκής , τόσο περισσότερο κατασκευαστικό έργο , αλλά αφενός αυτό συμβαίνει εφάπαξ και αφετέρου η διαφορά δεν είναι αποθαρρυντικά μεγάλη. Η ειδοποιός διαφορά εμφανίζεται κατά τη λειτουργία και διαχείριση του δικτύου. Όσο περισσότερο θέλει κανείς να εμπλακεί κανείς , τόσο περισσότερη εμπειρία χρειάζεται και τόσο περισσότερα λειτουργικά και διαχειριστικά θέματα παρουσιάζονται.

Τα 3 επιχειρηματικά μοντέλα είναι τα εξής :

- Retailer
- Capacity Wholesaler
- Dark Fiber Provider

2.8.2 Retailer

Στο μοντέλο του Retailer υπάρχει ο μέγιστος βαθμός εμπλοκής. Ένας και μόνο πάροχος έχει στην ιδιοκτησία του το παθητικό στρώμα υποδομής, το ενεργό δίκτυο και τις υπηρεσίες λιανικής. Το γεγονός αυτό δρα αποθαρρυντικά στον ανταγωνισμό. Εάν κανείς θελήσει να ανταγωνιστεί τον εν λόγω πάροχο ο οποίος θα εφαρμόζει αποκλειστικά το μοντέλο του Retailer (οπότε δε θα ανοίγει το δίκτυό του προς τρίτους) , θα πρέπει σίγουρα να φτιάξει από την αρχή ένα καινούριο οπτικό δίκτυο πρόσβασης με τεράστιο start-up κόστος, ενώ θα πρέπει να εγγράψει συνδρομητές οι οποίοι δεν είχαν προτιμήσει τον προηγούμενο πάροχο (άρα θα πρέπει να διαφοροποιηθεί κατάλληλα) και να αποσπάσει συνδρομητές από αυτόν (σημαντικό ρόλο θα παίζει το customer loyalty προς τον αρχικό πάροχο). Και τα δύο εγχειρήματα μόνο εύκολα δεν είναι.

Η κατάσταση μπορεί εν μέρει να διευκολυνθεί αν ο αρχικός πάροχος ανοίξει σε φυσικό επίπεδο το δίκτυό του, δηλαδή τις τάφρους για τις οπτικές ίνες και πιθανώς τα CO για φυσική (ή και απομακρυσμένη) συνεγκατάσταση εξοπλισμού. Ακόμη όμως και έτσι, ο αρχικός πάροχος έχει εν γένει το πλεονέκτημα λόγω αφενός πρότερης παρουσίας και αφετέρου λόγω εσόδων του από το νέο πάροχο τα οποία μάλιστα ταυτόχρονα είναι έξοδα του δεύτερου (για παράδειγμα η υπενοικίαση των τάφρων).

Η αγορά μας έχει δείξει πως κανένας πάροχος που εφαρμόζει το επιχειρηματικό μοντέλο του Retailer δεν είναι αυτοβούλως διατεθειμένος να ανοίξει το δίκτυό του. Χρειάζονται ισχυρές αποφάσεις της εκάστοτε εγχώριας ρυθμιστικής αρχής (η ΕΕΤΤ για την Ελλάδα) και κάποιες φορές προσφυγές και σε άλλα όργανα (για παράδειγμα Επιτροπή Ανταγωνισμού, Υπουργείο Εμπορίου, Ευρωπαϊκή Ρυθμιστική Αρχή Τηλεπικοινωνιών - BEREC).

Ιδιαίτερα τα πρώην Κρατικά Μονοπώλια (κατά κανόνα οι σημερινοί incumbents) που επί δεκαετίες νέμονταν κατά αποκλειστικότητα το χάλκινο last mile θεωρούν ότι αυτοδικαίως θα έχουν την αποκλειστικότητα και στο οπτικό δίκτυο της χώρας. Η αντίληψη και αντιμετώπιση αυτή μπορεί να φέρει την αγορά των Τηλεπικοινωνιών χρόνια πίσω, όταν και οι καταναλωτές ήταν αντιμετώπι με μονοπωλιακές πρακτικές.

Είναι καθήκον της εκάστοτε Ρυθμιστικής Αρχής να μην επιτρέψει κάτι τέτοιο, ενώ στην πράξη έχουμε δει πως τις καλύτερες πιθανότητες για αυξημένο ανταγωνισμό έχει ένα ουδέτερο και ανοιχτό προς όλους οπτικό δίκτυο κρατικής ιδιοκτησίας μη εμπορικού παρόχου (ώστε ο πάροχος να μην είναι ταυτόχρονα και ιδιοκτήτης).

2.8.3 Capacity Wholesaler

Στο μοντέλο του Capacity Wholesaler ο πάροχος κατέχει τόσο το παθητικό στρώμα υποδομής όσο και το ενεργό δίκτυο, αλλά τις υπηρεσίες τις παρέχουν άλλοι πάροχοι οι οποίοι πληρώνουν τον κάτοχο μηνιαίο μίσθωμα για τη χρήση του δικτύου του. Θα πρέπει φυσικά να υπάρχει διασύνδεση μεταξύ του εν λόγω παρόχου και των υπόλοιπων παρόχων. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σημείο φυσικής σύνδεσης είτε στο MPOP (Metropolitan Point of Presence) είτε, συχνότερα, κάπου πιο “πίσω” στο δίκτυο του παρόχου, στο backbone κομμάτι του.

Με αυτή την επιλογή ο πάροχος-ιδιοκτήτης αναλαμβάνει τη λειτουργία του δικτύου μέχρι κάποιου σημείου (αυτού της διασύνδεσης), ενώ αν παρέχεται και τηλεφωνία (συνήθως παρέχεται), θα πρέπει να υπάρχει και ένα σημείο ανταλλαγής τηλεφωνικής κίνησης. Δεν είναι εφικτή περαιτέρω υπηρεσιών περιεχομένου, όπως IPTV Video on Demand και αυτό αποτελεί ένα μεγάλο μειονέκτημα του εν λόγω μοντέλου, το οποίο αποτελεί κατά κάποιον τρόπο μια “Σολομώντεια Λύση” ανάμεσα στα δύο άλλα επιχειρηματικά μοντέλα.

Αναφέρθηκε πως εν γένει προτιμάται το σημείο διασύνδεσης να βρίσκεται στο δίκτυο πυρήνα ώστε ο πάροχος που προσφέρει τις υπηρεσίες αυτές καθαυτές να μη χρειαστεί να φτάσει το δίκτυό του μέχρι τα MPOP του παρόχου-ιδιοκτήτη. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, ο πάροχος θα βρίσκεται (κυριολεκτικά) ένα βήμα από το επόμενο επιχειρηματικό μοντέλο, αυτό του Dark Fiber Provider και έτσι θα έχει αυξήσει αρκετά το κόστος χωρίς να καρπωθεί κάποιο ιδιαίτερο όφελος (πλην ίσως του αμεσότερου ελέγχου του δικτύου σε μεγαλύτερο μέρος).

2.8.4 Dark Fiber Provider

Τέλος, υπάρχει το μοντέλο του Dark Fiber Provider, όπου ο πάροχος περιορίζεται μόνο στο παθητικό στρώμα υποδομής και εναπόκειται στους υπόλοιπους παρόχους τόσο η κατασκευή του ενεργού δικτύου, όσο και η παροχή υπηρεσιών. Τα δύο αυτά στρώματα μπορούν είτε να υλοποιούνται από τον ίδιο πάροχο (active sharing) είτε από διαφορετικούς (full separation). Με αυτό το μοντέλο έχουμε πλήρως ανοιχτό δίκτυο και μεγιστοποίηση του ανταγωνισμού. Συνήθως προτιμάται το active sharing, μιας και το full separation είναι αρκετά πολύπλοκο. Και στις δύο περιπτώσεις πάντως, ο εξοπλισμός του παρόχου-ιδιοκτήτη παραμένει ο ίδιος. Το μοντέλο του Passive Operator θυμίζει πολύ την Αδεσμοποίηση Τοπικού Βρόχου (Ilu – local loop unbundling) στις παραδοσιακές xDSL τεχνολογίες. Είναι κοινά αποδεκτό πως το Ilu ευνόησε σε υπερθετικό βαθμό τον ανταγωνισμό και ωφέλησε τα μέγιστα τους καταναλωτές όπου και αν εφαρμόστηκε.

Καταλήγουμε αβίαστα λοιπόν αβίαστα στο συμπέρασμα πως εάν κάτι τέτοιο εφαρμοστεί και στα Οπτικά Δίκτυα πρόσβασης, θα έχουμε αντίστοιχα αποτελέσματα. Αν μάλιστα ιδιοκτήτης αποτελέσει κάποιος ουδέτερος οργανισμός (για παράδειγμα το Κράτος, ένας Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης ή ακόμα και ένας Πάροχος

Ενέργειας χωρίς περαιτέρω εμπορικές τηλεπικοινωνιακές λειτουργίες), τότε όλοι οι πάροχοι θα έχουν επί της αρχής ισότιμη θέση στον ανταγωνισμό.

Αξίζει να σημειωθεί πως το μοντέλο του Dark Fiber Provider δε μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε από τους τύπους των PON δικτύων. Για αυτό ακριβώς το λόγο προτιμώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα Πρώην Κρατικά Μονοπώλια, ώστε εκ των υστέρων να είναι αδύνατη η επικράτηση πλήρους ανταγωνισμού προς όφελος της διατήρησης της δεσπόζουσας θέσης αυτών στην αγορά Τηλεπικοινωνιών. Τέλος, ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στο ότι εφόσον ο κάθε πάροχος θα εγκαταστήσει το δικό του εξοπλισμό εντός του CO (φυσική συνεγκατάσταση) του παρόχου-ιδιοκτήτη, θα πρέπει (πέραν των στάνταρ ασφαλείας που επιβάλλονται από την κείμενη τεχνική νομοθεσία) να υπάρχει και ο κατάλληλος χώρος. Αν υπάρξουν πολλοί πάροχοι που θα θελήσουν να δραστηριοποιηθούν σε συγκεκριμένα CO (κατά κανόνα σε αυτά με την πυκνότερη δόμηση), τότε ίσως να μη χωρέσουν όλοι. Η λύση σε αυτή είναι είτε η επέκταση του CO (λύση δύσκολη και σπάνια λόγω του κορεσμού ,κατά κανόνα, του κτιρίου σε σχέση με το συντελεστή δόμησης) είτε η απομακρυσμένη συνεγκατάσταση (εκτός του CO) . Η δεύτερη λύση έχει εμφανιστεί αρκετά συχνά στις xDSL τεχνολογίες κατά την εφαρμογή του IIu.

2.8.5 Εξοπλισμός ανά Επιχειρηματικό Μοντέλο

Ανάλογα με το εφαρμοζόμενο επιχειρηματικό μοντέλο, χρειάζονται και εν γένει διαφορετικά στοιχεία εξοπλισμού. Πέραν του δικτύου πρόσβασης, υπάρχουν και άλλα στοιχεία του δικτύου που ενδέχεται να χρειάζονται να κατασκευαστούν. Η ανάγκη αυτή διαφοροποιείται ανά επιχειρηματικό μοντέλο. Στον Πίνακα 2.8 παρουσιάζεται η εν λόγω διαφοροποίηση.

	Retailer	Capacity Wholesaler 1	Capacity Wholesaler 2	Dark Fiber Provider
Access Network	X	X	X	X
Metro Network	X	X	-	-
BBRAS	-	X	-	-
IX-points	X	-	-	-
Διεθνή Link	X	-	-	-
Backhaul Network	X	X	-	-
Σημείο Διασύνδεσης	-	X	X	-

Πίνακας 2.8: Εξοπλισμός δικτύου ανά επιχειρηματικό μοντέλο

Όπου Capacity Wholesaler 1 είναι το επιχειρηματικό μοντέλο με τον πάροχο-ιδιοκτήτη να φτάνει μέχρι το δίκτυο πυρήνα ,ενώ το Capacity Wholesaler 2 αντιστοιχεί στο να φτάνει ο πάροχος-ιδιοκτήτης μέχρι το MPOp .Όπου Metro Network είναι το City Backhaul Network και όπου Backhaul Network το Regional Backhaul Network.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Dark Fiber Provider χρειάζεται να αναπτύξει δίκτυο “πίσω” από το MPOp όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.8 (δε χρειάζεται παρά να κατασκευάσει μόνο το οπτικό δίκτυο πρόσβασης αυτό καθαυτό)

Οποιοδήποτε επιχειρηματικό μοντέλο και αν επιλέξουμε, χρειάζεται προφανώς να κατασκευάσουμε δίκτυο πρόσβασης. Βέβαια , ανάλογα το τί επιλογή επιχειρηματικού μοντέλου θα κάνουμε , εν γένει , διαφοροποιεί τα επιμέρους στοιχεία του δικτύου. Αναλυτική περιγραφή αυτών ακολουθεί στο Κεφάλαιο 3.

Το Metro(politan) Network είναι το Μητροπολιτικό Δίκτυο ενός παρόχου. Ο BBRAS (BroadBand Remote Access Server) συναντάται στις xDSL τεχνολογίες και αναφέρεται ως οπτικός BBRAS. Χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση πολλών APYΣ (Ασύμμετρου Ρυθμού Σύνδεση) σε έναν απομακρυσμένο server κατά την παροχή bistream από εναλλακτικούς παρόχους.

Τα IX-Points είναι Internet Exchange Points ,σημεία δηλαδή όπου ανταλλάσσεται διαδικτυακή κίνηση μεταξύ παρόχων .Τα Διεθνή Link είναι οπτικές ζεύξεις παρόχων προς το εξωτερικό ώστε το δίκτυό τους να ”βλέπει” όλο το Διαδίκτυο. Παρά την ύπαρξη Διεθνών Link , είναι απαραίτητα και τα IX-Points ώστε ο ένας πάροχος να

επικοινωνεί το δίκτυο του άλλου απευθείας και χωρίς να χρειάζεται να βγει εκτός χώρας και να ξαναγυρίσει για να μπει στο δίκτυο του άλλου παρόχου.

Το Backhaul Network αναφέρεται στο δίκτυο μεταφοράς (transport network), ενώ τα σημεία διασύνδεσης είναι τα σημεία φυσικής σύνδεσης που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Ανάλογα λοιπόν με το επιχειρηματικό μοντέλο που θα ακολουθηθεί, θα υπάρξουν και διαφορετικά κόστη. Αυτό ακριβώς θα αναλυθεί παρακάτω στην παρούσα διπλωματική εργασία.

2.9 Μελλοντική Εξέλιξη FTTH Δικτύων

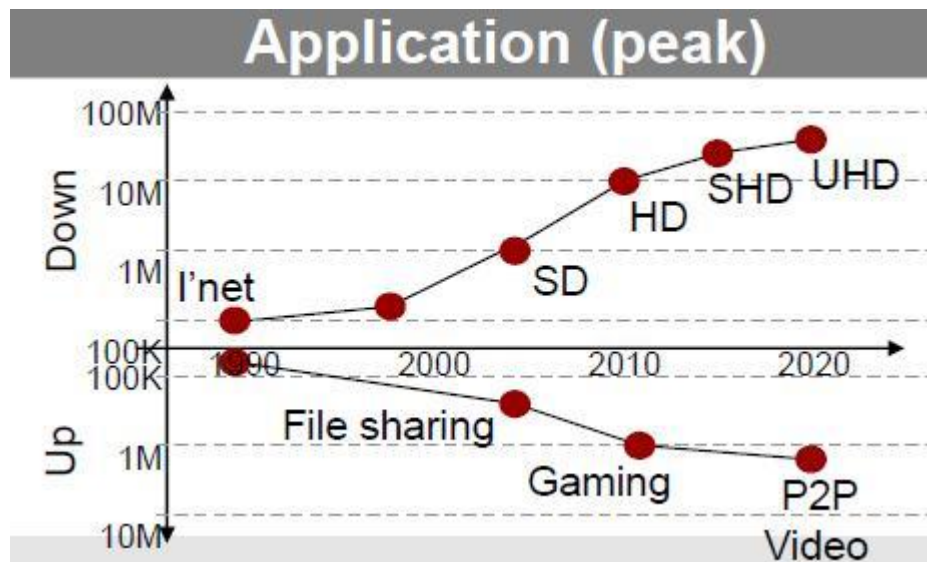
Κανείς δε μπορεί να είναι σίγουρος για το μέλλον, ειδικά στο χώρο των Τηλεπικοινωνιών (και εν γένει της Τεχνολογίας). Ωστόσο, μπορούν να αποτυπωθούν κάποιες τάσεις (trends), οι οποίες είναι εύλογο να θεωρηθούν οι επικρατέστερες ως προς την υλοποίηση σε ευρεία κλίμακα μελλοντικά.

Υπάρχουν λοιπόν δύο τάσεις που είναι κοινά αποδεκτό πως κυριαρχούν σήμερα ως προς τη μελλοντική εφαρμογή τους:

- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης προς τους συνδρομητές. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, μέσα σε λίγα χρόνια το εύρος ζώνης των οικιακών τηλεπικοινωνιακών συνδρομητών έχει αυξηθεί κατά ~173.000 φορές. Κάτι τέτοιο είναι μάλλον απίθανο να συμβεί σε τόσο μεγάλο βαθμό στα επόμενα χρόνια, αλλά είναι απολύτως σίγουρο ότι το προσφερόμενο εύρος ζώνης θα αυξηθεί. Ήδη με το GPON έχουμε φτάσει τα 2,5 Gbps και με το NG-GPON θα φτάσουμε τα 10 Gbps, πράγμα το οποίο αποτελεί και τον επόμενο στόχο. Μελλοντικά με το NG-GPON2 αναμένεται να φτάσουμε τα 40 Gbps, όση η χωρητικότητα ενός κυκλώματος STM-256 στο δίκτυο κορμού ενός παρόχου σήμερα. Το κόστος των οπτικών στοιχείων που χρειάζονται για την επίτευξη τέτοιων επιδόσεων μειώνεται συνεχώς και μάλιστα δραστικά. Το γεγονός αυτό μας κάνει να αισιοδοξούμε πως σύντομα θα πραγματοποιηθούν άλματα στην παροχή υψηλότερου εύρους ζώνης ανά συνδρομητή και μάλιστα με χαμηλότερο κόστος, πιθανώς.
- Εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα του WDM. Το WDM-PON θεωρείται αρκετά future-proof λύση. Μάλιστα, αν εφαρμοστεί πυκνό WDM (Dense WDM - DWDM), το εύρος ζώνης ανά συνδρομητή θα αυξηθεί κι άλλο. Για να αλλάξουν τα σημερινά PON δίκτυα σε WDM-PON πρέπει τα splitter να αντικατασταθούν με AWG. Με αυτό τον τρόπο θα αυξηθεί και η ισχύς που φτάνει στο δέκτη, αφού το AWG δε μοιράζει την ισχύ ενός μήκους κύματος. Αν εφαρμοστεί συνδυασμός WDM-TDM PON, τότε ένα μήκος κύματος θα μοιράζεται σε διαφορετικούς χρήστες σε διαφορετικές χρονοθυρίδες, αυξάνοντας κι

άλλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ένα εξίσου ενδιαφέρον ζήτημα είναι η δυναμική εκχώρηση μηκών κύματος στο WDM-PON. Αυτό θα μπορεί να γίνεται τόσο στο upstream, όσο και στο downstream κομμάτι. Σε αυτό το σημείο οφείλουμε να τονίσουμε πως εάν τελικά προχωρήσουμε σε κατασκευή Active Fiber δικτύων όπου TDM αντικατασταθεί με WDM (ή και με DWDM), θα αποκτήσουμε ουσιαστικά τις σημερινές ζεύξεις υπερυψηλής χωρητικότητας κορμού σε οικιακή σύνδεση. Σαφώς και κάτι τέτοιο μοιάζει σήμερα αδύνατο λόγω απαγορευτικού κόστους, αλλά εξίσου αδύνατο φαινόταν πριν μόλις ~20 χρόνια να αποκτήσει κανείς μία οικιακή σύνδεση αρκετών Mbps με ένα μονοψήφιο ποσοστό του μισθού του μηνιαίως.

Το μέλλον λοιπόν των FTTH δικτύων περιέχει πληθώρα προκλήσεων στα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 2.14 : Εξέλιξη απαιτούμενου εύρους ζώνης διαχρονικά

Στόχος φαίνεται να είναι η παροχή μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε περισσότερους συνδρομητές, δυναμικά, από μεγαλύτερη απόσταση και με ευελιξία. Οι απαιτήσεις εύρους ζώνης από τις εφαρμογές αυξάνονται συνεχώς, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.14.

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση Εσόδων και Εξόδων

3.1 Εισαγωγή

Η μοντελοποίηση κατασκευής και λειτουργίας ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο έργο, εφόσον αυτό απαιτεί τη μεγαλύτερη δυνατόν προσέγγιση της πραγματικότητας. Η έλλειψη μεγάλης σχετικής διεθνούς δραστηριότητας (ελάχιστες χώρες έχουν δίκτυο FTTH έτσι κι αλλιώς, ενώ και όσες έχουν ,δεν το έχουν αναπτύξει παρά σε λίγες ή και ελάχιστες περιοχές σε σχέση με το σύνολο της χώρας) κάνει πιο δύσκολη την αξιολόγηση των διάφορων case studies . Πολλοί συντελεστές μπορούν να θεωρηθούν “επίπεδοι” (“flat”) και να μη ληφθούν υπόψη . Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αστοχίες. Η όσο το δυνατόν λεπτομερής περιγραφή όσο το δυνατόν περισσότερων παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα.

Τα δύο βασικά σκέλη ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι τα έσοδα και τα αντίστοιχα έξοδα. Είναι χαρακτηριστικό (και εν μέρει παράδοξο) ότι αν και τα οπτικά δίκτυα τεχνολογίας αποτελούν state of the art τεχνολογία , εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από έργα χαμηλής τεχνολογίας (για παράδειγμα τη διάνοιξη τάφρων) , τα οποία εκτιμάται ότι διαμορφώνουν περίπου τα $\frac{3}{4}$ του ολικού κόστους κατασκευής.

Κατά κανόνα αποτελεί βασικό στόχο τα έσοδα να υπερβαίνουν τα έξοδα σε κάποια μορφή (υπεισέρχονται παράγοντες όπως αποσβέσεις, φόροι, τόκοι , πληθωρισμός κτλ). Εάν λοιπόν αναλυθούν με αποτελεσματικό τρόπο τόσο τα έξοδα όσο και τα έσοδα, μπορούμε να συμπεράνουμε εάν και κατά πόσο αξίζει (οικονομικά) η κατασκευή ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης. Το σαφές πρόβλημα είναι ότι ενώ τα έξοδα είναι εν γένει αναμενόμενα και προβλέψιμα (αν και αυτό δεν είναι απόλυτο, αν για παράδειγμα τα τέλη διέλευσης δεν καθορίζονται διά νόμου, τότε μπορούν να αλλάζουν ανάλογα , το εργατικό κόστος διαμορφώνεται διαφορετικά από χρόνο σε χρόνο, όπως και το κόστος του απαιτούμενου οπτικού εξοπλισμού) , τα έσοδα είναι σίγουρα αδύνατο να προσδιοριστούν με ακρίβεια, μιας και ο καθοριστικός παράγοντας του ύψους τους είναι το ύψος της η συνδρομητικής βάσης (και όχι το μέσο έσοδο ανά χρήστη όπως σε άλλες αγορές). Δε μπορεί να γίνει καμία ασφαλής πρόβλεψη για αυτή, παρά μόνο να υποθεθούν διάφορα σενάρια: το ποιο από όλα θα έχει κάνει την ακριβέστερη προσέγγιση δε θα φανεί παρά μόνο στην πράξη.

Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι το μεγαλύτερο κόστος, αυτό της διάνοιξης τάφρων είναι στην πραγματικότητα αποκλειστική συνάρτηση των εργατοωρών που θα διατεθούν για αυτή, οπότε μπορεί να γίνει απευθείας αναγωγή αυτής σε εργατοώρες. Επιπλέον, είναι παράδοξη η διαφορά ανάμεσα σε ένα FTTH και ένα FTTB δίκτυο. Ενώ θα έχουν διανυθεί χιλιόμετρα στον ακριβώς ίδιο χρόνο και για τα δύο δίκτυα (μιας και έχουν ταυτόσημη Αρχιτεκτονική εκτός του κτιρίου του συνδρομητή), αυτά τα λίγα μέτρα από την είσοδο του κτιρίου μέχρι το χώρο του συνδρομητή μπορεί να χρειαστούν βδομάδες για να διανυθούν μιας και εγείρονται ζητήματα συμφωνίας των ενοίκων για εργασίες εντός του κτιρίου και αν δεν

καθίσταται κάτι τέτοιο υποχρεωτικό διά νόμου (ή να απαγορεύεται η διακοπή των εργασιών), είναι σίγουρο ότι θα υπάρξει πληθώρα ενστάσεων, καθυστερώντας σημαντικά την ολοκλήρωση του έργου και εν τέλει την ενεργοποίηση των συνδρομητών. Για αυτό ακριβώς το λόγο σε αρκετές περιπτώσεις προτιμάται η κατασκευή FTTB δικτύου έναντι του FTTH.

3.2 Έξοδα Κατασκευής

3.2.1 Εισαγωγή

Ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από πληθώρα επιμέρους στοιχείων ενεργητικού. Κάθε στοιχείο έχει διαφορετικό κόστος και διαφορετική διάρκεια ζωής. Μετά το πέρας της διάρκειας ζωής του πρέπει να αντικατασταθεί ή να επανακατασκευαστεί σε τόσο μεγάλο βαθμό που θεωρούμε ότι έχει επίσης αντικατασταθεί. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή πλέον είναι μη λειτουργικό είτε γιατί οι ανάγκες της αγοράς έχουν αλλάξει τόσο που έχει απαξιωθεί τεχνολογικά. Στη δεύτερη περίπτωση, θα μπορούσε πιθανώς το στοιχείο αυτό να πωληθεί (ως μεταχειρισμένο).

Προκύπτουν λοιπόν μεγάλες ανισότητες στη διάρκεια ζωής κάθε στοιχείου. Για παράδειγμα μια τάφρος έχει αναμενόμενη διάρκεια ζωής περίπου 40 χρόνια, ενώ ένα CPE περίπου χρόνια. Οπότε, εάν θελήσουμε να υπολογίσουμε τη συμμετοχή κάθε οικονομικού στοιχείου στην κατασκευή ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης, δεν αρκεί να τα προσθέσουμε αδιακρίτως. Στην προαναφερθείσα περίπτωση, για παράδειγμα, στη διάρκεια ζωής της τάφρου αντιστοιχούν 8 CPE, οπότε θα ήταν σκόπιμο να προσθέσουμε το κόστος των 8 CPE σε αυτό της τάφρου στην προσπάθειά μας να υπολογίσουμε το ολικό κόστος.

Για να αποφύγουμε αυτούς ακριβώς τους αριθμητικούς ακροβατισμούς καταφεύγουμε σε ετησιοποιημένα μεγέθη. Το ετησιοποιημένο κόστος, έστω Y , υπολογίζεται διαιρώντας το απόλυτο κόστος του στοιχείου, έστω C , με τη διάρκεια ζωής του σε έτη, έστω L :

$$Y = \frac{C}{L}$$

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε την ετησιοποιημένη συμμετοχή του κόστους του επιμέρους στοιχείου στο συνολικό ετησιοποιημένο κόστος. Εξ ορισμού, αν κάποιο στοιχείο έχει διάρκεια ζωής 1 έτους, το ολικό κόστος του ταυτίζεται με το ετησιοποιημένο.

Στη συνέχεια αναλύουμε τα έξοδα κατασκευής ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης. Αρχικά αναφέρονται όσα είναι κοινά ανεξαρτήτως Αρχιτεκτονικής, Τοπολογίας, Τεχνολογίας και Επιχειρηματικού Μοντέλου και στη συνέχεια η ανάλυση διαφοροποιείται κατάλληλα.

3.2.2 Δικαιώματα Διέλευσης

Πριν ακόμα ξεκινήσουν τα έργα εκσκαφής , θα πρέπει να έχει εξασφαλιστεί η σχετική άδεια, συνήθως από τον αντίστοιχο Οργανισμό Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ). Αυτό από μόνο του ενέχει μεγάλο κίνδυνο καθυστερήσεων , κυρίως λόγω γραφειοκρατικών προβλημάτων. Μόνο αν υπάρχει ξεκάθαρο νομικό πλαίσιο που να υποχρεώνει τον ΟΤΑ να εκδίδει τη σχετική άδεια εκσκαφής μετά από αίτημα του παρόχου , μπορεί να υπάρξει ένα σαφές χρονοδιάγραμμα έκδοσής της. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να ορίζεται και το αντίστοιχο τίμημα εφάπαξ , με τη μορφή ετήσιου μισθώματος ή με συνδυασμό των δύο, καθώς αν απλά ορίζεται η υποχρεωτική παραχώρηση δικαιωμάτων διέλευσης από τον ΟΤΑ, χωρίς όμως να διευκρινίζεται το ύψος του κόστους αυτών, ο ΟΤΑ μπορεί να προβάλει παράλογες απαιτήσεις.

Αν και στην πράξη τα Δικαιώματα Διέλευσης δεν έχουν “ημερομηνία λήξης” , θεωρούμε ότι έχουν οικονομική ζωή 50 ετών. Υπάρχει περίπτωση να μην είναι απαραίτητη η καταβολή Δικαιωμάτων Διέλευσης , όταν για παράδειγμα το οπτικό δίκτυο πρόσβασης κατασκευάζεται από τον ίδιο τον ΟΤΑ. Εναλλακτικά, εάν κατασκευάζεται από το Δημόσιο, μπορεί με νομοθετική πράξη να απαλλαγεί από την καταβολή Δικαιωμάτων Διέλευσης.

3.2.3 Feeder Segment

Το πρώτο κομμάτι του οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι το Feeder Segment. Ο εξοπλισμός που βρίσκεται ”πίσω” από τον Οπτικό Κατανεμητή (ODF) εξαρτάται από την τεχνολογία που εφαρμόζεται. Το πρώτο λοιπόν στοιχείο είναι technology specific element. Έχει διάρκεια ζωής συνήθως 15 έτη και το ολικό του κόστος εξαρτάται από το πλήθος των συνδρομητών. Το εάν θα τοποθετηθεί από τον πάροχο-ιδιοκτήτη του δικτύου ή όχι εξαρτάται από τον επιχειρηματικό μοντέλο που ακολουθείται : στην περίπτωση του Dark Fiber Provider τοποθετείται από τον έτερο πάροχο, αλλιώς από τον πάροχο-ιδιοκτήτη. Για αυτήν ακριβώς την ιδιομορφία θα ακολουθήσει σχετική ανάλυση παρακάτω.

Στη συνέχεια συναντάμε τον Οπτικό Κατανεμητή. Έχει μέγεθος μερικές δεκάδες θύρες (τυπικές τιμές : 12,24,36,48,72 και 96 θύρες) , ενώ συνήθως υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης του μεγέθους του με συμπληρωματικές κάρτες μερικών (4,8,16 ή 24 τυπικά) θυρών. Για να υπολογίσουμε πόσους οπτικούς κατανεμητές χρειαζόμαστε, αρκεί να διαιρέσουμε το πλήθος των συνδρομητών με το μέγεθος του οπτικού κατανεμητή που χρησιμοποιείται (χρησιμοποιούμε το άνω άκραιο μέρος του πηλίκου). Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του είναι 15 έτη.

Ο Οπτικός Κατανεμητής βρίσκεται εντός του CO, το οποίο φυσικά απαιτεί κάποια έξοδα ετησίως. Συγκεκριμένα, υπολογίζουμε το ετήσιο μισθωτήριο , προσθέτοντας τα ετήσια λειτουργικά έξοδα του κτιρίου αυτού καθαυτού (παροχή ηλεκτρικής

ενέργειας, θέρμανση κτλ). Για να υπολογίσουμε τα εν λόγω συνολικά ετησιοποιημένα έξοδα, αρκεί να αθροίσουμε τα επιμέρους έξοδα κάθε CO.

Θα περίμενε κανείς, βάσει αυτού του σκεπτικού, να είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν ελάττωση του αριθμού των CO. Αυτό στην πράξη δε συμβαίνει, γιατί η ύπαρξη περισσότερων και αποκεντρωμένων CO μειώνει τον όγκο των απαιτούμενων οπτικών ινών και κυρίως των έργων εκσκαφής.

Βγαίνοντας έξω από το CO, το υπόλοιπο κομμάτι αποτελείται από τις οπτικές ίνες οι οποίες έχουν εγκατασταθεί. Αρχικά προηγείται ένα splice για κάθε οπτική ίνα και στη συνέχεια οι οπτικές ίνες αυτές καθαυτές.

Για αυτή την εγκατάσταση των οπτικών ινών εξετάζουμε μόνο την περίπτωση υπόγειου δικτύου, μιας και το εναέριο δίκτυο (χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην Ιαπωνία), έχει μεν πολύ χαμηλότερο κόστος, αλλά αφενός επιφέρει ιδιαίτερη οπτική όχληση και αφετέρου είναι πιο ευπαθές από το αντίστοιχο υπόγειο. Για την υπόγεια λοιπόν εγκατάσταση οπτικών ινών απαιτούνται:

- διάνοιξη τάφρων (και αποκατάσταση στο τέλος)
- εγκατάσταση σωληνώσεων εντός των τάφρων
- εγκατάσταση μικροσωληνώσεων εντός των σωληνώσεων για την υποδοχή των οπτικών ινών και τέλος
- οι οπτικές ίνες αυτές καθαυτές

Το μέγεθος των τάφρων και των σωληνώσεων διαφέρει ανάλογα το πλήθος των οπτικών ινών που ενδιαφερόμαστε να εγκαταστήσουμε. Έτσι, αν έχουμε PtP τοπολογία αναμένεται στο feeder segment να έχουμε μεγάλες τάφρους (χωρητικότητας 48,72,96,120 ή και 192 οπτικών ινών) και σωληνώσεις, ενώ σε PtMP τοπολογία θα έχουμε μικρότερες (χωρητικότητας συνήθως 2 ινών). Οι τάφροι και οι σωληνώσεις έχουν αναμενόμενη διάρκεια ζωής 40 έτη, ενώ οι μικροσωληνώσεις και οι οπτικές ίνες περίπου 20 έτη. Είναι συνετό εν γένει να γίνονται πιο εκτεταμένα έργα εκσκαφής από όσα υπαγορεύουν οι παρούσες ανάγκες ώστε να είναι εφικτή η δυνατότητα αναβάθμισης μελλοντικά, μιας και αν υπάρχουν οι τάφροι και οι σωληνώσεις με άδειες μικροσωληνώσεις, μπορούν εκ των υστέρων να περαστούν επιπλέον οπτικές ίνες είτε για τον πάροχο είτε για κάποιον τρίτο πάροχο έναντι μισθώματος.

Για την εύρεση του συνολικού όγκου των έργων εκσκαφής απαιτείται ο υπολογισμός της μέσης απόστασης του CO από το Distribution Network, απόσταση η οποία ταυτίζεται με το μήκος που εκτείνεται το Feeder Segment. Ο υπολογισμός όμως του κόστους εκσκαφής μόνο εύκολη υπόθεση δεν είναι. Εξαρτάται πέραν του μεγέθους της τάφρου και από τον τύπο του εδάφους. Συνήθως γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα σε 4 τύπου εδάφους :

- Downtown, δηλαδή το κέντρο μεγάλων πόλεων σε πλήρως αστικό περιβάλλον χωρίς σχεδόν καθόλου (ή και καθόλου) χώμα και γη
- Urban, δηλαδή το κέντρο μικρότερων πόλεων και κωμοπόλεων, αλλά και περιοχές κοντά στο κέντρο μεγάλων πόλεων
- Suburban, δηλαδή προάστια πόλεων
- Rural , δηλαδή αγροτική, η οποία συναντάται σε χωριά και στην ύπαιθρο

Η διεθνής πρακτική είναι να γίνεται αποδοχή μίας τιμής ανά μέτρο για καθέναν από τους 4 τύπους εδάφους και να χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των εξόδων. Αυτή η τεχνική πράγματι δίνει μία προσέγγιση του πραγματικού κόστους, αλλά παρουσιάζει και αποκλίσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως κάποιου τύπου δεν είναι ίδιες μεταξύ τους. Επειδή το κόστος εκσκαφής χώματος σε σχέση με την εκσκαφή ασφάλτου παρουσιάζει τεράστια διαφορά, μικρές διαφοροποιήσεις του εδάφους μιας περιοχής μπορούν να προκαλέσουν σαφείς αστοχίες στον υπολογισμό μας.

Μπορούμε να κάνουμε μία καλύτερη προσέγγιση. Συγκεκριμένα, με βάση τη διεθνή πρακτική και εμπειρία να υπολογίσουμε το μοναδιαίο κόστος για κάθε είδος εδάφους ανά τύπο εδάφους. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε 6 είδη εδάφους , συγκεκριμένα :

- Γη
- Μεγάλες Πέτρες
- Άσφαλτος
- Τούνελ (κάτω από δρόμους)
- Μικρές πέτρες
- Χώμα

Στη σελίδα 164 της διδακτορικής διατριβής Kongens Lyngby 2007, IMM-PHD-2007-186, συναντάμε τον εξής Πίνακα που περιγράφει το είδος εδάφους ανά τύπο εδάφους στο μήκος εκσκαφής σε περίπτωση κατασκευής δικτύου FTTH στη Δανία :

	Downtown	Urban	Suburban	Rural
Γη	4%	37%	79%	73%
Μεγάλες Πέτρες	33%	30%	2%	0%
Άσφαλτος	20%	14%	4%	3%
Τούνελ	17%	12%	3%	2%
Μικρές Πέτρες	26%	5%	0%	0%
Χώμα	0%	2%	11%	21%

Πίνακας 3.1 : Είδος εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία

Επίσης, παρατίθεται και ο πίνακας κόστους (τα ποσά είναι σε ευρώ, αλλά αυτό δεν έχει καμία σημασία όπως θα φανεί και παρακάτω στην ανάλυσή μας) ανά είδος εδάφους σε κάθε περίπτωση τύπου εδάφους στη συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευής δικτύου FTTH στη Δανία :

	Downtown	Urban	Suburban	Rural
Γη	362	3798	8100	7498
Μεγάλες πέτρες	8541	7671	586	17
Άσφαλτος	9696	6692	1863	1553
Τούνελ	8828	6213	1487	1007
Μικρές Πέτρες	6857	1352	117	17
Χώμα	-	73	375	708
Σύνολο	34284	25798	12527	10799

Πίνακας 3.2 : Κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία

Φυσικά, επειδή τα απόλυτα μεγέθη διαφοροποιούνται τόσο από χώρα σε χώρα όσο και από έτος σε έτος , δεν έχει νόημα να υπολογίσουμε απόλυτα κόστη. Αν όμως

υπολογίσουμε το μοναδιαίο κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους και στη συνέχεια το κανονικοποιήσουμε εντός αυτού του τύπου εδάφους, μπορούμε να βρούμε πόσο ακριβότερη ή φθηνότερη είναι η σχετική εκσκαφή.

Πρώτα λοιπόν υπολογίζουμε το μοναδιαίο κόστος , διαιρώντας το απόλυτο κόστος κάθε είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους με το ποσοστό που του αναλογεί :

	Downtown	Urban	Suburban	Rural
Γη	90,5	102,6	102,5	102,7
Μεγάλες Πέτρες	258,8	255,7	293	-
Άσφαλτος	484,8	478	465,8	517,7
Τούνελ	519,3	517,8	495,7	503,5
Μικρές Πέτρες	263,7	270,4	-	-
Χώμα	-	36,5	34	33,7

Πίνακας 3.3 : Μοναδιαίο κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία

Αν λοιπόν κανονικοποιήσουμε ως προς το κόστος της Γης, προκύπτει ο Πίνακας 3.4 ανά είδος εδάφους .

	Downtown	Urban	Suburban	Rural
Γη	100	100	100	100
Μεγάλες Πέτρες	286	249	286	-
Άσφαλτος	536	466	454	504
Τούνελ	574	505	484	490
Μικρές Πέτρες	291	264	-	-
Χώμα	-	36	33	33

Πίνακας 3.4 : Κανονικοποιημένο μοναδιαίο κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία

Παρατηρούμε ότι το κανονικοποιημένο μοναδιαίο κόστος ανά είδος εδάφους σε συγκεκριμένο τύπο εδάφους μπορεί να 15πλασιαστεί από είδος σε είδος. Οπότε, αν απλά επιμείνουμε στην περιγραφή του τύπου εδάφους μέσω την τοποθέτησής του σε ένα από τους 4 τύπους, μπορεί να προκύψουν σημαντικά σφάλματα.

Αντίθετα, με τη βοήθεια του είδους εδάφους στο μήκος εκσκαφής και χρησιμοποιώντας τα κανονικοποιημένα μοναδιαία κόστη του Πίνακα 3.4 , μπορούμε να εξάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Για να υπολογίσουμε το ετησιοποιημένο κόστος εκσκαφής στο feeder segment αρκεί να υπολογίσουμε το απόλυτο κόστος εκσκαφής των τάφρων με βάση τον Πίνακα 3.4 και να διαιρέσουμε διά τη διάρκεια ζωής τους (40 έτη). Σε αυτό πρέπει να προσθέσουμε το ετησιοποιημένο κόστος των σωλήνων , των μικροσωληνώσεων και των οπτικών ινών.

3.2.4 Distribution Network

Το τμήμα του Distribution Network αποτελείται από διαφορετικά τμήματα ανάλογα την τοπολογία του οπτικού δικτύου πρόσβασης. Συγκεκριμένα , αν έχουμε τοπολογία PtP , το Distribution Network περιορίζεται μόνο στο να έχουμε τη μετάβαση από τις μεγάλες τάφρους του feeder segment (όπως περιγράφηκαν πριν) σε μικρότερες (χωρητικότητας 2,4,8,12 ή 24 οπτικών ινών). Σε αυτή την περίπτωση το κόστος του Distribution Network περιορίζεται στο κόστος των συνδετήρων . Το πλήθος τους ταυτίζεται με αυτό των συνδρομητών. Αφού το υπολογίσουμε, μπορούμε να το ετησιοποιήσουμε. Οι συνδετήρες έχουν αναμενόμενη διάρκεια ζωής 10 έτη.

Αντίθετα , σε τοπολογία PtMP, το Distribution Network περιέχει ένα technology specific element (Πίνακας 3.5), κατανομητή και rack. Ειδικά το Active Ethernet Switch είναι ενεργό στοιχείο , οπότε χρειάζεται παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, κατάλληλη ψύξη και εναλλακτική πηγή ηλεκτροδότησης κατά την περίπτωση διακοπής ρεύματος από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.

Τεχνολογία	Network Specific Element	Διάρκεια Ζωής	Λειτουργικά Έξοδα
GPON & EPON	Splitter	15	-
Active Ethernet PtMP	Ethernet Switch	7	X
WDM PON	Arrayed Waveguide (AWG)	7	-

Πίνακας 3.5 : Διάρκεια ζωή Network Specific Element ανά τεχνολογία σε PtMP τοπολογία στο Distribution Network

Για να βρούμε πόσα Splitter , Ethernet Switch ή AWG αρκεί να διαιρέσουμε τον αριθμό συνδρομητών με το Split Ratio στην 1^η και την 3^η περίπτωση ή με το μέγεθος του Ethernet Switch στη δεύτερη. Στη συνέχεια βρίσκουμε το ολικό κόστος αυτών και το ετησιοποιούμε.

Τα προηγούμενα ισχύουν αν θεωρήσουμε Distribution Point (Σημείο Διανομής) και όχι Distribution Network (Δίκτυο Διανομής). Παλαιότερα, πράγματι η Διανομή γινόταν σε ένα σημείο μόνο. Για λόγους όμως ευελιξίας, πλέον προτιμάται η Διανομή να γίνεται σε ένα τμήμα του δικτύου και τμηματικά. Για παράδειγμα αν εφαρμόζεται split ratio 1:32 , μπορούν να τοποθετηθούν splitter 1:2 σε 5 σημεία σε κάποια απόσταση (για παράδειγμα 100 μέτρα) μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο θα έχουμε μια πιο προοδευτική διαίρεση ισχύος και χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης και για παράδειγμα αν κάποιος συνδρομητής χρειάζεται διπλάσιο εύρος ζώνης, μπορεί να χρησιμοποιήσει απευθείας μία οπτική ίνα αμέσως μετά το 4^ο στάδιο.

Εάν όμως χρησιμοποιήσουμε splitters 1:2 σε 5 (για split ratio 1:32) ή 6 (για split ratio 1:64) στάδια, αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός αυτών. Συγκεκριμένα για split ratio 1:N , χρειάζονται (N-1) splitters , δηλαδή 31 και 63 αντίστοιχα. Αυτό προκύπτει αν θεωρήσουμε n στάδια για split ratio 1:N . Σε αυτή την περίπτωση έχουμε άθροισμα όρων γεωμετρικής προόδου με $\alpha_0=1$ και λόγο $\lambda=2$. Το άθροισμα Σ των n πρώτων όρων ως γνωστόν ισούται με

$$\Sigma = \alpha_0 \frac{\lambda^n - 1}{\lambda - 1}$$

Όμως, αν αντικαταστήσουμε και λόγω του ότι $2^n=N$, προκύπτει ότι :

$$\Sigma=1 \frac{2^n-1}{2-1} = \frac{N-1}{1} = (N - 1)$$

Για να αποφύγουμε κάτι τέτοιο, χρησιμοποιούμε συνήθως δύο στάδια splitting. Για split ratio 1:32 για παράδειγμα , συνηθίζεται να τοποθετείται ένα splitter 1:4 κοντά σχετικά στο CO και ένα άλλο 1:8 κοντά σχετικά στους συνδρομητές. Είναι προφανές πως το γινόμενο των δύο επιμέρους split ratio θα πρέπει να ισούται με το ολικό split ratio, ενώ όλα πρέπει να είναι ακέραιες δυνάμεις του 2.

Για τον υπολογισμό του κόστους ακολουθούμε τα ίδια βήματα με το Feeder Segment, αλλά εδώ θα προκύψουν μεγαλύτερες τάφροι σε PtMP τοπολογίες και μικρότερες σε PtP τοπολογίες.

3.2.5 Drop Cable Segment

Στη συνέχεια βρίσκεται το Drop Cable Segment. Δε διαφέρει σε τίποτα από το Feed Segment, πέραν του ότι αλλάζουν τα μεγέθη των τάφρων ανάλογα την τοπολογία.

Συγκεκριμένα, κατά την PtP τοπολογία οι μεγάλες τάφροι του feeder segment γίνονται μικρότερες ώστε οι οπτικές ίνες να φθάσουν έως τους συνδρομητές.

Αντίθετα, στην PtMP τοπολογία οι μικρές τάφροι του feeder segment χωρητικότητας 1 ή 2 οπτικών ινών, ακολουθούνται από μεγαλύτερες τάφρους μιας και από κάθε Splitter εξέρχονται τόσες οπτικές ίνες όσες και το Split Ratio (συνήθως 16 ή 32).

Για τον υπολογισμό είτε της μίας είτε της άλλης περίπτωσης, ακολουθούμε την ίδια τακτική με το Drop Cable Segment: υπολογίζουμε ολικό κόστος διάνοιξης τάφρου με βάση το είδος του εδάφους ανά τύπο εδάφους και ετησιοποιούμε. Στη συνέχεια προσθέτουμε τα ετησιοποιημένα κόστη των σωλήνων, των μικροσωληνώσεων και των οπτικών ινών, οπότε και προκύπτει το ολικό ετησιοποιημένο κόστος του Drop cable Segment.

3.2.6 Lead-in

Το τμήμα του Lead-in περιέχει ένα συνδετήρα, τα τελευταία μέτρα εκσκαφής μέχρι την είσοδο της οπτικής ίνας στο κτίριο του συνδρομητή και το υπόγειο (κατά κανόνα) του κτιρίου.

Το κόστος μέχρι την είσοδο του κτιρίου εξαρτάται από την απόσταση από την ήδη εγκατεστημένη ίνα. Αφού χρησιμοποιηθεί ένας συνδετήρας, η οπτική ίνα φτάνει μέχρι την είσοδο του κτιρίου. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η απόσταση αυτή είναι το μισό του μέσου πλάτος των οδών της περιοχής (μαζί με το πεζοδρόμιο). Αυτό θα ήταν σίγουρα σωστό αν η οπτική ίνα βρισκόταν στη μέση του οδοστρώματος κατά πλάτος. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει λόγω μεγάλης όχλησης του αστικού περιβάλλοντος σε μία τέτοια περίπτωση. Αντίθετα επιλέγεται μία από τις δύο πλευρές, οπότε κάποιοι συνδρομητές θα έχουν υψηλότερο και κάποιοι άλλοι χαμηλότερο κόστος Lead-in. Λόγω όμως της τυχαιότητας της θέσης των συνδρομητών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι περίπου οι μισοί θα βρίσκονται στην πλευρά του δρόμου κοντά στην οπτική ίνα και οι άλλοι μισοί στην απέναντι πλευρά. Με αυτήν παραδοχή, η μέση διαδρομή της οπτικής ίνας πράγματι προκύπτει ως το μισό του μέσου πλάτους των οδών της περιοχής.

Για την είσοδο της οπτικής ίνας απαιτείται ένα φρεάτιο (μπορούμε να θεωρήσουμε σταθερό κόστος), στη συνέχεια ένα σταθερό κόστος μέχρι να φτάσει στο υπόγειο και τέλος το κόστος του υπόγειου καταναμητή.

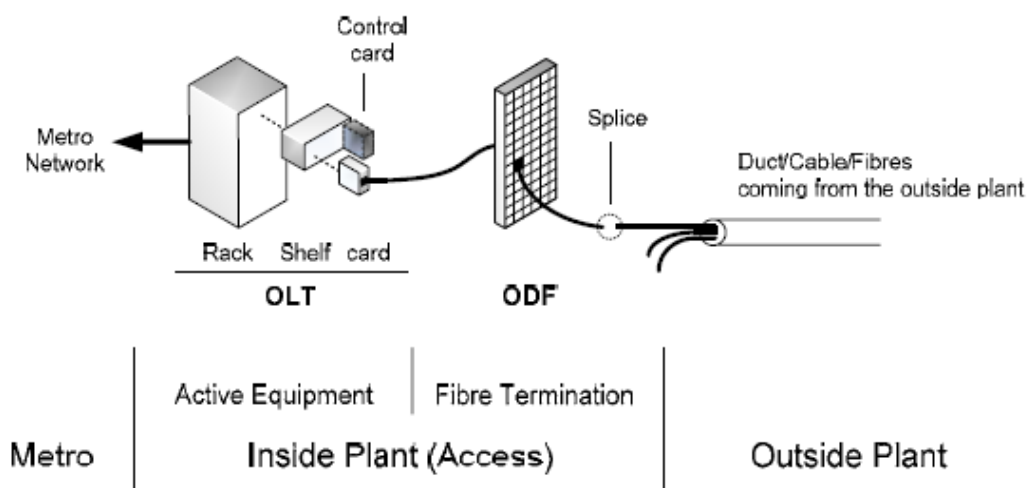
3.2.7 Internal Cabling

Ειδικά για την περίπτωση του FTTH χρειάζονται τα τελευταία μέτρα ίνας από τον υπόγειο καταναμητή μέχρι το διαμέρισμα. Για να υπολογίσουμε το κόστος αυτό, θεωρούμε ένα σταθερό κόστος από το υπόγειο μέχρι το ισόγειο και ένα επιπλέον σταθερό κόστος ανά όροφο που αναρριχάται η ίνα. Θεωρούμε διάρκεια ζωής 20 έτη, οπότε αφού προσθέσουμε το εν λόγω κόστος για κάθε συνδρομητή (οφείλουμε να γνωρίσουμε την απόστασή του από το υπόγειο σε ορόφους), ετησιοποιούμε ανάλογα.

Σε όλα τα παραπάνω μπορούμε να προσθέσουμε το εργατικό κόστος για δίκτυό μας, αν αυτό δεν έχει υπολογιστεί μέσω στα επιμέρους κόστη. Αν γνωρίζουμε τη μέση τιμή ανά μονάδα μήκους του δικτύου μας, μπορούμε να υπολογίσουμε την ολική και να ετησιοποιήσουμε για διάρκεια ζωής 40 έτη.

3.2.8 Στοιχεία δικτύου ανά επιχειρηματικό μοντέλο

Μέχρι στιγμής όσα στοιχεία περιγράψαμε ήταν απαραίτητα ανεξάρτητα του επιχειρηματικού μοντέλου. Όμως, “πίσω” από τον καταναμητή και προχωρώντας προς το δίκτυο κορμού, τα στοιχεία του δικτύου που ανήκουν στον κατασκευαστή πάροχο εξαρτώνται από το επιχειρηματικό μοντέλο που ακολουθείται.



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση του εξοπλισμού εντός του CO

Αρχικά συναντάμε το technology specific element, το οποίο και ουσιαστικά αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα διαφοροποίησης των τεχνολογιών μεταξύ τους. Ο Πίνακας 3.6 αναφέρει τα technology specific element ανά τεχνολογία.

Τεχνολογία	Technology Specific Element
(NG)-GPON	(NG)-GPON OLT
(10G)-EPON	(10G)-EPON OLT
WDM-PON	WDM-PON OLT
Active Ethernet PtP	Active Ethernet PtP OLT
Active Ethernet PtMP	Active Ethernet PtMP OLT

Πίνακας 3.6 : Technology specific element ανά τεχνολογία

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1 , κάθε OLT αποτελείται από ένα Rack, πάνω στο οποίο υπάρχουν τα “ράφια” (shelf) ,στα οποία στηρίζονται οι κάρτες (card) .Το πλήθος των OLT που χρειάζονται εξαρτάται από την τοπολογία του δικτύου. Σε PtP τοπολογία χρειάζονται τόσες κάρτες (άρα διαιρώντας με το πλήθος καρτών ανά OLT υπολογίζουμε το πλήθος των απαιτούμενων OLT) όσοι και οι συνδρομητές, ενώ σε PtMP χρειάζονται όσες και το πλήθος των συνδρομητών διαιρεμένο με το εφαρμοζόμενο Split Ratio.

Στην περίπτωση xPON δικτύου, το επιχειρηματικό μοντέλο του Dark Fiber Provider δεν είναι τεχνικά εφικτό. Σε αυτή την περίπτωση , το εκάστοτε technology specific element τοποθετείται από τον πάροχο κατασκευαστή. Τα στοιχεία αυτά έχουν διάρκεια ζωής 15 έτη , οπότε αφού προσθέσουμε το κόστος των χρησιμοποιούμενων μονάδων , μπορούμε να ετησιοποιήσουμε το αντίστοιχο κόστος.

Αντίθετα στην περίπτωση Active Ethernet (PtP ή PtMP) δικτύου, εάν έχουμε το επιχειρηματικό μοντέλο του Dark Fiber Provider, το εκάστοτε technology specific element τοποθετείται από τον έτερο πάροχο. Στις περιπτώσεις του Capacity Wholesaler και του Retailer, αυτό συμβαίνει από τον κατασκευαστή πάροχο. Αυτό αποτυπώνεται στον πίνακα 3.7 .

	Retailer	Capacity Wholesaler	Dark Fiber Provider
xPON	Κατασκευαστής Πάροχος	Κατασκευαστής πάροχος	Μη εφικτό
Active Ethernet	Κατασκευαστής Πάροχος	Κατασκευαστής Πάροχος	Έτερος Πάροχος

Πίνακας 3.7 : Τοποθέτηση technology specific element ανα τεχνολογία και επιχειρηματικό μοντέλο

Στη συνέχεια όμως η τοποθέτηση στοιχείων του δικτύου είναι ανεξάρτητη της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας. Μαζί με τα στοιχεία “πίσω” από το technology specific element διαφοροποιείται ανά επιχειρηματικό μοντέλο και η τοποθέτηση του CPE, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.8

	Retailer	Capacity Wholesaler 1	Capacity Wholesaler 2	Dark Fiber Provider
CPE	X	X	X	-
Content Servers	X	-	-	-
Metro Network	X	X	-	-
BBRAS	-	X	-	-
IX-points	X	-	-	-
Διεθνή Link	X	-	-	-
Backhaul Network	X	X	-	-
Σημείο Διασύνδεσης	-	X	X	-

Πίνακας 3.8 :Τοποθέτηση technology specific element ανά επιχειρηματικό μοντέλο

Όπου Capacity Wholesaler 1 είναι το επιχειρηματικό μοντέλο με τον πάροχο-ιδιοκτήτη να φτάνει μέχρι το δίκτυο πυρήνα ,ενώ το Capacity Wholesaler 2 αντιστοιχεί στο να φτάνει ο πάροχος-ιδιοκτήτης μέχρι το MPOB . Όπου Metro Network είναι το City Backhaul Network και όπου Backhaul Network το Regional Backhaul Network. Ως Content Servers λογίζονται οι εξυπηρετητές περιεχομένου, όπως για παράδειγμα τηλεφωνικά κέντρα και video servers (για την παροχή triple play στο επιχειρηματικό μοντέλο του Retailer).

Τα CPE έχουν διάρκεια ζωής 5 έτη και ισούνται με τον αριθμό των συνδρομητών. Τα υπόλοιπα στοιχεία έχουν διάρκεια ζωής 20 έτη και έχουν λειτουργικά έξοδα, ενώ τα IX-Points και τα Διεθνή Link έχουν και μηνιαίο μίσθωμα. Μπορούμε να ετησιοποιήσουμε τα επιμέρους κόστη και να προσθέσουμε όσα εμπίπτουν στο ίδιο επιχειρηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του ετησιοποιημένου κόστους ανά επιχειρηματικό μοντέλο.

3.3 Έξοδα Λειτουργίας

Τα έξοδα λειτουργίας 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 κτλ.

Τα ετήσια έξοδα συντήρησης θεωρούνται πρακτικά σταθερά. Συγκεκριμένα για παθητικό εξοπλισμό υπολογίζονται στο 0,5% της συνολικής αξίας του αντίστοιχου

εξοπλισμού, ενώ για ενεργό οπτικό εξοπλισμό στο 8% . Ειδικά για εναέρια οπτικά δίκτυα (τα οποία δεν εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσης εργασίας), το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 15% λόγω της ευπάθειας των οπτικών ινών που δεν προστατεύονται μέσα σε τάφρους και σωλήνες.

Τα έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας για την πλευρά των συνδρομητών είναι πολύ εύκολο να υπολογιστούν. Οι διάφοροι κατασκευαστές εξοπλισμού (equipment vendors) ανακοινώνουν την κατανάλωση του εξοπλισμού ανά θύρα OLT, οπότε απλά πολλαπλασιάζοντας την εν λόγω κατανάλωση με τον αριθμό των θυρών που λειτουργούν, καταλήγουμε στην ολική κατανάλωση. Σε αυτό πρέπει να προστεθεί και η κατανάλωση ρεύματος ενεργών στοιχείων στο OSP, όπως για παράδειγμα Ethernet Switches. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί πως η κατανάλωση ανά θύρα διαφοροποιείται με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Έτσι, μια θύρα WDM PON έχει μεγαλύτερη κατανάλωση από μια θύρα GPON, ενώ μια θύρα 10 Gbps Active Ethernet έχει μεγαλύτερη κατανάλωση από μια θύρα 1 Gbps Active Ethernet. Στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν υπολογίζεται αυτή των CPE, μιας και επιβαρύνει το συνδρομητή. Στο ολικό ποσό πρέπει να προστεθεί και η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον πάροχο για την κάλυψη λοιπών non-telecom specific αναγκών (όπως για παράδειγμα η ψύξη και η θέρμανση).

Τα μισθώματα αναφέρονται στη μίσθωση CO και σε πιθανή ετήσια πληρωμή κάποιου ΟΤΑ για τα δικαιώματα διέλευσης. Για τα CO αρκεί να γνωρίζουμε πόσα τετραγωνικά μέτρα καταλαμβάνουν και το μέσο ετήσιο μίσθωμα ανά τετραγωνικό μέτρο. Το γινόμενο των δύο μας δίνει το ολικό κόστος. Για τα δικαιώματα διέλευσης (αν υπάρχουν) χρειάζεται να ξέρουμε το πόσο είτε μέσω της νομοθεσίας είτε μετά από διαπραγμάτευση με τον ΟΤΑ.

Το κόστος μισθοδοσίας εξαρτάται από το πλήθος των εργαζομένων. Προσθέτοντας τις επιμέρους ετήσιες αποδοχές όλων των εργαζομένων, το υπολογίζουμε. Σε αυτό πρέπει να προσθέσουμε το “ετήσιο κόστος λιανικής”, το οποίο επιμερίζεται σε κόστος απόκτησης πελατών, κόστος διαφήμισης και marketing, τηλεφωνική και τεχνική υποστήριξη, billing (τιμολόγηση συν κόστος αποστολής λογαριασμού) και εξυπηρέτηση πελατών. Με βάση τα σημερινά δεδομένα ένα μηνιαίο κόστος της τάξης τουλάχιστον των 5€ ανά συνδρομητή είναι ρεαλιστικό, αν και μάλλον χαμηλό (αναμενόμενο είναι περίπου στα 8€).

Πλην των προηγούμενων, οφείλουμε να προσθέσουμε κάποια παραπάνω λειτουργικά έξοδα που προκύπτουν από τα διάφορα επιχειρηματικά μοντέλα, όπως αυτά απεικονίζονται στον Πίνακα 3.8. Έτσι, πρέπει να προσθέσουμε τα έξοδα λειτουργίας των Content Servers, Metro network, BBRAS, IX-points, Διεθνών Link, Backhaul Network και Σημείου Διασύνδεσης, όπου υπάρχουν κάποια από τα προηγούμενα. Υπάρχει περίπτωση, ειδικά για τα IX-points να μην προκύπτουν έξοδα, αλλά έσοδα, αν στο τα IX-point ο έτερος πάροχος (ή οι υπόλοιποι πάροχοι) πληρώνουν για να έχουν πρόσβαση. Αυτό συμβαίνει συνήθως υπέρ των παρόχων με μεγάλη συνδρομητική βάση και εις βάρος των μικρότερων που προτιμούν να

πληρώσουν απευθείας το μεγαλύτερο πάροχο, αντί να εφαρμόζουν ανακατεύθυνση κίνησης (traffic rerouting) μέσω εξωτερικού, επιβαρύνοντας έτσι τα ακριβά Διεθνή Link τους.

Τέλος, συνηθίζεται να προστίθεται ένα ποσοστό της τάξης του 10% όλων των λειτουργικών εξόδων που αναφέραμε για τα λοιπά λειτουργικά έξοδα (management , διοίκηση, διοίκηση ανθρώπινων πόρων και στρατηγικής κτλ).

Προσθέτοντας όλα τα παραπάνω ετησιοποιημένα , προκύπτουν τα ολικά λειτουργικά έξοδα για ένα έτος λειτουργίας. Αν τα προσθέσουμε στα ετησιοποιημένα έξοδα κατασκευής, θα έχουμε όλα τα έξοδα του παρόχου σε ένα έτος. Αν τα υπολογίσουμε σωστά και υπολογίσουμε αντίστοιχα σωστά τα έσοδα , τότε μπορούμε να δούμε αν η επένδυσή μας θα επιφέρει κέρδη στον πάροχο. Αρχικός στόχος είναι τα έξοδα να είναι το πολύ ίσα με τα έσοδα ώστε να γίνεται τουλάχιστον το break-even (έσοδα = έξοδα) .

3.4 Έσοδα Λειτουργίας

Τα έσοδα λειτουργίας εξαρτώνται από το επιχειρηματικό μοντέλο που εφαρμόζεται. Η κυρίαρχη διαφορά έγκειται στο αν θα πρόκειται για έσοδα λιανικής ή χονδρικής. Είναι προφανές πως για ίδιο αριθμό συνδρομητών και για ίδιες υπηρεσίες θα προκύπτουν μεγαλύτερα έσοδα από πωλήσεις λιανικής, παρά για πωλήσεις χονδρικής. Αντίστοιχα όμως, απαιτούνται και μεγαλύτερα έξοδα, όπως και μεγαλύτερος βαθμός εμπλοκής σε telecom-specific λειτουργίες. Πιθανή έλλειψη εμπειρίας σε αυτόν τον τομέα συνήθως οδηγεί σε σφάλματα και στη συνέχεια σε απώλεια (δυσανεστημένων) συνδρομητών.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονίσουμε πως τα έσοδα δεν εξαρτώνται τόσο από το μέσο έσοδο ανά χρήστη ARPU – Average revenue Per User) , αλλά από τον ολικό αριθμό συνδρομητών. Βλέπουμε λοιπόν ότι ο βαθμός διείσδυσης είναι το σημαντικότερο στοιχείο για τη βιωσιμότητα της επένδυσης σε οπτικά δίκτυα πρόσβασης , άρα είναι κρίσιμης σημασίας η γρήγορη κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερων υποψήφιων συνδρομητών.

Είναι γενικά δύσκολο να προβλέψουμε τον ακριβή αριθμό μελλοντικών συνδρομητών. Συνηθίζεται λοιπόν να αναλύονται 3 σενάρια διείσδυσης : αισιόδοξο (optimistic), μέσο (median) και απαισιόδοξο (pessimistic) .

3.4.1 Έσοδα Λειτουργίας για Dark Fiber Provider

Αποτελεί το επιχειρηματικό μοντέλο με τα πλέον περιορισμένα έσοδα. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε πάροχος που θα θελήσει να προσφέρει υπηρεσίες θα πρέπει να φτάσει μέχρι το CO και να εγκαταστήσει το δικό του ενεργό εξοπλισμό. Από την άλλη μεριά όμως , δε χρειάζεται καμία ιδιαίτερη τεχνογνωσία , ούτε εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό .

Τα έσοδα λοιπόν είναι τα εξής :

- Εφάπαξ καταβολή τέλους φυσικής συνεγκατάστασης ανά πάροχο ανά CO
- Μηνιαίο (επί 12 για ετήσιο) μίσθωμα φυσικής συνεγκατάστασης ανά πάροχο ανά CO
- Εφάπαξ χρέωση για ενεργοποίηση οπτικού βρόχου
- Μηνιαίο (επί 12 για ετήσιο) μίσθωμα ανά συνδρομητή

Για να παρέχει κανείς υπηρεσίες , θα πρέπει να εγκαταστήσει τον εξοπλισμό του στα CO του παρόχου-ιδιοκτήτη. Για να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει πρώτα να καταβάλει ένα εφάπαξ ποσό για τη φυσική συνεγκατάσταση (πιθανώς και απομακρυσμένη, αν αυτή εφαρμόζεται), το οποίο μπορεί να επιμεριστεί σε 40 έτη και στη συνέχεια συγκεκριμένο ανά CO.

Αν εγκατασταθούν περισσότεροι του ενός πάροχοι, τότε τα έσοδα αυτά αυξάνονται αναλόγως. Παρατηρούμε λοιπόν πως είναι σημαντικό να έχει κατασκευαστεί το οπτικό δίκτυο πρόσβασης έτσι, ώστε να προσελκύει παρόχους λιανικής. Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται τόσο στις τεχνολογικές επιλογές που έχουν γίνει, όσο και στην περιοχή που έχει επιλεγεί.

Τέλος, θα καταβάλλεται αρχικά ένα εφάπαξ ποσό (ετησιοποιείται ανάλογα το μέσο χρόνο παραμονής του συνδρομητή στον πάροχο, για παράδειγμα 3 έτη) και στη συνέχεια ένα μηνιαίο μίσθωμα (“πάγιο”) ανά οπτικό βρόχο που υπενοικιάζεται. Το ύψος αυτών των συνδρομητών εξαρτάται από την εμπορική πολιτική του εκάστοτε παρόχου και δε μπορεί να υπολογιστεί εύκολα εκ των προτέρων από τον πάροχο-ιδιοκτήτη. Μπορούν να υιοθετηθούν οι προβλέψεις των έτερων παρόχων σε κάποιες περιπτώσεις. Η εμπορική πολιτική μπορεί να διαφοροποιηθεί τόσο λόγω προσφερόμενης τιμής , όσο και εύρους (και ποιότητα) υπηρεσιών. Στην περίπτωση αυτή , μπορούν να παρασχεθούν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (για παράδειγμα IPTV , Video on demand κτλ) , χωρίς όμως να έχει δικαίωμα παρέμβασης ο πάροχος-ιδιοκτήτης , παρά μόνο στο ύψος του μηνιαίου μισθώματος μιας και για παράδειγμα ένας video server χρειάζεται κάποιον επιπλέον χώρο μέσα στο CO .

Πέρα των προηγούμενων, ο πάροχος-ιδιοκτήτης θα είναι υπεύθυνος για οποιεσδήποτε βλάβες και δυσλειτουργίες του δικτύου. Αν αυτές συμβούν με ευθύνη τρίτου, τότε υπάρχει η ανάλογη χρέωση για άρση βλάβης (αν δε γίνει άρση βλάβης, τότε χρεώνεται άσκοπη μετακίνηση συνεργείου). Επιπλέον, θα μπορούσε να μισθώνεται και μέρος της παθητικής υποδομής στο OSP , αν και η εν λόγω πρακτική δεν εμπίπτει στο θέμα που ερευνά η παρούσα εργασία.

Αθροίζοντας όλα τα προηγούμενα, προκύπτουν τα ολικά έσοδα ανά έτος για το επιχειρηματικό μοντέλο Dark Fiber Provider .

3.4.2 Έσοδα Λειτουργίας για Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ

Στην περίπτωση του Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ , έχουμε τον πάροχο υπηρεσιών να φτάνει μέχρι το ΜΡοΡ και στη συνέχεια , το υπόλοιπο δίκτυο ανήκει στον πάροχο-ιδιοκτήτη. Αυτό είναι ένα σχετικά σπάνιο επιχειρηματικό μοντέλο γιατί συγκεντρώνει παράδοξα και από τις δύο πλευρές

- για τον πάροχο-ιδιοκτήτη αφού επιλέγοντας να εγκαταστήσει technology-specific elements , σημαίνει ότι θα πρέπει να διαθέτει την αντίστοιχη τεχνογνωσία και expertise. Αν πρόκειται αν εμπλακεί σε τέτοια ζητήματα, δεν υπάρχει κάποιος προφανής λόγος να φτάσει “πιο πέρα” στο δίκτυο από το ΜΡοΡ, επιδιώκοντας μεγαλύτερα έσοδα.
- για τον πάροχο υπηρεσιών μιας και αν φτάσει μέχρι το ΜΡοΡ, δεν υπάρχει επίσης κανένας προφανής λόγος να μην εγκαταστήσει δικά του technology-specific elements , ώστε να έχει καλύτερο και αμεσότερο έλεγχο της απόδοσης των υπηρεσιών του. Σε αυτή την περίπτωση θα είχαμε το επιχειρηματικό μοντέλο του Dark Fiber Provider που μόλις αναλύθηκε.

Συνηθίζεται λοιπόν η επιλογή του επιχειρηματικού μοντέλου του Capacity Wholesaler μέχρι το δίκτυο κορμού, περίπτωση η οποία αναλύεται στην επόμενη υποπαράγραφο. Για λόγους όμως πληρότητας, θα αναλυθεί και η περίπτωση του Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ.

Σε αυτή λοιπόν την περίπτωση , η ανάλυση εσόδων είναι μάλλον απλή. Μιας και ό,τι υπάρχει εντός του CO ανήκει στον πάροχο-ιδιοκτήτη , δε μένει παρά να του καταβάλλεται ένα μηνιαίο (επί 12 για ετήσιο) μίσθωμα ανά οπτικό βρόχο και πιθανώς ένα μηνιαίο (επί 12 για ετήσιο) τέλος διασύνδεσης , καθώς και τα αντίστοιχα εφάπαξ κόστη ενεργοποίησης (με διάρκεια ζωής τα 3 έτη και πάλι για το συνδρομητή και τα 40 για το σημείο διασύνδεσης).

Πέρα των προηγούμενων, ο πάροχος-ιδιοκτήτης θα είναι υπεύθυνος για οποιεσδήποτε βλάβες και δυσλειτουργίες του δικτύου. Αν αυτές συμβούν με ευθύνη τρίτου, τότε υπάρχει η ανάλογη χρέωση για άρση βλάβης (αν δε γίνει άρση βλάβης, τότε χρεώνεται άσκοπη μετακίνηση συνεργείου).

Για να υπολογίσουμε τα ολικά έσοδα λειτουργίας του Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ αρκεί να γνωρίζουμε το πλήθος των συνδρομητών. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών περιεχομένου, οπότε περιορίζεται η δυνατότητα διαφοροποίησης του εκάστοτε παρόχου.

Όπως όμως ήδη αναφέραμε , η επιλογή του Capacity Wholesaler μέχρι το ΜΡοΡ είναι μάλλον απίθανη και θεωρείται μόνο τεχνικά εφικτή, μιας και είναι μάλλον απίθανο να σημειώσει εμπορική επιτυχία στις πραγματικές συνθήκες της αγοράς. Ο

συνδυασμός σχετικά χαμηλών εσόδων με το απαιτούμενο υψηλό επίπεδο τεχνολογίας κάνει την εν λόγω επιλογή κατά κανόνα ασύμφορη.

3.4.3 Έσοδα Λειτουργίας για Capacity Wholesaler μέχρι το Δίκτυο Κορμού

Εάν επιλεγεί το μοντέλο του Capacity Wholesaler, τότε συνήθως αυτό γίνεται μέχρι το Δίκτυο Κορμού. Για την ακρίβεια κάπου στο δίκτυο κορμού του παρόχου-ιδιοκτήτη, υπάρχει ένα σημείο διασύνδεσης με τον πάροχο υπηρεσιών. Στην περίπτωση αυτή, τα έσοδα αυξάνονται σε σχέση με το προηγούμενο επιχειρηματικό μοντέλο. Για την ακρίβεια πέραν των εσόδων από τους οπτικούς βρόχους (μηνιαία και εφάπαξ) και του σημείου διασύνδεσης (αυτή τη φορά στο δίκτυο κορμού), θα έχουμε :

- έσοδα από τη χρήση BBRAS ώστε να γίνεται η ταυτοποίηση του χρήστη του παρόχου
- έσοδα από τη χρήση τόσο του Metro Network (City Backhaul Network), όσο και του Backhaul Network (Regional Backhaul Network). Είναι αναμενόμενο τα κόστη αυτά να αυξάνουν με τον αριθμό να αυξάνονται με το πλήθος των συνδρομητών (κυρίως λόγω αυξημένων αναγκών σε bandwidth). Συνηθίζεται το κόστος αυτό να ενσωματώνεται στο πάγιο του οπτικού βρόχου χονδρικής.

Πέρα των προηγούμενων, ο πάροχος-ιδιοκτήτης θα είναι υπεύθυνος για οποιοσδήποτε βλάβες και δυσλειτουργίες του δικτύου. Αν αυτές συμβούν με ευθύνη τρίτου, τότε υπάρχει η ανάλογη χρέωση για άρση βλάβης (αν δε γίνει άρση βλάβης, τότε χρεώνεται άσκοπη μετακίνηση συνεργείου).

Αξίζει να σημειωθεί πως και στις δύο περιπτώσεις του Capacity Wholesaler υπάρχουν δύο υπεύθυνοι για τη λειτουργία του δικτύου (καθένας βέβαια σε σαφώς ορισμένο τμήμα του). Αυτό έχει το μειονέκτημα ότι, για παράδειγμα, σε περίπτωση μειωμένης απόδοσης της σύνδεσης ενός συνδρομητή, εκείνος δε θα γνωρίζει ποιος είναι υπεύθυνος για αυτή, ενώ είναι αρκετά συνηθισμένο ο ένας πάροχος να καταλογίζει ευθύνες στον άλλο και αντίστροφα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα δυσαρεστημένους πελάτες και εν τέλει απώλειες συνδρομητών, πράγμα που επηρεάζει τόσο τον πάροχο-ιδιοκτήτη, όσο και τον πάροχο υπηρεσιών.

Βέβαια, για παράδειγμα στην αγορά της xDSL τεχνολογίας ο πάροχος ιδιοκτήτης μπορεί να εφαρμόζει ταυτόχρονα το μοντέλο τόσο του Retailer όσο και του Capacity Wholesaler, οπότε για κάθε συνδρομητή που χάνει ο πάροχος υπηρεσιών (και ο πάροχος-ιδιοκτήτης ως Capacity Wholesaler) μπορεί να ελπίζει ότι θα τον ξανακερδίσει ως Retailer, αποκομίζοντας μάλιστα γενικά μεγαλύτερα κέρδη. Αυτή είναι μία εγγενής δυσλειτουργία της xDSL αγοράς, η οποία προκαλείται από

πρακτικές αθέμιτου ανταγωνισμού (κυρίως) του Κυρίαρχου Παρόχου και θα πρέπει να αποτραπεί στην αγορά οπτικών δικτύων πρόσβασης.

3.4.4 Έσοδα για Retailer

Το μοντέλο με τα μεγαλύτερα έσοδα και τη μεγαλύτερη ευελιξία από την πλευρά παρόχου είναι σαφώς αυτό του Retailer. Ο πάροχος έχει την απόλυτη ευθύνη σε όλο το εύρος του δικτύου : από τις παρυφές του χώρου του χρήστη , το OSP και το CO μέχρι το δίκτυο κορμού και τα διεθνή Link. Αυτό προτιμάται από πολλούς παρόχους, μιας και δεν είναι σπάνιο φαινόμενο να παρατηρείται bottleneck (στενωπός επίδοσης) στο κομμάτι του παρόχου-ιδιοκτήτη . Επίσης , είναι σημαντικό ότι , σε αντίθεση με το μοντέλο του Capacity Wholesaler , ο συνδρομητής αναφέρει σε μία μόνο πλευρά τυχόν προβλήματα απόδοσης της σύνδεσής του. Φυσικά, αυτό επιφέρει το αυτονόητο tradeoff του ότι ο πάροχος πρέπει να έχει πλήρη τεχνογνωσία και εξειδικευμένο προσωπικό σε όλα τα τμήματα του δικτύου του.

Στην περίπτωση του Retailer, τα έσοδα προέρχονται μόνο από την αγορά της λιανικής. Το συνολικό όμως ποσό που πληρώνει κάθε χρήστης διαφοροποιείται σημαντικά, ενώ ο ίδιος ο πάροχος χαράσσει την εμπορική πολιτική που επιθυμεί.

3.4.4.1 Επιχειρηματικοί (Business) Πελάτες

Μία πρώτη μεγάλη διαφοροποίηση επέρχεται ανάμεσα σε οικιακούς και επιχειρηματικούς (business) πελάτες. Οι business πελάτες φέρνουν πολύ μεγαλύτερα έσοδα ανά συνδρομή, αν και αυτή δε συμπεριλαμβάνει κάποιες υπηρεσίες περιεχομένου (για παράδειγμα IPTV και Video on Demand). Από την άλλη όμως πλευρά οι business πελάτες συνήθως έχουν συνδρομές με μεγαλύτερες ταχύτητες από τους οικιακούς χρήστες. Για παράδειγμα, αν εφαρμόζεται η τεχνολογία GPON με Split Ratio 1:32 για τους οικιακούς πελάτες, αυτό μπορεί να είναι 1:16, 1:8 ή και καλύτερο για τους business πελάτες. Επίσης , μπορούν να δίνονται stacks από στατικές διευθύνσεις IP (8,16,32,64 ή και περισσότερες) , με την αντίστοιχη επιπλέον χρέωση, όπως και πληθώρα τηλεφωνικών γραμμών για τα τηλεφωνικά τους κέντρα, αλλά και απευθείας διασύνδεση κτιρίων της εταιρείας με οπτικές ίνες.

Το σημαντικότερο όμως στοιχείο για τους business πελάτες είναι το SLA (Service Level Agreement – Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών), το οποίο περιγράφει το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών της σύνδεσης και το χρόνο άρσης πιθανής βλάβης αυτής. Μάλιστα, αν το downtime ξεπεράσει κάποιο όριο , μπορεί να προβλέπεται η παροχή προσωρινής εναλλακτικής σύνδεσης (συνήθως ασύρματα με μικροκυματικά link). Αυτό ισχύει για οποιαδήποτε ώρα μέσα στο 24ωρο και σε περίπτωση μη τήρησής του , το SLA προβλέπει αντίστοιχες ρήτρες αποζημίωσης. Για αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά, το SLA αποτιμάται με αρκετά υψηλή τιμή στο υπογραφόμενο συμβόλαιο.

Είναι κοινή πρακτική να μην υπάρχουν συγκεκριμένες τιμές για παροχή υπηρεσιών σε business πελάτες (πλην ίσως κάποιων πολύ βασικών, για παράδειγμα το τέλος

ενεργοποίησης) , αλλά να γίνεται διαφορετική προσφορά σε κάθε περίπτωση με βάση τα ιδιαίτερα στοιχεία αυτής (μέγεθος επιχείρησης, όροι SLA, ελάχιστη περίοδος παραμονής κτλ.). Μάλιστα, συνηθίζεται να υπάρχει συγκεκριμένο κομμάτι του ανθρώπινου δυναμικού αποκλειστικά ειδικευμένο σε business πελάτες (προσωπικό B2B - Business to Business). Αυτό εκτείνεται από τους πωλητές και τους τεχνικούς μέχρι την τηλεφωνική υποστήριξη που για business πελάτες είναι , κατά κανόνα, 24ωρη .

3.4.4.2 Οικιακοί (Home) Πελάτες

Οι business πελάτες να μεν αποφέρουν ανά σύνδεση περισσότερα έσοδα, αλλά είναι σχετικά λίγοι .Αντίθετα, οι οικιακοί πελάτες αποφέρουν μεν μικρότερα έσοδα ανά χρήστη, αλλά αποτελούν μαζική αγορά. Το αν τα έσοδα του παρόχου θα είναι μεγαλύτερα από τους μεν ή τους δε, εξαρτάται κατά περίπτωση.

Τα έσοδα ανά πελάτη (πέραν της εφάπαξ ενεργοποίησης) είναι το μηνιαίο πάγιο, συν ό,τι άλλο καταναλώσει ο πελάτης. Συνηθίζεται να υπογράφεται συμβόλαιο πολύμηνης διάρκειας παραμονής με ρήτρα διακοπής του. Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να ακολουθηθούν διάφορες εμπορικές πολιτικές. Για παράδειγμα θα μπορούσε να μη χρεώνεται το τέλος ενεργοποίησης για 12μηνο συμβόλαιο , ενώ να μη χρεώνεται ούτε το τέλος ενεργοποίησης ούτε το CPE για 24μηνο συμβόλαιο. Το CPE μπορεί είτε να επιστρέφεται κατά τη διακοπή της υπηρεσίας (χρησιδάνειο) είτε όχι. Η ρήτρα διακοπής συμβολαίου πριν το συμβατικό χρόνο μπορεί να εξαρτάται από το πότε έγινε η διακοπή : όσο νωρίτερα τόσο μεγαλύτερη θα είναι. Σε αυτή μπορεί να προστίθεται η αναπόσβεστη αξία του CPE.

Το κυρίως κομμάτι των εσόδων βέβαια προέρχεται από τη μηνιαία τιμολόγηση. Σε αυτή την περίπτωση, μιας και ο πάροχος έχει την ευχέρεια χάραξης δικής του πολιτικής, οι δυνατότητες είναι μάλλον απεριόριστες. Συνηθίζεται να παρέχονται τρεις επιμέρους υπηρεσίες : Data (Internet), Voice (Τηλεφωνία) και Video (IPTV & Video on Demand). Και τα τρία μαζί αποτελούν το λεγόμενο triple play.

3.4.4.2.1 Data

Στο κομμάτι του Internet , μιας και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι προφανώς συγκεκριμένη, δε μπορεί να διαφοροποιηθεί, αλλά υπάρχουν εν γένει περιθώρια σε άλλους τομείς .Το πρώτο και μάλλον βασικότερο είναι η ταχύτητα της σύνδεσης. Μπορούν να υπάρχουν διάφορα προφίλ, με την ανάλογη χρέωση: όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερη και η χρέωση. Κατά τη διάρκεια της υποχρεωτικής παραμονής του χρήστη, αν αυτός αποφασίσει να αναβαθμίσει σε υψηλότερη ταχύτητα, τότε αυτό γίνεται ατελώς, ενώ αν αποφασίσει αν υποβαθμίσει σε χαμηλότερη ταχύτητα, τότε είτε αυτό θα απαγορεύεται από το συμβόλαιο είτε θα επιτρέπεται μεν, αλλά με κάποιο κόστος. Η πολιτική αυτή ενθαρρύνει την επιλογή μεγαλύτερων ταχυτήτων, άρα και την παραγωγή μεγαλύτερων εσόδων.

Αρκετοί χρήστες δε νοιάζονται για την ταχύτητα της σύνδεσής του ,αλλά για τους χρόνους απόκρισης (ping time) αυτής μιας και χρησιμοποιούν time-sensitive εφαρμογές (για παράδειγμα online gaming). Με μία αντίστοιχη χρέωση μπορεί να παρέχεται QoS (Quality of Service) , το οποίο αναφέρεται στην προτεραιοποίηση δικτυακής κίνησης , σε ping time .

Αντίστοιχη προτεραιοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί για το bandwidth της σύνδεσης τόσο στο backhaul δίκτυο του παρόχου όσο και στο δίκτυο κορμού μέχρι και τα IX-points και τις απολήξεις των Διεθνών Link (μιας και πέρα από αυτό το σημείο, δεν αποτελεί πλέον ευθύνη του παρόχου). Το ίδιο μπορεί να γίνει και στο κομμάτι από το χρήστη μέχρι το CO. Συγκεκριμένα είτε στο upstream κομμάτι του GPON με κατάλληλη τροποποίηση του μηχανισμού του Dynamic Bandwidth Allocation , όσο και στο WDM-PON με τη χρήση περισσότερων λ (μηκών κύματος) ανά χρήστη, τόσο στο downstream όσο και στο upstream. Εν γένει δεν προτείνεται η ύπαρξη ορίου χρήσης σε δεδομένα (traffic cap), εκτός και αν αυτή συνυπάρχει με επιλογή κίνησης απεριόριστου όγκου δεδομένων και εξασφαλίζει χαμηλότερη τιμή λιανικής. Η χρήση traffic cap (ακόμη και μόνο κατά τις ώρες αιχμής) μπορεί να προκαλέσει αρνητική φήμη στον πάροχο, ειδικά στις χώρες που δε συνηθίζεται η ύπαρξή του.

Τέλος μπορούν να υπάρχουν διαθέσιμα stack από διευθύνσεις IP και για τους οικιακούς χρήστες με την αντίστοιχη χρέωση και διευθύνσεις e-mail με μεγαλύτερο διαθέσιμο χώρο από αυτόν που παρέχεται δωρεάν.

Όλα τα προηγούμενα αποτελούν στοιχεία διαφοροποίησης του παρόχου για τους συνδρομητές του. Με την παροχή αυτών , μπορεί να προσελκύσει νέους συνδρομητές, ενώ μπορεί ταυτόχρονα να αυξήσει τη βάση εσόδων του από τους υπάρχοντες, αρκεί να πωλεί το καθένα από αυτά με το premium (δηλαδή την περαιτέρω χρέωση) που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο συνδρομητής (αυτό μπορεί να υπολογιστεί με έρευνες αγοράς) .

Η παροχή μόνο Data (ευθέως αντίστοιχο του naked DSL στην DSL τεχνολογία) είναι μάλλον ασυνήθιστη και δεν προτείνεται , μιας και επιφέρει εν γένει μειωμένα έσοδα.

3.4.4.2.2 Voice

Στον τομέα του Voice κυρίαρχο ρόλο παίζει η τηλεφωνία. Ακόμη και σήμερα, η πλειοψηφία των συνδρομητών τηλεφωνίας χρησιμοποιεί το δημόσιο τηλεπικοινωνιακό χάλκινο δίκτυο και δρομολογείται ξεχωριστά. Οι περισσότερες συνδέσεις είναι τύπου είτε POTS (Plain old Telephone Service) είτε ISDN (Integrated Services Digital Network). Μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισε να χρησιμοποιείται σε μαζικό επίπεδο το VoIP (Voice over IP), το οποίο έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος, μιας και δρομολογείται ως κίνηση IP (με κάποιο QoS λόγω της time-sensitivity της τηλεφωνίας), ενώ δεν καταλαμβάνει το φάσμα των 0-4 kHz, αλλά βρίσκεται ενσωματωμένη στην κίνηση της γραμμής μας.

Οι κλήσεις διαχωρίζονται σε αστικές, υπεραστικές και διεθνείς σε διάφορες ζώνες χρέωσης . Συνηθίζεται να προσφέρονται απεριόριστες αστικές και υπεραστικές κλήσεις με ένα πάγιο. Σε αυτές μπορούν να προστεθούν κάποιες χώρες του εξωτερικού. Η διαφοροποίηση σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει προσφέροντας διάφορα πακέτα τηλεφωνίας όπως για παράδειγμα όχι απεριόριστες κλήσεις, αλλά κάποιο συγκεκριμένο χρόνο κλήσεων ανά μήνα (με βήμα χρέωσης ανά λεπτό ή δευτερόλεπτο). Αυτό το πακέτο μπορεί να συμπεριλαμβάνει κλήσεις προς αστικούς προορισμούς, υπεραστικούς, διεθνείς κατά την επιθυμία του χρήστη (δηλαδή να περιλαμβάνει όσες χώρες εκείνος επιθυμεί) και προς κινητά τηλέφωνα. Όλα τα παραπάνω με την αντίστοιχη χρέωση ανά πακέτο.

Η διάθεση πακέτων απεριόριστων κλήσεων προς κάποιους προορισμούς ενέχει τον κίνδυνο κάποιοι χρήστες να κάνουν κατάχρηση αυτής και τα κόστη τερματισμού τηλεφωνικής κίνησης προς τρίτους παρόχους να ζημιώνουν εν τέλει τον πάροχο. Παρόλα αυτά , η διάθεση πακέτων απεριόριστων κλήσεων είναι επιβεβλημένη πια μιας και :

- γίνεται από όλους τους παρόχους, οπότε αποτελεί σαφές ανταγωνιστικό μειονέκτημα η μη υιοθέτησή του
- ο πάροχος μπορεί να ελπίζει στην επίτευξη ενός κρίσιμου μεγέθους της συνδρομητικής του βάσης, ώστε τα τέλη τερματισμού τηλεφωνικών κλήσεων που θα εισπράττει από τους άλλους παρόχους μέσω των (απεριόριστων) κλήσεων των συνδρομητών τους να ισοφαρίζει ή και να υπερβαίνει τα αντίστοιχα έξοδα.

Τέλος , μπορεί να προστεθεί η δυνατότητα video-call (βιντεοκλήσης) , με την αντίστοιχη χρέωση.

Κρίνεται σκόπιμο , η διαφορά τιμής ανάμεσα στην παροχή Data και Voice (2play – Double play) με απεριόριστες κλήσεις (ή επιμέρους πακέτο αυτών) με την παροχή τηλεφωνίας με χρονοχρέωση μόνο να είναι σχετικά μικρή, ώστε να ενθαρρύνεται ο συνδρομητής να επιλέξει την πρώτη περίπτωση.

Η παροχή τηλεφωνίας προϋποθέτει την κατοχή τηλεφωνικού αριθμού από τον πάροχο, άρα την αγορά αριθμητικού φάσματος από την Ρυθμιστική Αρχή.

3.4.4.2.3 Video

Τέλος, το τρίτο κομμάτι του triple play είναι το Video. Αυτό αναφέρεται σε IPTV (τηλεόραση μέσω IP) και σε Video on Demand (VoD). Στην IPTV προφανώς έχει σημασία το ποια κανάλια μεταδίδονται. Το να δημιουργήσει ο πάροχος και δικά του ιδιόκτητα κανάλια δεν είναι αδύνατο, αλλά ξεφεύγει αρκετά από τις Τηλεπικοινωνιακές Υπηρεσίες που προσφέρει, οπότε δεν προτείνεται. Αντίθετα, αν προσφέρει τηλεοπτικά κανάλια με περιεχόμενο (για παράδειγμα με αποκλειστικά δικαιώματα μετάδοσης πολιτιστικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων), δελεάζει

περισσότερους υποψήφιους συνδρομητές. Τέλος , το VoD αναφέρεται στην τηλεθέαση τηλεοπτικού περιεχομένου (τηλεοπτικές σειρές, ταινίες, εκπαιδευτικές εκπομπές κτλ) , όποτε το θελήσει ο συνδρομητής. Συνήθως παρέχεται IPTV και απεριόριστο VoD σε ένα πάγιο, αλλιώς υπάρχει χρέωση ανά χρήση του VoD.

Για να λειτουργήσει και το κομμάτι του Video, πέραν των CPE χρειάζεται και εξειδικευμένος εξοπλισμός (set top boxes). Αυτός μπορεί να παρέχεται δωρεάν με βάση τη διάρκεια του συμβολαίου.

Συνηθίζεται η παροχή triple play σε σχετικά κοντινή τιμή με το double play (κατά κανόνα Data και Voice, δε συνηθίζονται οι συνδυασμοί Data και Video ή Voice και Video), ώστε όσο το δυνατόν περισσότεροι συνδρομητές να εγγραφούν σε αυτό, αυξάνοντας τα σχετικά έσοδα.

3.4.5 Αξιολόγηση Επένδυσης

Υπάρχουν διάφοροι δείκτες αξιολόγησης μίας επένδυσης (ROI-Return On Investment, NPV – Net Present Value,Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης,Μέση Ετήσια Απόδοση Επένδυσης κτλ),αλλά συνήθως προτιμάται η χρήση της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ-NPV) .

Η Καθαρή Παρούσα Αξία ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ταμειακών ροών (εξερχόμενων αφαιρούμενων από τις εισερχόμενες) αφού πρώτα έχουν διαιρεθεί με κάποιο επιθυμητό συντελεστή που εκφράζει το κόστος κεφαλαίου υψωμένο στον αριθμό των ετών που θα έχουν μεσολαβήσει από την έναρξη της επένδυσης

$$NPV (r) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Στην παραπάνω σχέση το **C_i** είναι η προκύπτουσα ταμειακή ροή (Cash Flow),ενώ το **r** είναι το Κόστος Κεφαλαίου για το συγκεκριμένο έργο,το οποίο περιλαμβάνει την απόδοση που ζητείται από το έργο, καθώς και τον πληθωρισμό.Η παραπάνω σχέση υπολογίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία για το έτος **i** .

Η Καθαρή Παρούσα Αξία ενσωματώνει τόσο ένα βαθμό απαιτούμενης απόδοσης της επένδυσης από τη μεριά του επενδυτή, όσο και την έννοια της απαξίωσης του Χρηματικού Κεφαλαίου,κυρίως, μέσω του πληθωρισμού. Έτσι,εάν για παράδειγμα ο επενδυτής επιθυμεί μια απόδοση επένδυσης 8%, ενώ εκτιμά ότι ο πληθωρισμός θα κυμαίνεται στο 4%, μπορεί να αξιολογήσει την επένδυσή του με συντελεστή 12% (άρα θα χρησιμοποιηθεί το 1,12) ,το οποίο και θα αντιστοιχεί στο κόστος κεφαλαίου.

Αν η ΚΠΑ είναι θετική, τότε η επένδυση έχει νόημα να γίνει, υπεραποδίδοντας τις επιθυμητές αποδόσεις από τη μεριά του επενδυτή. Από την άλλη μεριά,αν η ΚΠΑ προκύψει αρνητική,η επένδυση δεν είναι ελκυστική ,αφού υποαποδίδει τις επιθυμητές αποδόσεις. Τέλος, αν η ΚΠΑ είναι μηδενική,τότε, επί της αρχής, είναι αδιάφορο αν η επένδυση αυτή καθαυτή θα λάβει χώρα, αλλά σε αυτή την περίπτωση συνυπολογίζονται και άλλοι παράγοντες, όπως για παράδειγμα η δημιουργία

ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, η είσοδος του επενδυτή σε μία αγορά για λόγους κύρους, καθώς και άλλους παρόμοιους παράγοντες.

Ακόμη και αν η ΚΠΑ είναι θετική, έχει σημασία σε πόσα χρόνια μετά την επένδυση θα περάσει σε θετικό έδαφος. Είναι σίγουρο ότι σε επενδύσεις με μεγάλο αρχικό κόστος (όπως είναι πάντα η ανάπτυξη οπτικών δικτύων πρόσβασης), η ΚΠΑ θα είναι αρνητική για αρκετά χρόνια. Όσο όμως οι ταμειακές ροές είναι θετικές, η ΚΠΑ θα αυξάνεται, μέχρι κάποια στιγμή (σε πολλές περιπτώσεις) να γίνει θετική. Η διάρκεια λοιπόν της επένδυσης που εξετάζουμε έχει σημασία. Με θεώρηση μικρής διάρκειας επένδυσης, υπάρχει περίπτωση η ΚΠΑ να μην προλάβει να γίνει θετική. Στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης, το χρονικό αυτό διάστημα μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μεγάλο, σίγουρα μεγαλύτερο των 20 ετών.

Κεφάλαιο 4

Παραδοχές και Ανάλυση Μοντέλου

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζεται μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός μοντέλου κόστους και εσόδων για την κατασκευή και λειτουργία ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης στην πόλη της Λιβαδειάς. Είναι προφανές ότι κανένα τέτοιου είδους μοντέλο, όσο αναλυτικό και αν είναι, δε μπορεί να περιγράψει απόλυτα την πραγματικότητα. Πάντα υπάρχουν αστοχίες και σκοπός είναι αυτές όσο το δυνατόν να ελαχιστοποιούνται. Αρχικά γίνονται κάποιες Παραδοχές. Είναι αρκετά κρίσιμο αυτές να ανταποκρίνονται όσο γίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Διάφοροι παράγοντες (τοπικοί, οικονομικοί, χρονικοί κτλ) μπορούν να αλλάξουν σε σημαντικό βαθμό τις παραδοχές αυτές. Οι Παραδοχές που υιοθετήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής περιγράφονται λίγο παρακάτω. Επίσης, επιχειρήθηκε η όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική κοστολόγηση των επιμέρους δικτυακών στοιχείων.

Στη συνέχεια έπρεπε να επιλεγούν κάποια σενάρια ανάπτυξης οπτικών δικτύων πρόσβασης με βάση Αρχιτεκτονική, Τοπολογία, Τεχνολογία και Επιχειρηματικό Μοντέλο. Φυσικά, δεν έχει νόημα να εξεταστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί. Προτιμήθηκαν λοιπόν οι δύο πλέον δημοφιλείς Τεχνολογίες σήμερα : GPON και Active Ethernet PtP . Η επιλογή του GPON δε μπορεί να θεωρηθεί παρωχημένη , μιας και με απλή αλλαγή στην κοστολόγηση του ακραίου εξοπλισμού, το μοντέλο μπορεί πολύ εύκολα να υπολογίσει τα αντίστοιχα ποσά για NG-GPON και NG-GPON2 δίκτυα.

Οι δύο αυτές τεχνολογίες εξετάζονται με όλα τα πιθανά επιχειρηματικά μοντέλα που μπορούν να υλοποιηθούν. Για το GPON είναι αυτά του Capacity Wholesaler (πάροχος χωρητικότητας) και του Retailer (πάροχος λιανικής), ενώ για το Active Ethernet είναι αυτά τα δύο, καθώς και αυτό του Dark Fiber Provider (πάροχος παθητικής υποδομής) . Το μοντέλο του Capacity Wholesaler εξετάστηκε μόνο ως Capacity Wholesaler με σημείο διασύνδεσης στο MPoP, μιας και αυτό συνηθίζεται σε συντριπτικό βαθμό σε σχέση με το αντίστοιχο επιχειρηματικό μοντέλο με σημείο διασύνδεσης στο δίκτυο κορμού. Συνολικά λοιπόν έχουμε 5 εξεταζόμενα σενάρια : 2 για το GPON και 3 για το Active Ethernet PtP.

4.2 Υιοθέτηση Υπάρχοντος Μοντέλου και Παραδοχές

Όσον αφορά το κομμάτι της κοστολόγησης, χρησιμοποιήσαμε το Μοντέλο Κόστους που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Διαχείρισης και Βέλτιστου Σχεδιασμού Δικτύων του ΕΜΠ ,όπως αυτό παρουσιάστηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Δρος Μηχανικού Κωνσταντίνου Τρούλου το Φεβρουάριο του 2012. Από το Μοντέλο αυτό εισαγάγαμε τις εξής στοιχεία κάνοντας τις αντίστοιχες παραδοχές:

- Το συνολικό μήκος των δρόμων είναι 87.914 μέτρα. Σε αυτή την έκταση αντιστοιχούν 7.290 δυνητικοί πελάτες, ενώ υπάρχουν 5.120 κτίρια .

- Η πόλη της Λιβαδειάς χωρίστηκε σε 3 ζώνες : Μεγάλης,Μεσαίας και Μικρής Πυκνότητας όσον αφορά τους τελικούς χρήστες. Σε κάθε ζώνη διαφοροποιούνται οι μέσες αποστάσεις μεταξύ των DAP's .
- Κάθε DAP αντιστοιχεί σε 192 συνδρομητές.
- Κάθε χρήστης θα έχει 2 οπτικές ίνες.
- Σε κάθε όροφο αντιστοιχεί ένας τελικός χρήστης
- Το 60% του κόστους per Home Passed θεωρείται fixed cost και αφορά στον εξοπλισμό που πρέπει να εγκατασταθεί εξαρχής,ενώ το υπόλοιπο 40% αφορά στην ενεργοποίηση ενός νέου τελικού χρήστη,οπότε και επενδύεται κατά την στιγμή της ενεργοποίησης.
- Η κατανομή των σπιτιών ,με βάση τα επίσημα στοιχεία από την Πολεοδομία,έγινε ως εξής:

Ζώνη	Ισόγεια	1 όροφος	2 όροφοι	3-5 όροφοι	Σύνολο
Μεγάλης Πυκνότητας	1.158	1.208	222	44	2.631
Μεσαίας Πυκνότητας	57	604	297	131	1.610
Μικρης Πυκνότητας	193	201	222	262	879
	1.929	2.013	741	437	5.120

Πίνακας 4.1 : Κατανομή κτιρίων ανά ζώνη με βάση τον αριθμό των ορόφων τους

- Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις Business Model σε PtP , αυτή του Dark Fiber Provider και αυτή του Capacity Wholesaler.
- Στην περίπτωση του Business Model Capacity Wholesaler υποτέθηκε ότι ο πάροχος επικεντρώνεται αποκλειστικά στο κομμάτι του Capacity χωρίς να εμπλακεί καθόλου σε αυτό του Dark Fiber.
- Το ARPU του Dark Fiber Provider είναι 16 € μηνιαίως παραμένοντας σταθερό και αυτό του Capacity Wholesaler 31,54 € μηνιαίως, αυξανόμενο κατά 2% ετησίως.
- Εξετάστηκε τόσο η περίπτωση της κατασκευής του δικτύου εξ αρχής ,όσο και αυτή της κατασκευής του 10% του δικτύου κάθε χρόνο,ώστε τελικά να χρειαστεί 10 χρόνια η κατασκευή του.

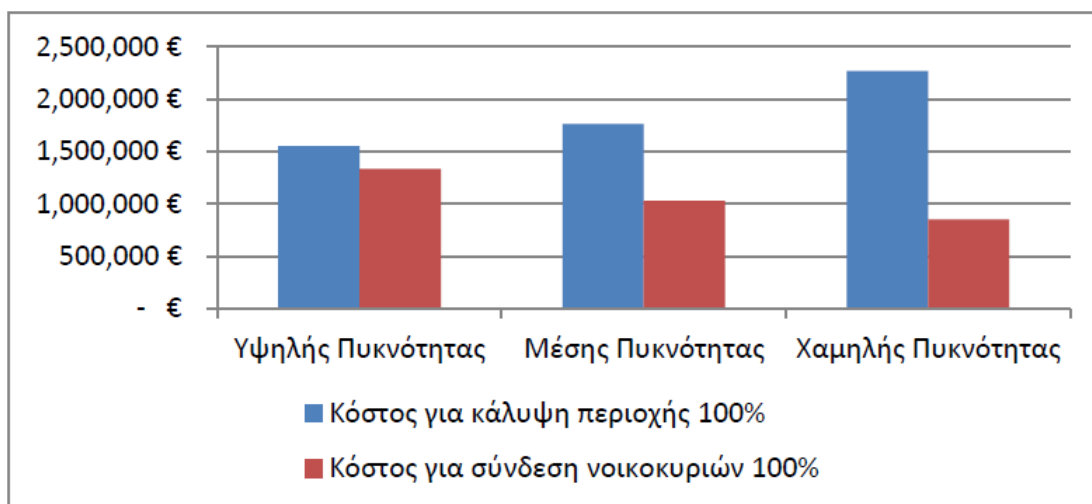
- Οι τιμές των στοιχείων του δικτύου παραμένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της κατασκευής αυτού.
- Αντίστοιχα, οι χρήστες ανά ζώνη ,εξάγοντας και τα αντίστοιχα μέσα μήκη, κατανεμήθηκαν ως εξής:

Ζώνη	Τελικοί Χρήστες	Μήκος Δρόμων	Μήκος Δρόμου ανά Κτίριο	Μήκος Δρόμου ανά Τελικό Χρήστη
Μεγάλης Πυκνότητας	3.056	14.652	5,57 m	4,80 m
Μεσαίας Πυκνότητας	2.335	29.305	18,20 m	12,55 m
Μικρης Πυκνότητας	1.899	43.957	50,03 m	23,15 m
Σύνολο	7.290	87.914	-	-

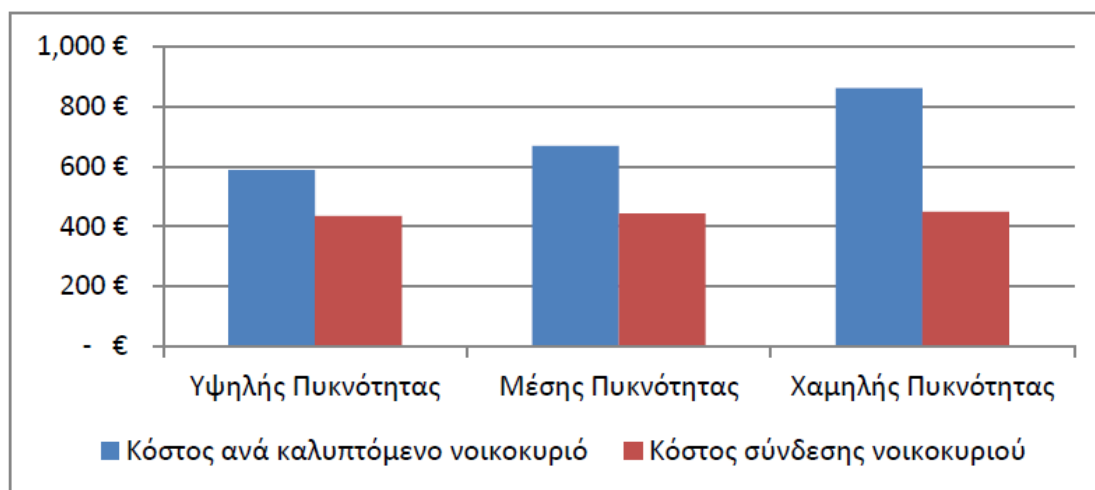
Πίνακας 4.2 : Κατανομή Χρηστών ανά Ζώνη και προκύπτοντα μέσα μήη ανά κτίριο και τελικό χρήστη

4.2.1 Στοιχεία και Συμπεράσματα Υπάρχοντος Μοντέλου

Με βάση τις παραδοχές αυτές, μοντελοποιήθηκε η ανάπτυξη ενός PtP και ενός PtMP οπτικού δικτύου πρόσβασης. Οι δύο αυτές περιπτώσεις παρουσιάζουν κάποιες διαφορές φυσικά, αλλά η γενικότερη συμπεριφορά και των δύο είναι παρόμοια, ίσως και περισσότερο από όσο θα περίμενε κανείς. Τα κύρια συμπεράσματα του μοντέλου PtP παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:

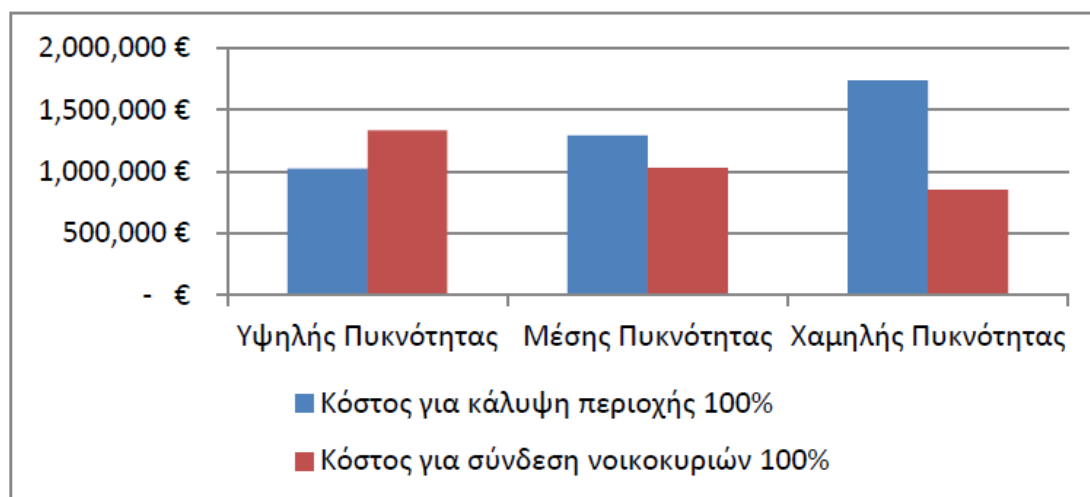


Σχήμα 4.1:Κόστος για κάλυψη περιοχής 100% και για σύνδεση νοικοκυριών 100% σε PtP δίκτυο

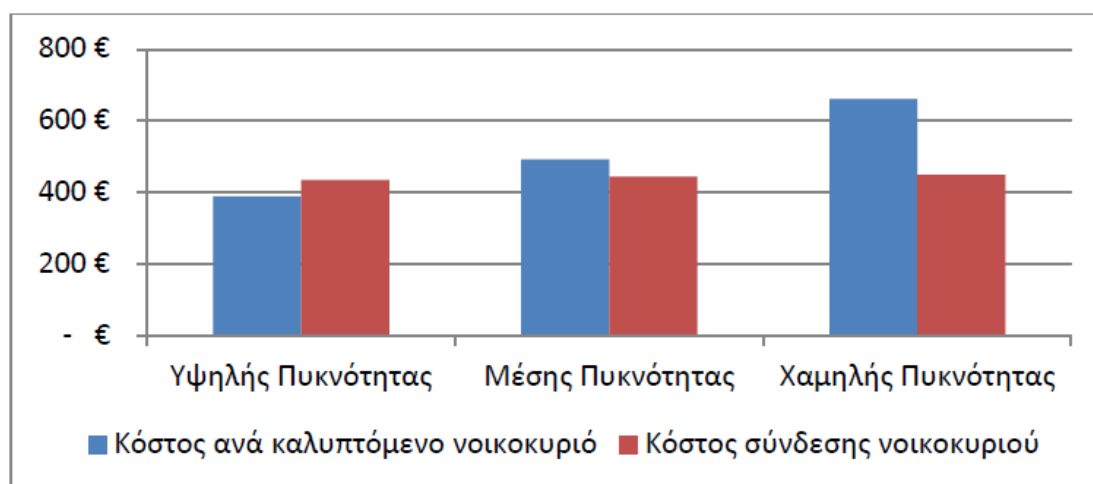


Σχήμα 4.2:Κόστος ανά καλυπτόμενο νοικοκυριό και κόστος σύνδεσης νοικοκυριού σε PtP δίκτυο

Τα αντίστοιχα στοιχεία για το PtMP δίκτυο παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 4.3: Κόστος για κάλυψη περιοχής 100% και για σύνδεση νοικοκυριών 100% σε PtMP δίκτυο



Σχήμα 4.4: Κόστος ανά καλυπτόμενο νοικοκυριό και κόστος σύνδεσης νοικοκυριού σε PtMP δίκτυο

Σύμφωνα με αυτά, υπολογίστηκε η ΚΠΑ για κάθε σενάριο σε συνάρτηση του βαθμού διείσδυσης, ξεκινώντας με 10% και φτάνοντας στην περίπτωση του 100%.

4.3 Επέκταση Υπάρχοντος Μοντέλου σε Περαιτέρω Case Studies

Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια επέκτασης του υπάρχοντος μοντέλου, ώστε να μελετηθούν μερικά ακόμη case studies. Συγκεκριμένα:

- εξετάζεται η περίπτωση του παρόχου λιανικής, όπου ένας και μόνο πάροχος είναι υπεύθυνος για όλες τις υπηρεσίες του καταναλωτή.

- επεκτείνεται το μοντέλο του παρόχου χωρητικότητας με το σενάριο του “ρεαλιστικού παρόχου χωρητικότητας”, κατά το οποίο ο πάροχος λειτουργεί ταυτόχρονα και ως πάροχος χωρητικότητας, αλλά και ως πάροχος παθητικής υποδομής
- επεκτείνεται το μοντέλο του παρόχου λιανικής με το σενάριο του “ρεαλιστικού παρόχου λιανικής”, κατά το οποίο ο πάροχος λειτουργεί ταυτόχρονα και ως πάροχος λιανικής, αλλά και ως πάροχος χωρητικότητας και ως πάροχος παθητικής υποδομής

Αξίζει να σημειωθεί πως το τελευταίο μοντέλο είναι αυτό που συναντάται πιο συχνά στην πράξη, ειδικά στην αγορά του aDSL, όπου συνηθίζεται ο incumbent πάροχος πέραν των υπηρεσιών λιανικής να λειτουργεί τόσο ως πάροχος χωρητικότητας (οι λεγόμενες “APYΣ συνδέσεις” (όπου APYΣ είναι η Ασύμμετρου Ρυθμού Σύνδεση) της ελληνικής αγοράς, όσο και ως πάροχος παθητικής υποδομής (που είναι οι Ilu συνδέσεις).

Παρουσιάζει ενδιαφέρον το πώς επηρεάζεται η ΚΠΑ τόσο από την αλλαγή του ARPU σε όλες τις περιπτώσεις όσο και από την αλλαγή των επιμέρους βαθμών διείσδυσης των διάφορων τρόπων παροχής υπηρεσιών στα “ρεαλιστικά σενάρια”. Σε αυτό το πλαίσιο επιχειρείται μία ανάλυση της σχετικής ευαισθησίας των στοιχείων αυτών.

4.4 Βασικές Παραδοχές και Υποθέσεις του Μοντέλου

Κρατήσαμε τις παραδοχές της παραγράφου 4.1, χρησιμοποιώντας και πάλι ως κριτήριο την ΚΠΑ. Επεκτείνοντας το μοντέλο και στον πάροχο λιανικής, θεωρήσαμε μηνιαίο ARPU 50€ με ετήσια αύξηση 2%. Επίσης, για την περίπτωση του παρόχου λιανικής θεωρούμε ένα επιπλέον έξοδο 500€ για τον αντίστοιχο εξοπλισμό που χρειάζεται ανά χρήστη, καθώς και μηνιαίο κόστος 3€ ως επιπλέον διαχειριστικό κόστος για την εξυπηρέτηση των συνδρομητών του Retailer ύψους 6% του ARPU. Θεωρούμε σε όλες τις περιπτώσεις σταδιακή κατασκευή του δικτύου.

Δεν υπολογίζουμε κάποιο ποσό από τη διεκπεραίωση της τηλεφωνικής κίνησης όσον αφορά τα τέλη τερματισμού, θεωρώντας τα ίσα με τα τέλη τερματισμού που εισπράτουμε (break even).

Τα υπόλοιπα κόστη παρέμειναν ίδια με αυτά της παραγράφου 4.1. Αξίζει να σημειωθεί πως αν έχουμε περίπτωση ρεαλιστικού παρόχου με καταμερισμό των συνδρομητών σε διαφορετικά business models, προκύπτουν επιμέρους διαφορετικά έξοδα και έσοδα που επηρεάζουν το καθένα ξεχωριστά την εξέλιξη της ΚΠΑ.

Τέλος, παρουσιάζουμε και τις παραδοχές κόστους για τα επιμέρους στοιχεία του οπτικού δικτύου πρόσβασης

Στοιχείο	Τιμή	Στοιχείο	Τιμή
Mini trenching	12€/m	ODF patch cabling	11€
Micro trenching	6€/m	Splicing	15€
Cost of internal cabling per floor	250€	ODF (House/building)	150€
Cabin DAP	5.000 €	Splitter Cost	30€
Cabin NAP	8.000 €	Active Ethernet OLT	1.000 €
Handholes	400€	Ethernet Port 10Gbps	2.000€
Laying fiber in Buildings	300€	Ethernet Port 1Gbps	120€
X1 Trench (6 tubes)	15€	ODF port	15€
X2 Trench(2 tubes)	12€	Ethernet CPE	100€
X3 Trench(1 tube) lead-in	25€	GPON CPE	100€
Internal per Floor	300,00 €	GPON OLT	1.000€
ODF Int	150,00 €	GPON ONT	500€
2 fibers cable	1 €	ODF1 (NAP)	16.800,00 €
8 fibers cable	1,5€	ODF2 (DAP)	2.400,00 €
24 fibers cable	2€	1x1 Ducts	2€
48 fibers cable	2,5€	24x8 Ducts	2€
96 fibers cable	3 €	7x96 Ducts	3€

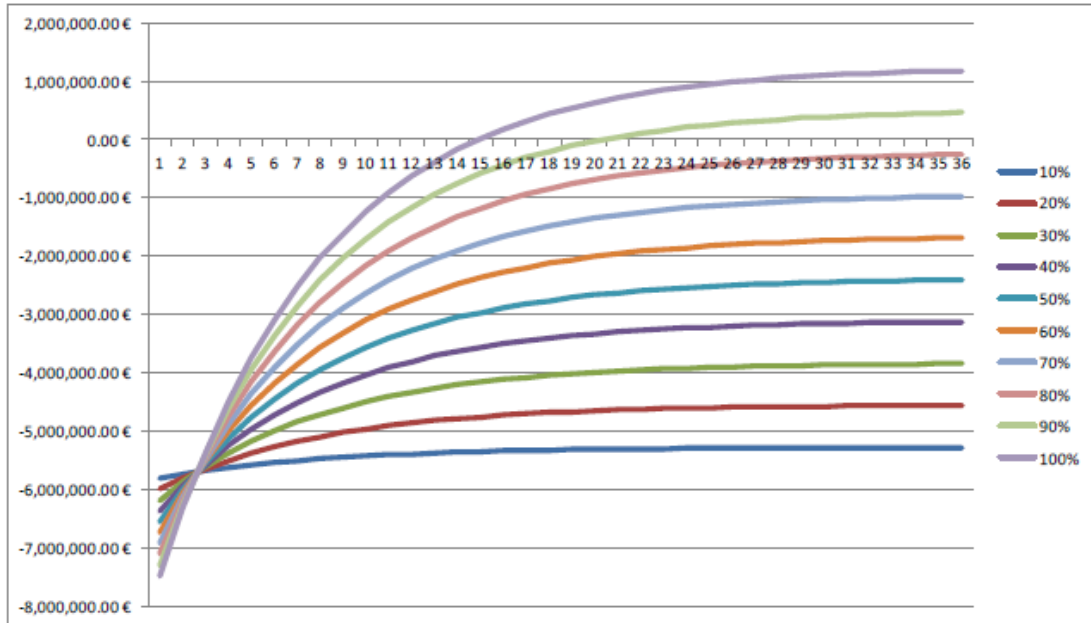
Πίνακας 4.3: Παραδοχές κόστους για τα επιμέρους στοιχεία του οπτικού δικτύου πρόσβασης

4.5 Αποτελέσματα Μοντέλου

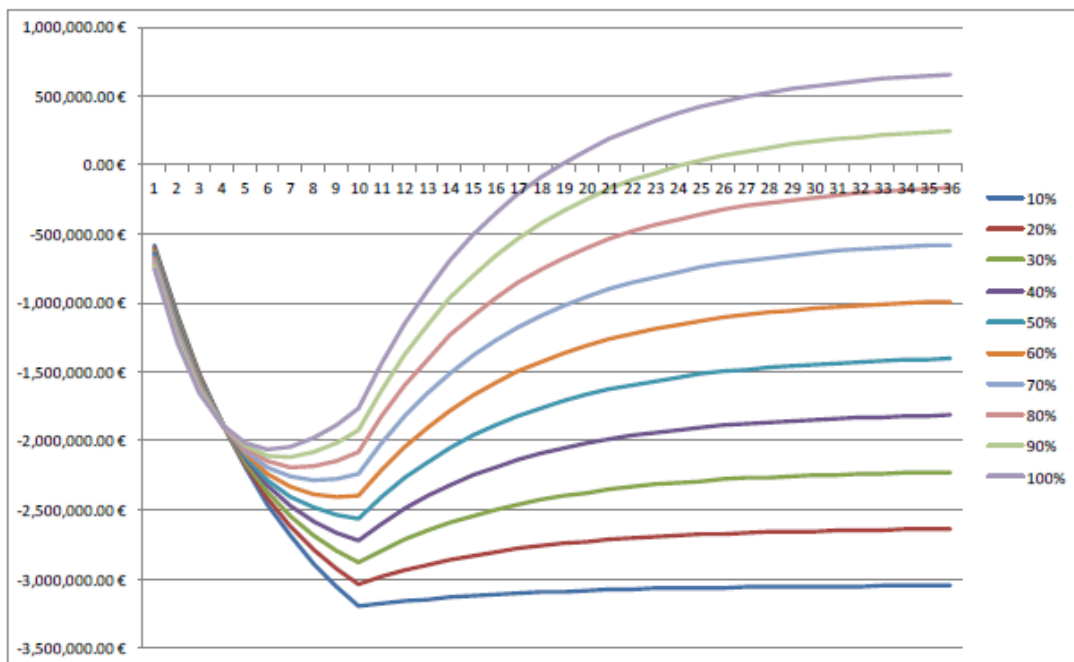
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου σε όλα τα Case Studies που εξετάστηκαν, ενώ ακολουθούν τόσο η παρουσίαση αυτών, όσο και τα σχετικά συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη των αποτελεσμάτων. Αρχικά παρατίθενται τα case studies του Dark Fiber Provider και του Capacity Wholesaler όπως αυτά μελετήθηκαν στο ήδη υπάρχον μοντέλο και στη συνέχεια αυτό επεκτείνεται με τις περιπτώσεις των Retailer, Realistic Wholesaler και Realistic Retailer. Ειδικά για τις περιπτώσεις των Realistic Wholesaler και Realistic Retailer, εξετάζονται κάποιες υποπεριπτώσεις ανάλογα με τη διείσδυση της κάθε επιμέρους υπηρεσίας.

4.5.1 Case Study : Dark Fiber Provider

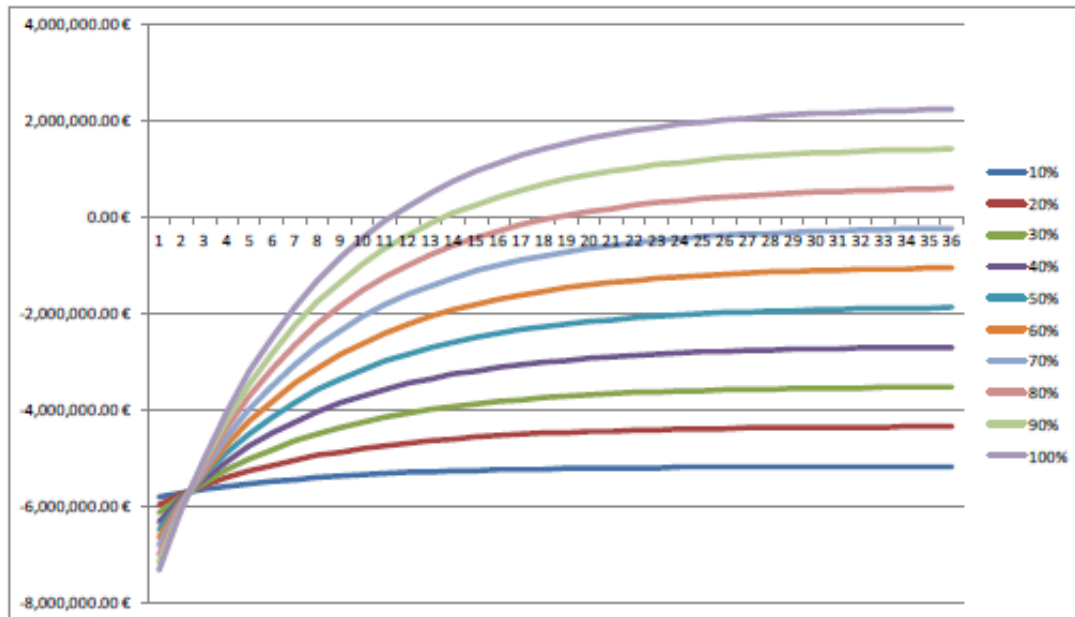
Παρατίθενται, ενδεικτικά, κάποια αποτελέσματα, αρχικά για κατασκευή του δικτύου από την πρώτη μέρα και στη συνέχεια για προοδευτική κατασκευή (staged development) του δικτύου όπως αυτά εξάχθησαν από το αρχικό μοντέλο για Dark Fiber Provider.



Σχήμα 4.5 : NPV Παρόχου Παθητικής Υποδομής σε συνάρτηση του βαθμού διεξόδου σε δίκτυο ολοκληρωμένο από την πρώτη μέρα



Σχήμα 4.6: NPV Παρόχου Παθητικής Υποδομής σε συνάρτηση του βαθμού διεξόδου σε staged developed δίκτυο με ολοκλήρωση σε 10 χρόνια



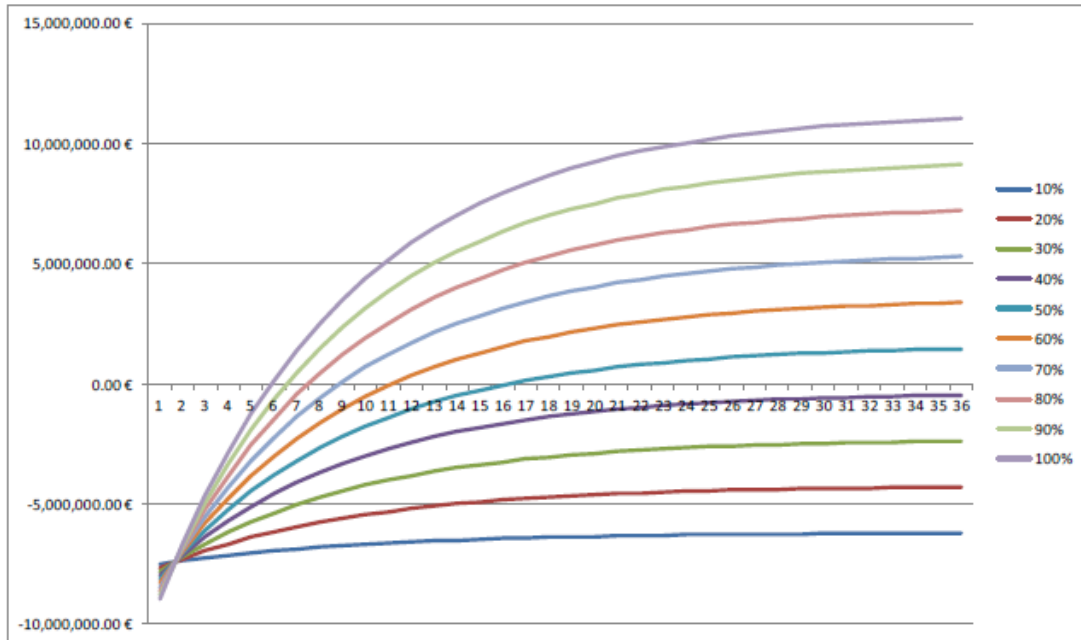
Σχήμα 4.7 : Αύξηση ARPU Παρόχου Υποδομών κατά 10%

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ελκυστικότητα της επένδυσης επηρεάζεται σημαντικά από το βαθμό διείσδυσης της υπηρεσίας. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.5 η ΚΠΑ γίνεται θετική στα 15 χρόνια για διείσδυση 100%, ενώ μετατοπίζεται στον 21^ο χρόνο για διείσδυση 90%. Μια σχετικά μικρή αλλαγή στη διείσδυση, αυξάνει σημαντικά το απαιτούμενο χρονικό διάστημα μέχρι η ΚΠΑ να γυρίσει σε θετικό έδαφος. Παρατηρούμε επίσης ότι για μικρά ποσοστά διείσδυσης, δεν έχουμε καν θετική ΚΠΑ, ακόμη και μετά από 35 χρόνια. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι κερδοφορία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με πολύ υψηλούς βαθμούς διείσδυσης. Μικρή πτώση της διείσδυσης καθυστερεί την κερδοφορία για αρκετά έως πάρα πολλά χρόνια.

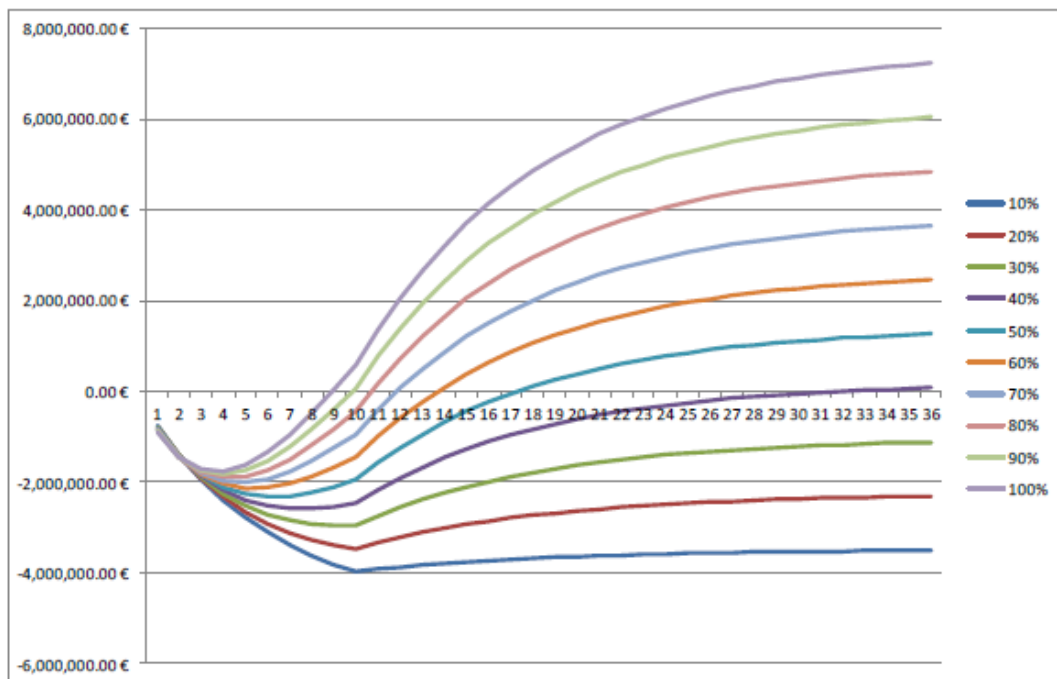
Η αύξηση του ARPU επηρεάζει και αυτή με τη σειρά της την ΚΠΑ. Συγκεκριμένα, με αύξηση κατά 10% του ARPU με διείσδυση 100% ,έχουμε θετική ΚΠΑ στα 11 χρόνια αντί των 15. Στην περίπτωση της διείσδυσης 80%, η αύξηση του ARPU κατά 10% κάνει θετική την ΚΠΑ στα 18 χρόνια ,αντί των 35 του βασικού σεναρίου, μία επίσπευση 17 χρόνων.

4.5.2 Case Study: Capacity Wholesaler

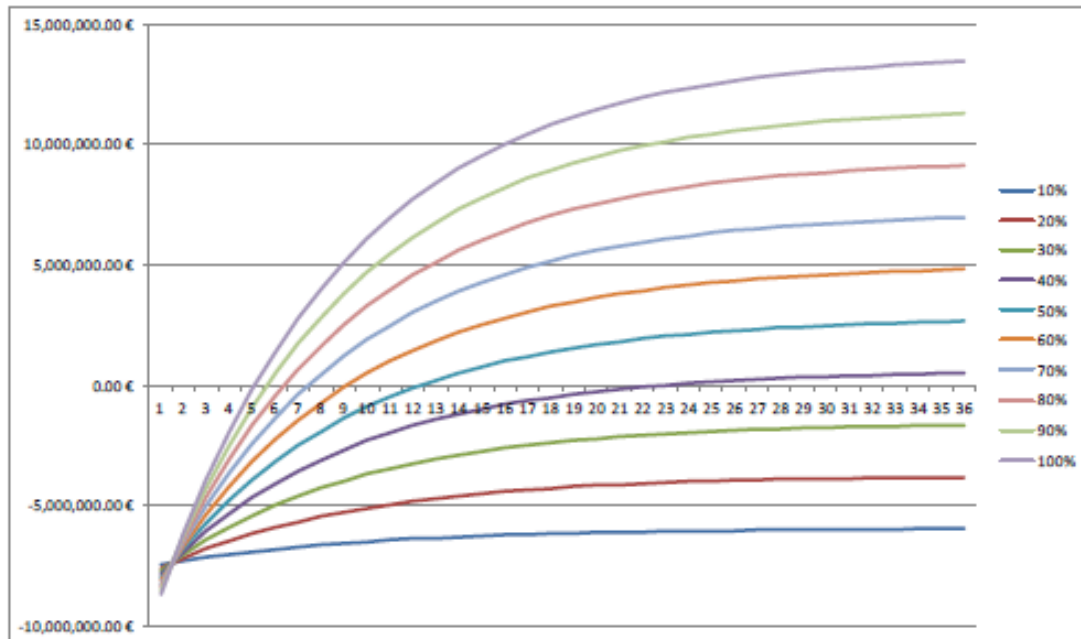
Αντίστοιχα για την περίπτωση του Capacity Wholesaler, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα στα παρακάτω Σχήματα



Σχήμα 4.8: NPV Παρόχου Χωρητικότητας σε συνάρτηση του βαθμού διεύδωσης σε δίκτυο ολοκληρωμένο από την πρώτη μέρα



Σχήμα 4.9: NPV Παρόχου Χωρητικότητας σε συνάρτηση του βαθμού διεύδωσης σε staged developed δίκτυο με ολοκλήρωση σε 10 χρόνια



Σχήμα 4.10: Αύξηση ARPU Παρόχου Χωρητικότητας κατά 10%

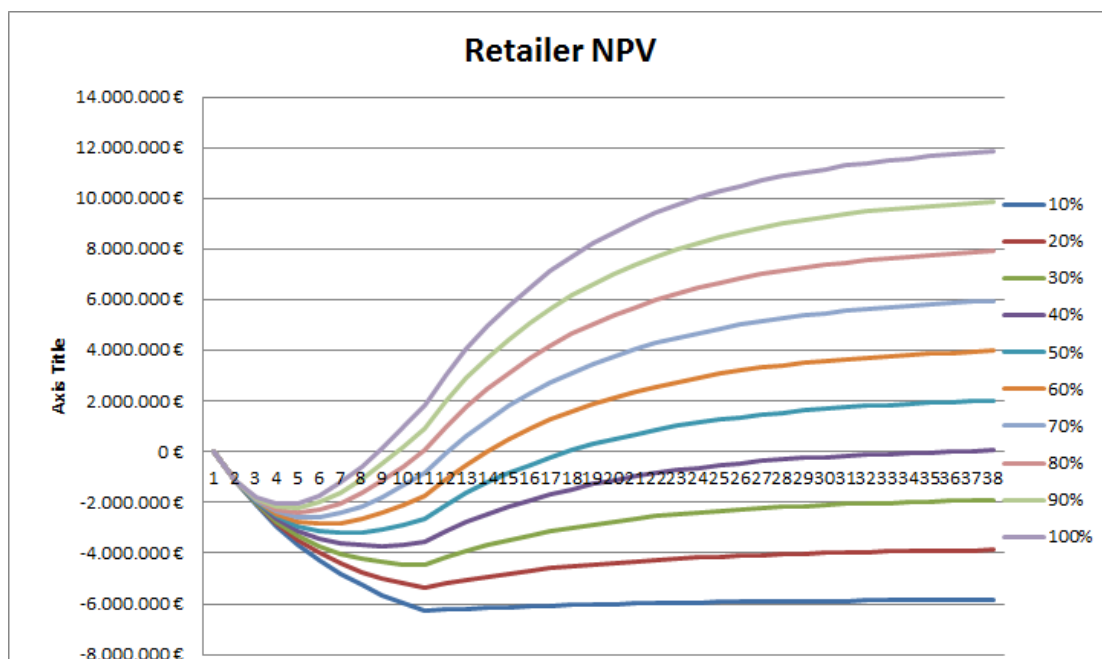
Όπως και στην περίπτωση του Παρόχου Παθητικών Υποδομών, παρατηρούμε ότι σημαντικότερο παράγοντα αποτελεί σαφώς ο βαθμός διείσδυσης. Διαφοροποίηση αυτού επιφέρει πολύ μεγάλες διαφορές στη διαμόρφωση της ΚΠΑ. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.8 παρατηρούμε ότι με βαθμό διείσδυσης 60% παρουσιάζεται θετική ΚΠΑ μετά από 11 χρόνια, ενώ με 50% μετά από 16 χρόνια. Αντίθετα, η αύξηση του ARPU μεταθέτει μεν πιο σύντομα την επίτευξη θετικής ΚΠΑ, αλλά σε σημαντικά μικρότερο χρονικό διάστημα.

Εν γένει, τα δύο αυτά μεγέθη (βαθμός διείσδυσης και ARPU) επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κερδοφορία της επένδυσης, ενώ μικρές αλλαγές σε αυτά προκαλούν μεγαλύτερες αλλαγές στην κερδοφορία. Η επίπτωση της αλλαγής του βαθμού διείσδυσης αλλάζει σε διαφορετικά ARPU. Αντίστοιχα, η αύξηση του ARPU έχει διαφορετικού εύρους επιπτώσεις στην ΚΠΑ όταν έχουμε διαφορετικούς βαθμούς διείσδυσης.

Το σημαντικό σε αυτή την περίπτωση είναι η επιλογή της υψηλότερης δυνατής τιμής (με μεθόδους ανάλυσης της ελαστικότητας της ζήτησης), που θα οδηγήσει στη μέγιστη δυνατή διείσδυση των υπηρεσιών, οπότε και στη μέγιστη κερδοφορία.

4.5.3 Case Study: Retailer

Στο Case Study του Retailer θεωρούμε ARPU 50€ με ετήσια αύξηση 2%. Έτσι, στο βασικό σενάριο, η ΚΠΑ διαμορφώνεται ως εξής:

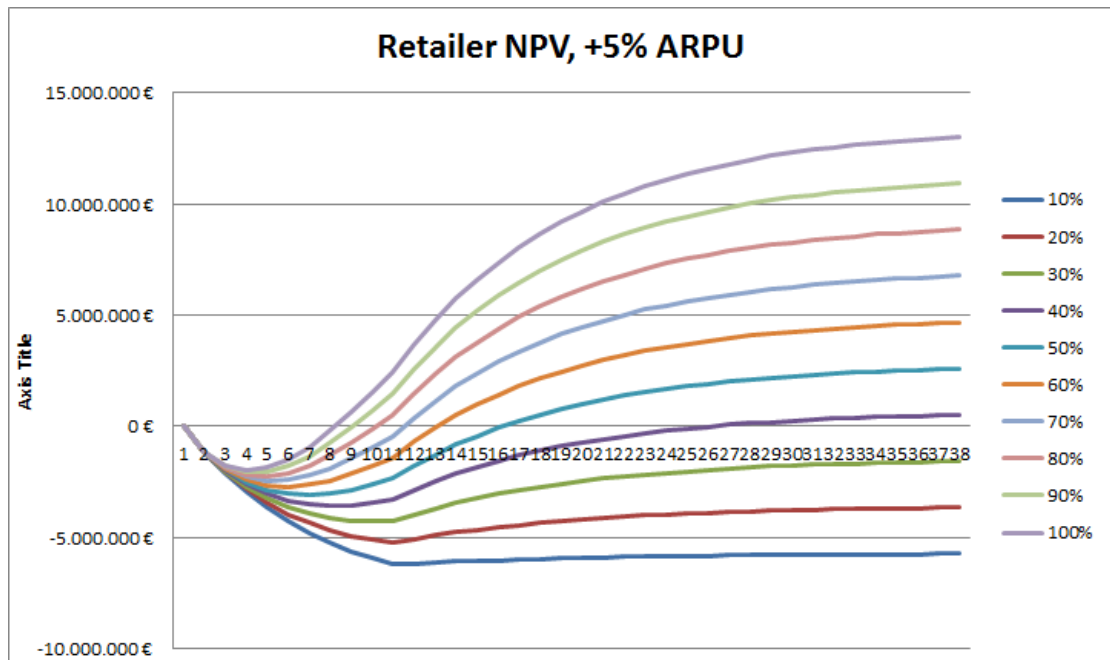


Σχήμα 4.11 : ΚΠΑ βασικού σεναρίου Retailer

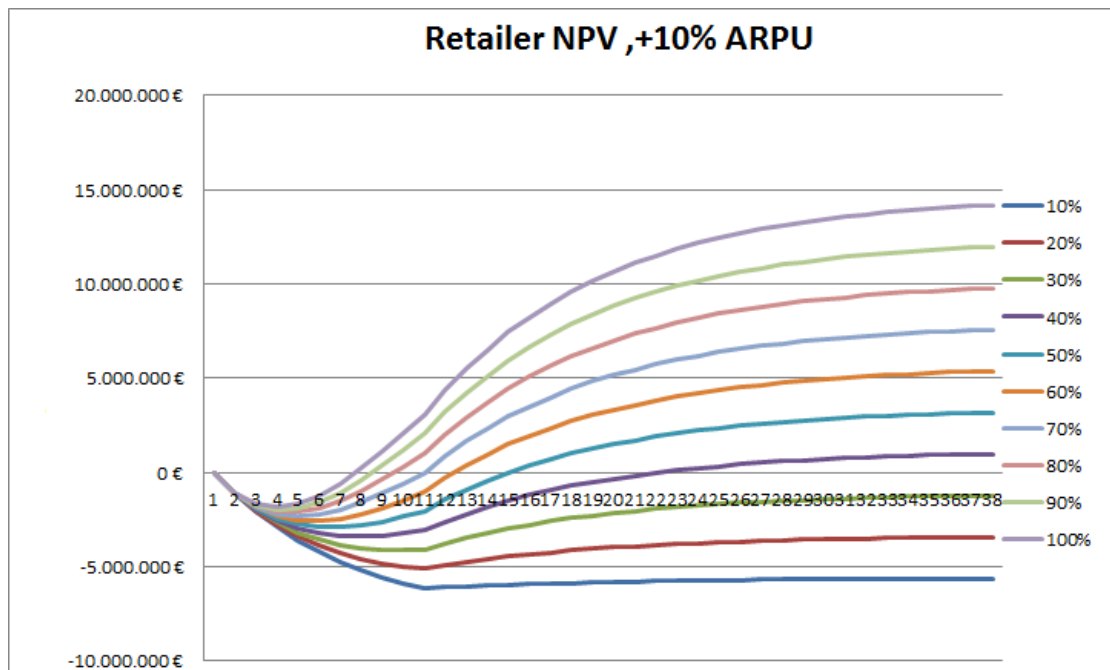
Παρατηρούμε ότι όλα τα σενάρια με διείσδυση από 40% και πάνω καταφέρνουν θετική ΚΠΑ στη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Αρχικά και μέχρι την ολοκλήρωση του δικτύου, η ΚΠΑ πέφτει περίπου μέχρι και τα -6.000.000 € (περισσότερο από τα δύο άλλα βασικά σενάρια), αλλά στη συνέχεια ανεβαίνει πολύ γρήγορα, φτάνοντας σε σαφώς υψηλότερες ΚΠΑ έως και περίπου τα 12.000.000 €. Αυτό δείχνει ότι αρχικά η επένδυση χρειάζεται μία μεγαλύτερη οικονομική στήριξη, αλλά στη συνέχεια έχει καλύτερες χρηματικές ροές.

4.5.3.1 Case Study : Retailer με αυξημένο ARPU

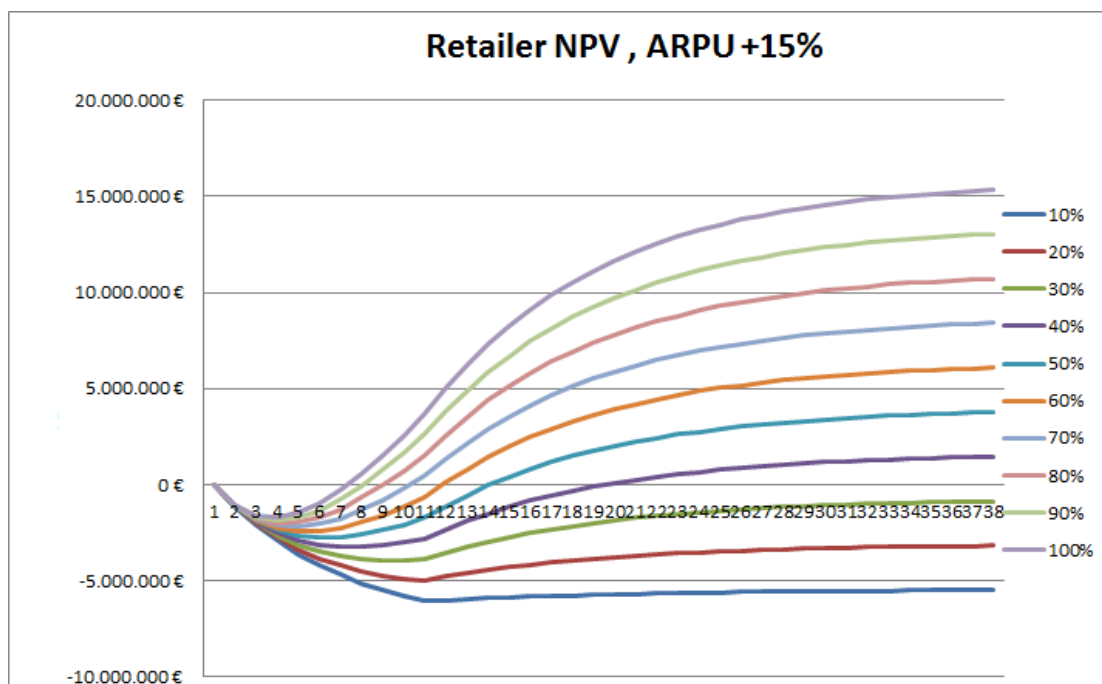
Παρακάτω παρουσιάζονται οι ΚΠΑ του βασικού σεναρίου Retailer με αυξημένο όμοιο το ARPU κατά 5%, 10% και 15% :



Σχήμα 4.12: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 5%



Σχήμα 4.13: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 10%



Σχήμα 4.14: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 15%

Παρατηρούμε ότι η αύξηση του ARPU αυξάνει μεν την ΚΠΑ, αλλά όχι ιδιαίτερα πολύ. Ακόμη και με αύξηση 15% , η διείσδυση 30% δεν καταφέρνει να γυρίσει σε θετική ΚΠΑ,σε αντίθεση με τη διείσδυση 40%, όπως και στο βασικό σενάριο άλλωστε. Φυσικά,με την αύξηση του ARPU όλα τα γραφήματα μετατοπίζονται προς τα πάνω με μεγαλύτερες ΚΠΑ , αλλά όχι καθοριστικά μεγαλύτερες, ξεπερνώντας πάντως μέχρι και τα 15.000.000 €.

4.5.4 Case Study : Realistic Wholesaler

Η περίπτωση του παρόχου χωρητικότητας έχει εξεταστεί στο υπάρχον μοντέλο. Εδώ επιχειρούμε μία πιο ρεαλιστική προσέγγιση, όπου ο πάροχος χωρητικότητας είναι ταυτόχρονα και πάροχος παθητικής υποδομής, όπως άλλωστε συνηθίζεται στην πράξη. Υπάρχουν δύο επιμέρους σενάρια: στο πρώτο η παροχή χωρητικότητας είναι στο 100% για να φτάσει στο 10% και η παροχή παθητικής υποδομής αρχικά στο 0% για να φτάσει το 90% ,ενώ στο δεύτερο τα κανονικοποιημένα μερίδια αγοράς των δύο (παροχή χωρητικότητας και παροχή παθητικής υποδομής) ισορροπούν μετά από 10 χρόνια σε ποσοστά 50% και 50%,ενώ αρχική είχαν 0% και 100% αντίστοιχα. Μετά τη δεκαετία τα επιμέρους ποσοστά παραμένουν σταθερά. Τα παραπάνω οπτικοποιούνται στους Πίνακες 4.1 και 4.2 :

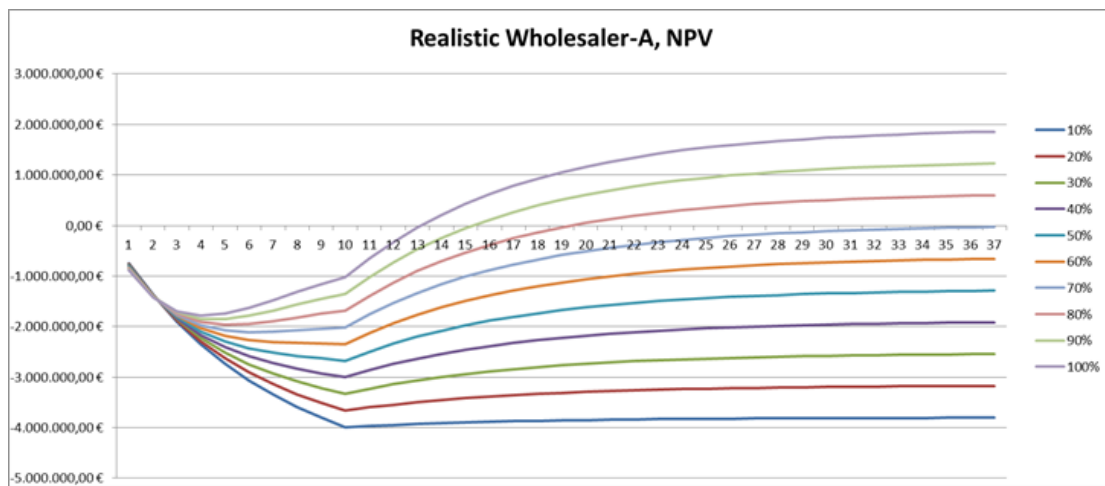
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Χωρ/τα	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Φυσ.Υπ.	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%

Πίνακας 4.4 : Εξέλιξη κανονικοποιημένων μεριδίων αγοράς σεναρίου Α

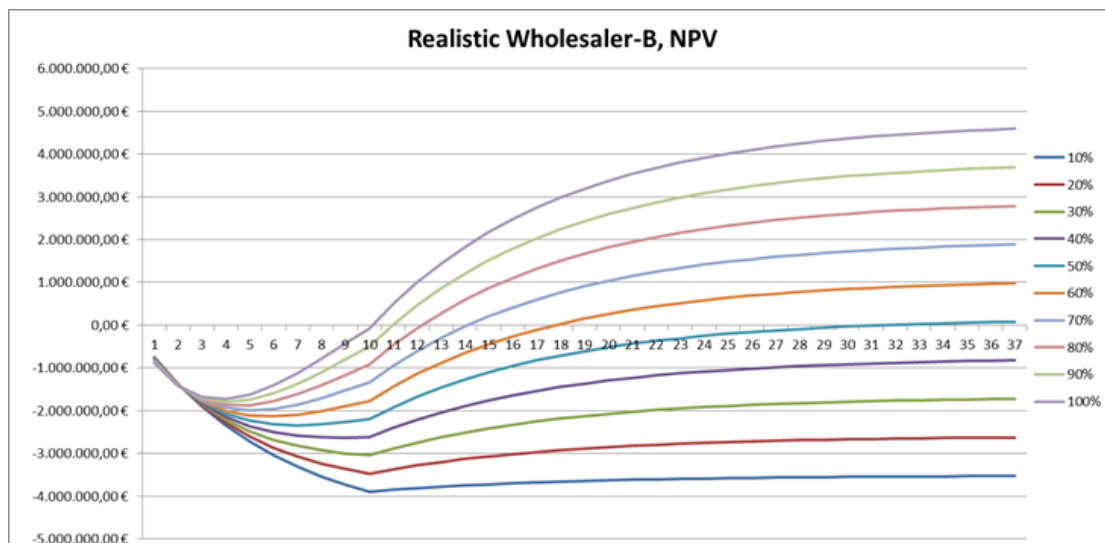
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Χωρ/τα	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	50%
Φυσ.Υπ.	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	50%

Πίνακας 4.5: Εξέλιξη κανονικοποιημένων μεριδίων αγοράς σεναρίου Β

Για κάθε σενάριο προκύπτουν και οι αντίστοιχες ΚΠΑ με ARPU για κάθε υπηρεσία αυτό που της αντιστοιχεί (16 € για την παθητική υποδομή και 31,54 € για τη χωρητικότητα) :



Σχήμα 4.15: ΚΠΑ Βασικού Σεναρίου Wholesaler-A

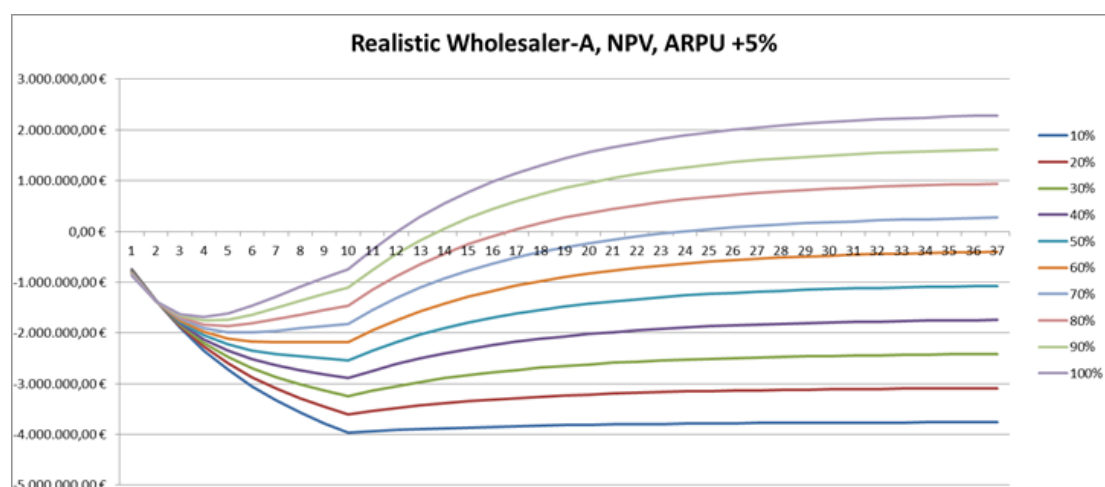


Σχήμα 4.16: ΚΠΑ Βασικού Σεναρίου Wholesaler-B

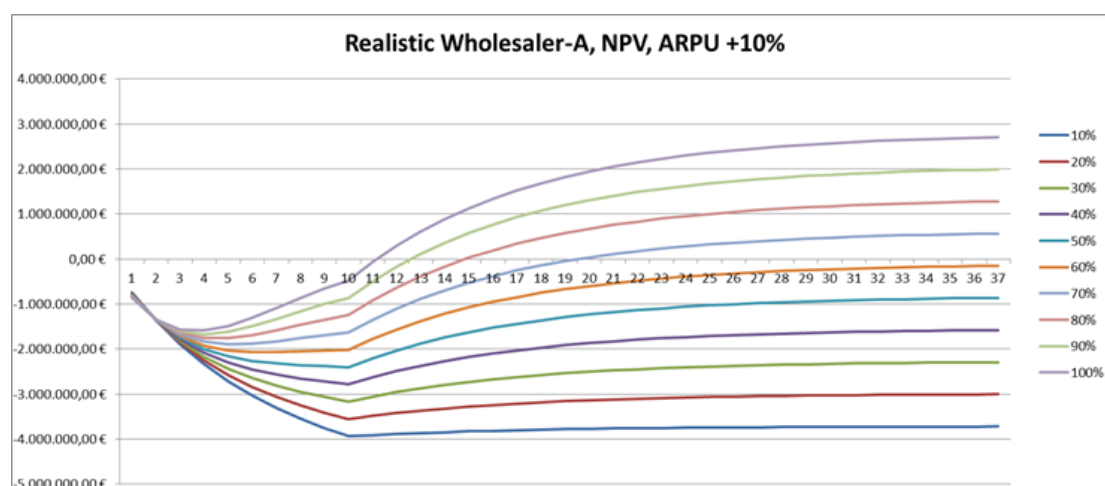
Παρατηρούμε ότι το Σενάριο Β είναι σαφώς πιο ελκυστικό, γεγονός αναμενόμενο, μιας και έχει σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό Capacity Wholesaler από το Σενάριο Α. Το Σενάριο Α μοιάζει αρκετά με το υπάρχον Μοντέλο παρόχου παθητικής υποδομής, μιας και καταλήγει σε 90% μερίδιο παροχής παθητικής υποδομής. Το Σενάριο Β είναι κάτι ενδιάμεσο του Dark Fiber Provider και του Capacity Wholesaler, όπου ακόμα και ο βαθμός διεξόδου επιτυγχάνει θετική ΚΠΑ, ενώ με 100% η ΚΠΑ προσεγγίζει μέχρι και τα 5.000.000 €.

4.5.4.1 Case Study : Realistic Wholesaler με αυξημένο ARPU

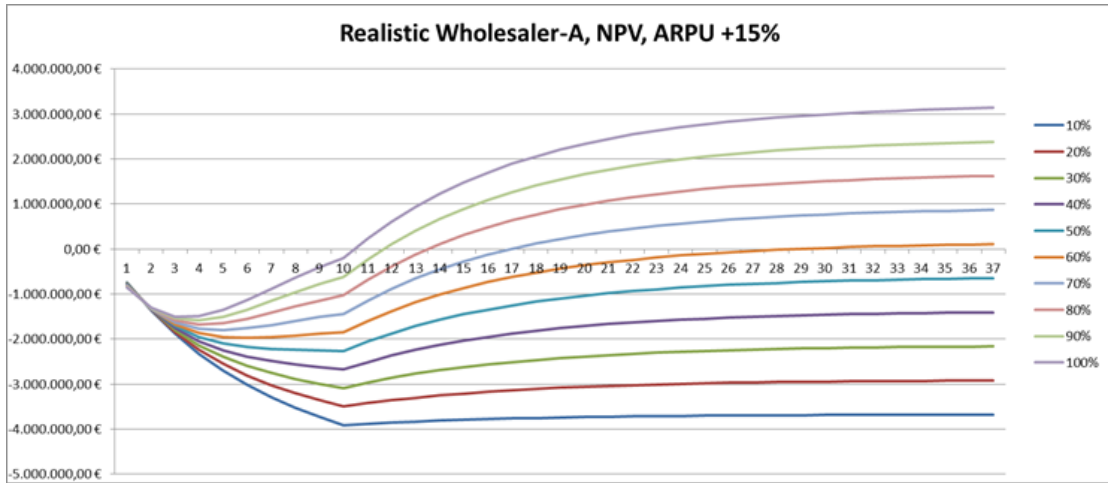
Ακολουθούν τα γραφήματα με τις ΚΠΑ των σεναρίων Wholesaler A & B με αυξημένο ARPU 5%, 10% και 15% κατά περίπτωση:



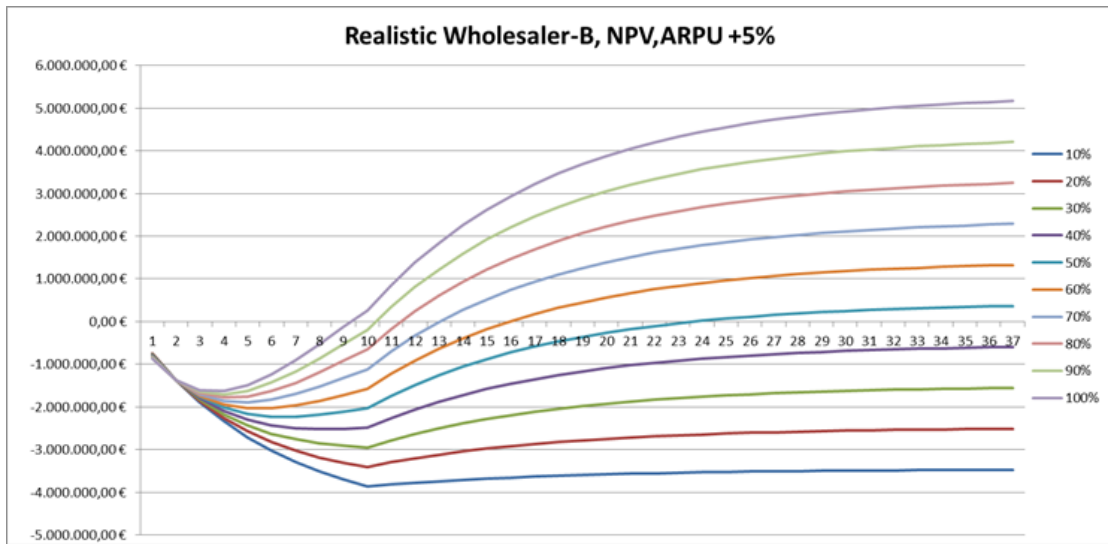
Σχήμα 4.17: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 5%



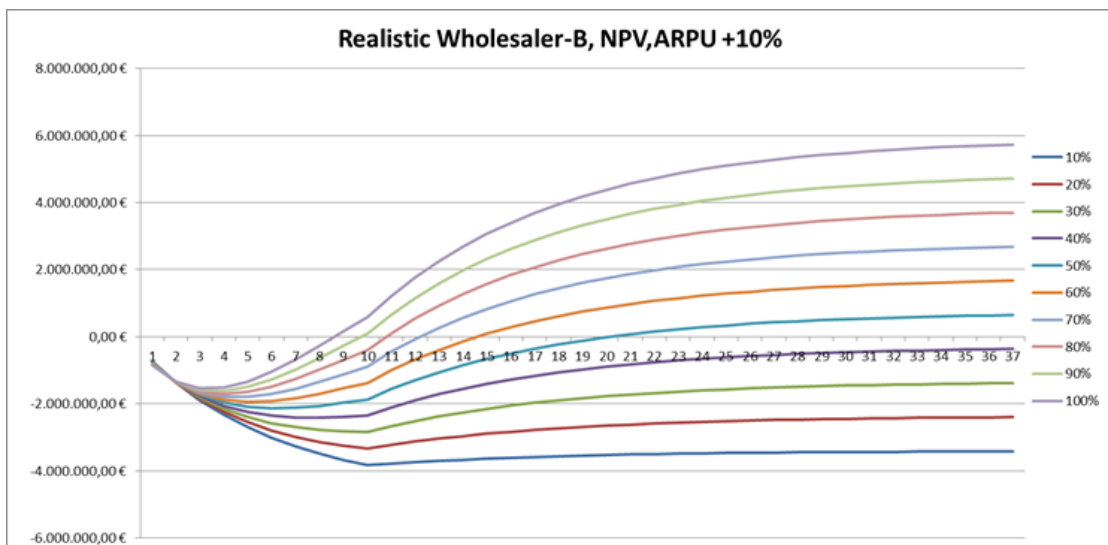
Σχήμα 4.18: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 10%



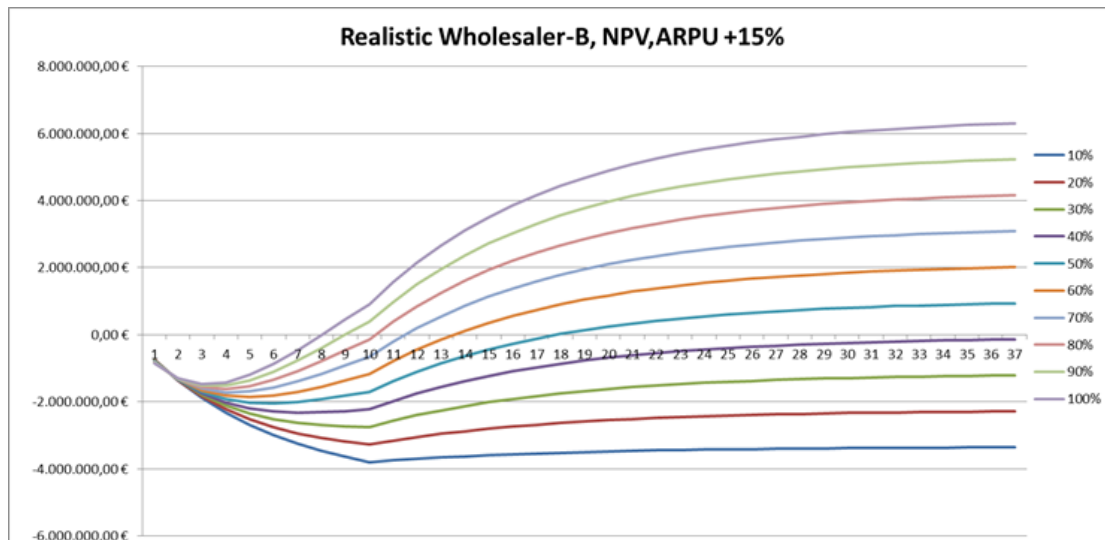
Σχήμα 4.19: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 15%



Σχήμα 4.20: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 5%



Σχήμα 4.21: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 10%



Σχήμα 4.22: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 15%

Όπως και στην περίπτωση του βασικού σεναρίου του Retailer, η αύξηση του ARPU βελτιώνει την ΚΠΑ, αλλά όχι καθοριστικά. Στο σενάριο του Realistic Wholesaler-A τα ποσοστά διείσδυσης 70% και 60% καταφέρνουν θετικές ΚΠΑ με την αύξηση του ARPU, σε αντίθεση με το βασικό σενάριο. Στο σενάριο του Realistic Wholesaler-B δεν επιτυγχάνεται κάτι παρόμοιο, αλλά με αύξηση του ARPU κατά 15%, η ΚΠΑ ξεπερνάει ακόμη και τα 6.000.000 €.

4.5.5 Case Study : Realistic Retailer

Όπως και στην περίπτωση του Retailer, επιχειρήσαμε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Στην πράξη ένας πάροχος λιανικής, παρέχει και χωρητικότητα αλλά και παθητική υποδομή, εφόσον βέβαια «ανοίξει» το δίκτυό του προς τους ανταγωνιστές του. Φυσικά, κάτι τέτοιο συνήθως συναντά την ιδιαίτερη απροθυμία των παρόχων, καθώς (όπως είναι αναμενόμενο) επιχειρούν την εγκαθίδρυση, αλλά και διατήρηση μονοπωλιακών καθεστώτων.

Αυτή τη φορά προσεγγίστηκαν 3 σενάρια (Retailer-A, Retailer-B και Retailer-C), κατά τα οποία τον πρώτο χρόνο οι υπηρεσίες λιανικής έχουν σχετικό μερίδιο αγοράς 100%, ενώ στη συνέχεια :

1. η αγορά μετά από 10 χρόνια φτάνει στην ισορροπία Retailer 50%, Capacity Wholesaler 5% και Dark Fiber Provider 45 %
2. η αγορά μετά από 10 χρόνια φτάνει στην ισορροπία Retailer 50%, Capacity Wholesaler 25% και Dark Fiber Provider 25%
3. η αγορά μετά από 10 χρόνια φτάνει στην ισορροπία Retailer 34%, Capacity Wholesaler 33% και Dark Fiber Provider 33%

Η διαχρονική εξέλιξη των σχετικών μεριδίων αγοράς φαίνεται στους Πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Φυσ.Υπ	0%	0,5%	2%	4,5%	8%	12,5%	18%	24,5%	32%	45%
Χωρ/τα.	0%	4,5%	8%	10,5%	12%	12,5%	12%	10,5%	8%	5%
Λιανική	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	50%

Πίνακας 4.6: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-A

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Φυσ.Υπ	0%	4,8%	9%	12,8%	16%	18,8%	21%	22,8%	24%	25%
Χωρ/τα.	0%	0,2%	1%	2,2%	4%	6,2%	9%	12,2%	16%	25%
Λιανική	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	50%

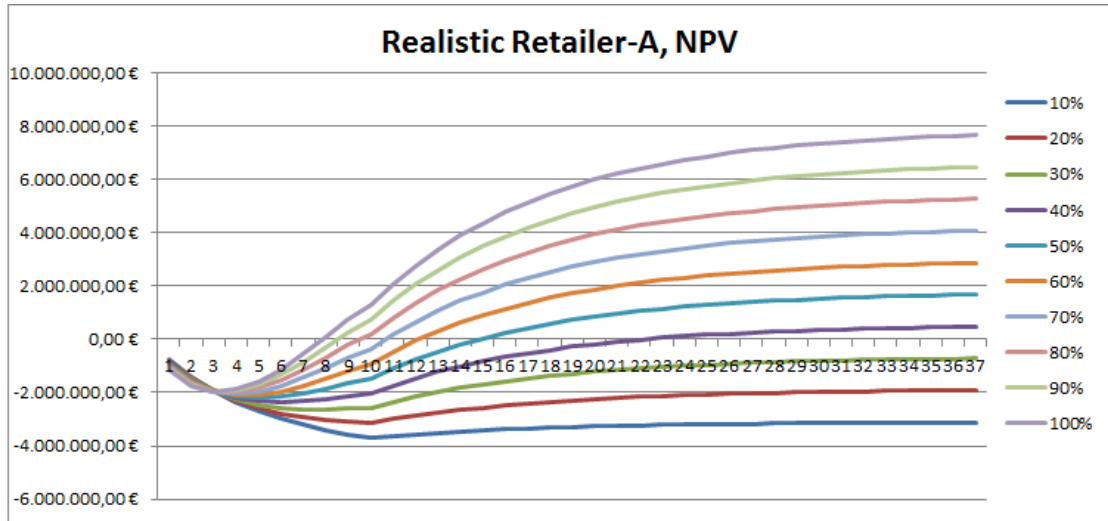
Πίνακας 4.7: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-B

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Φυσ.Υπ	0%	0,3%	1,5%	3,3%	5,8%	9%	12,9%	17,8%	23,2%	33%
Χωρ/τα.	0%	6,7%	13,5%	18,7%	23,2%	27%	30,1%	33,2%	34,8%	33%
Λιανική	100%	93%	85%	78%	71%	64%	57%	49%	42%	34%

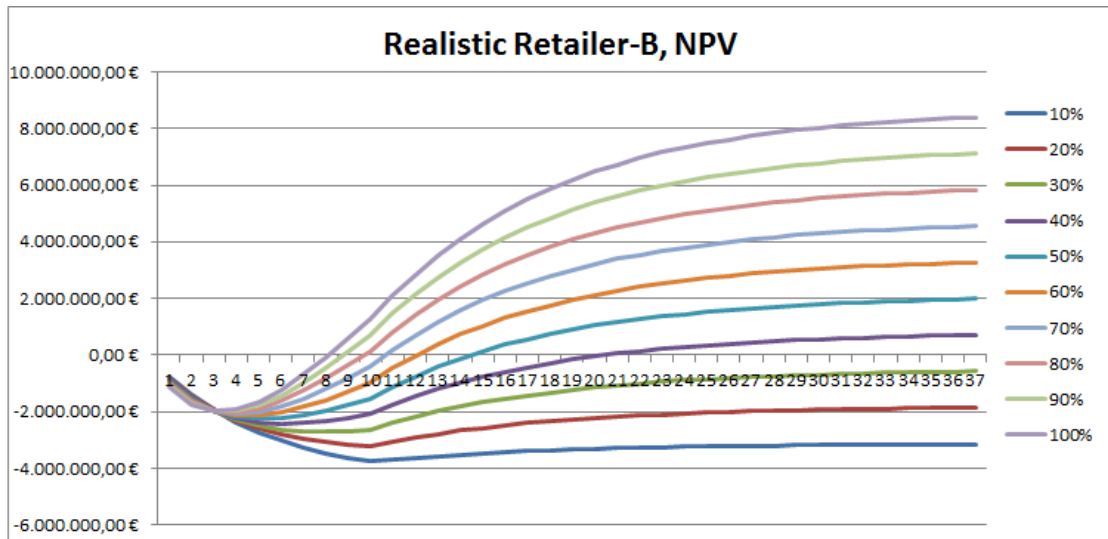
Πίνακας 4.8: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-C

Όπως και πριν, μετά τη δεκαετία τα επιμέρους ποσοστά παραμένουν σταθερά. Οι τρεις αυτές προσεγγίσεις αποτελούν τρεις βασικές υποθέσεις. Οποιαδήποτε άλλη περίπτωση μπορεί να αναχθεί σε κάτι (λιγότερο ή περισσότερο) κοντινό σε κάποια από αυτές τις τρεις προσεγγίσεις.

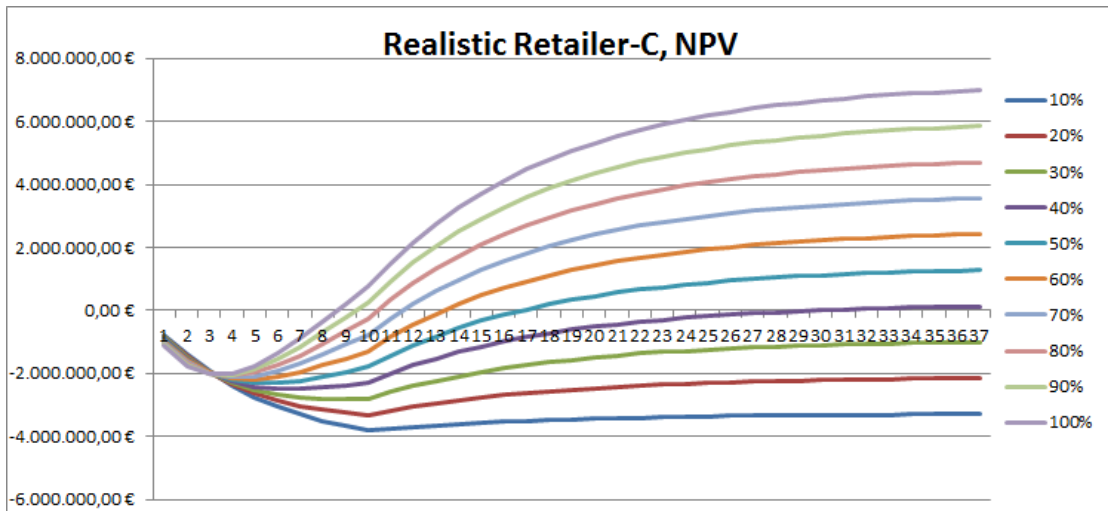
Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα, όπου και έχουν υπολογιστεί οι ΚΠΑ κατά περίπτωση:



Σχήμα 4.23: ΚΠΑ Realistic Retailer-A



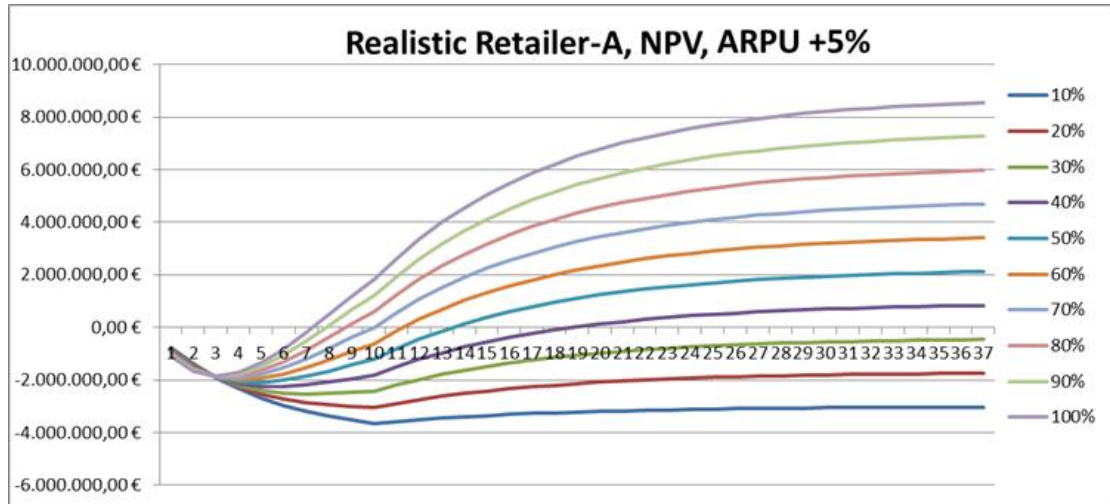
Σχ 4.24: ΚΠΑ Realistic Retailer-B



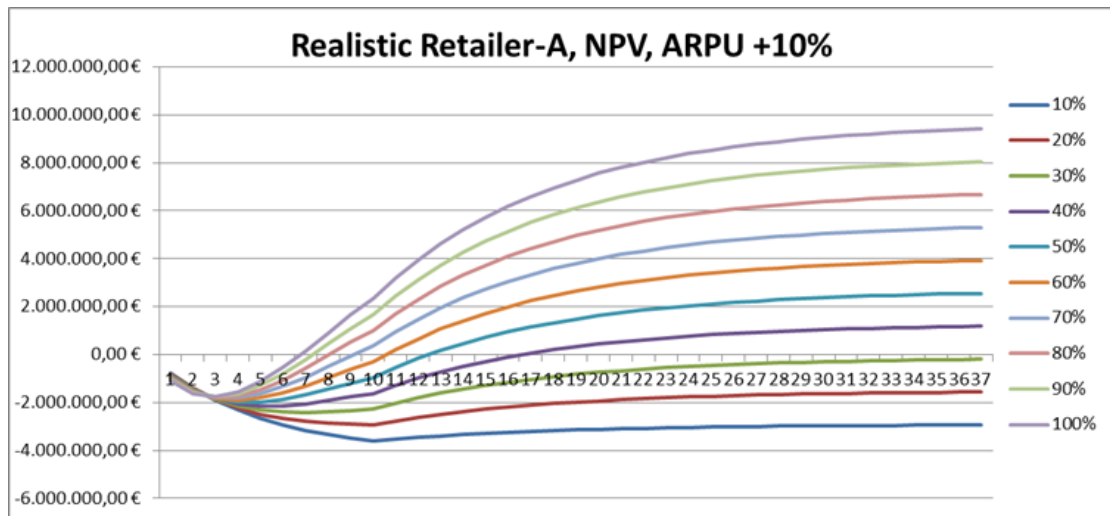
Σχήμα 4.25: ΚΠΑ Realistic Retailer-C

4.5.5.1 Case Study : Realistic Retailer με αυξημένο ARPU

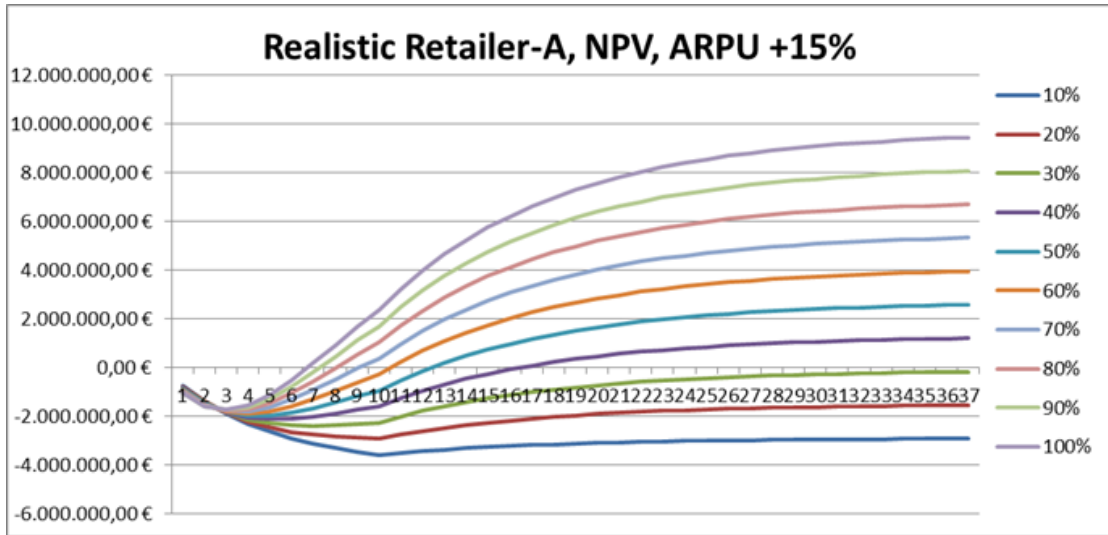
Σε πλήρη αντιστοιχία με πριν, εξετάζουμε τα σενάρια με αύξηση του ARPU κατά 5%, 10% και 15% σε κάθε επιμέρους αγορά .Αρχικά για το σενάριο Realistic Retailer-A:



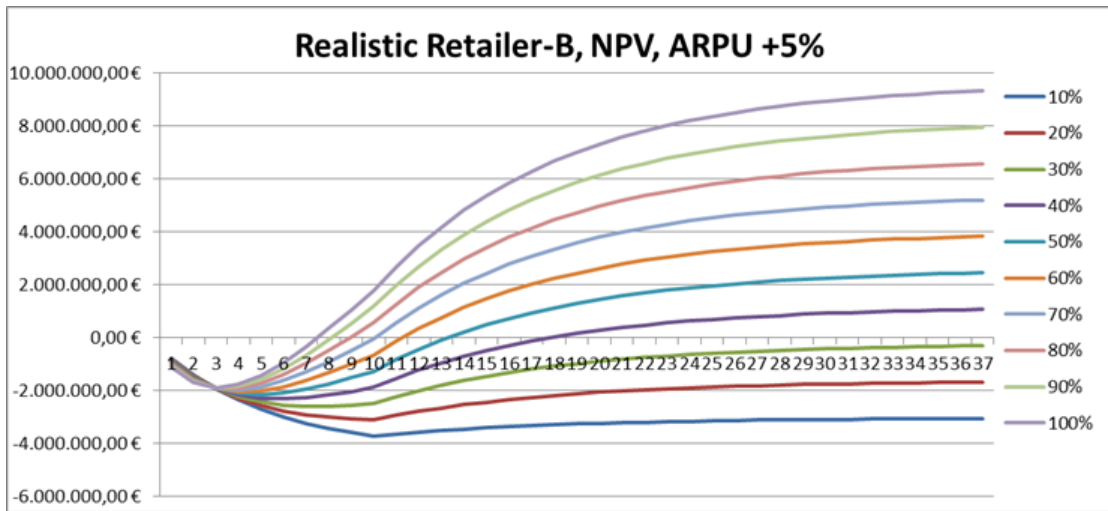
Σχήμα 4.26: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 5%



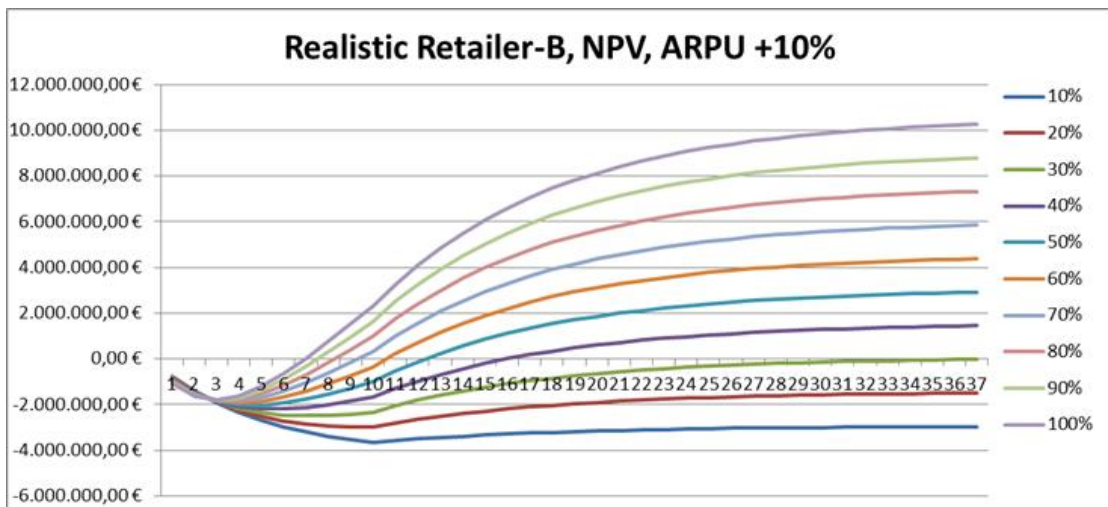
Σχήμα 4.27: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 10%



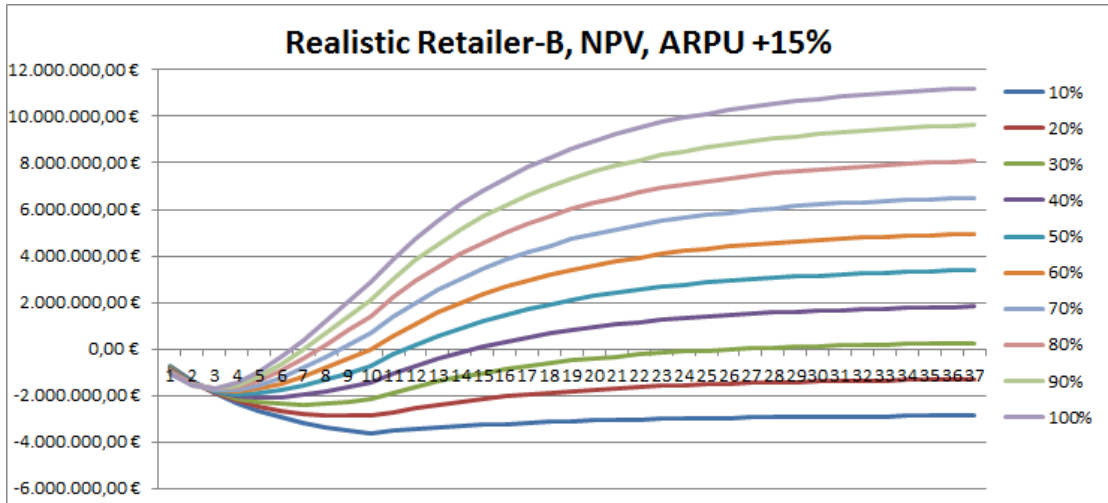
Σχήμα 4.28: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 15%



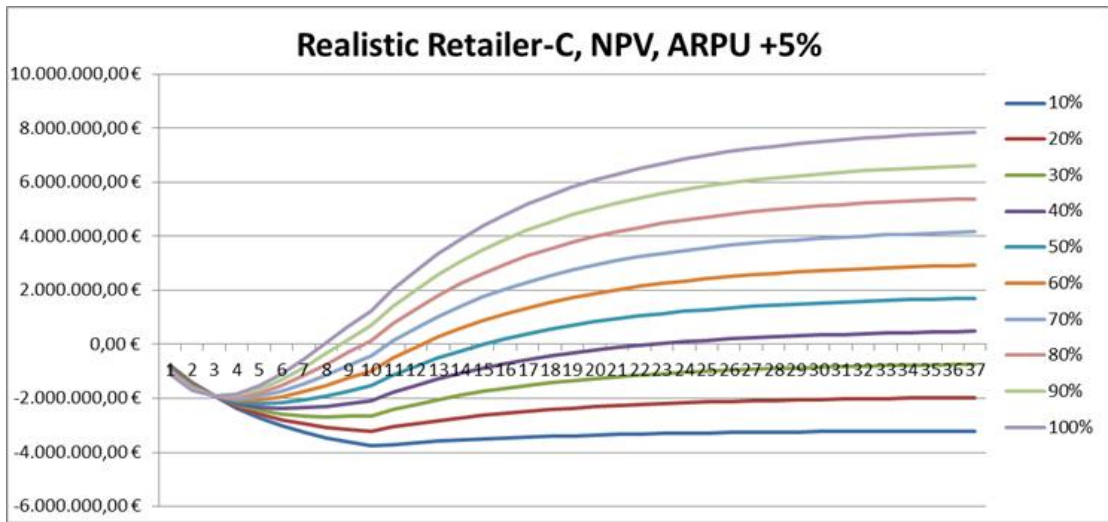
Σχήμα 4.29: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 5%



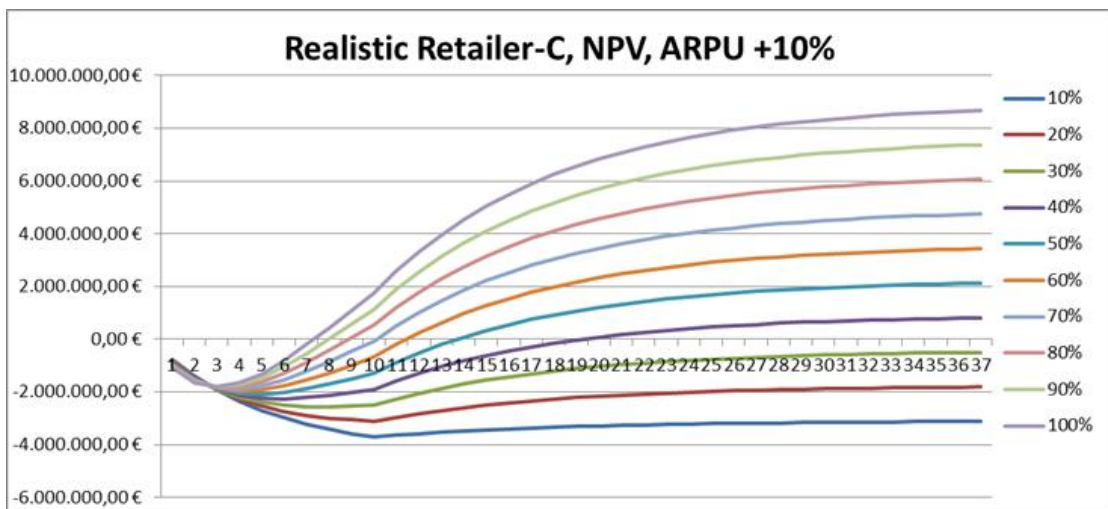
Σχήμα 4.30: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 10%



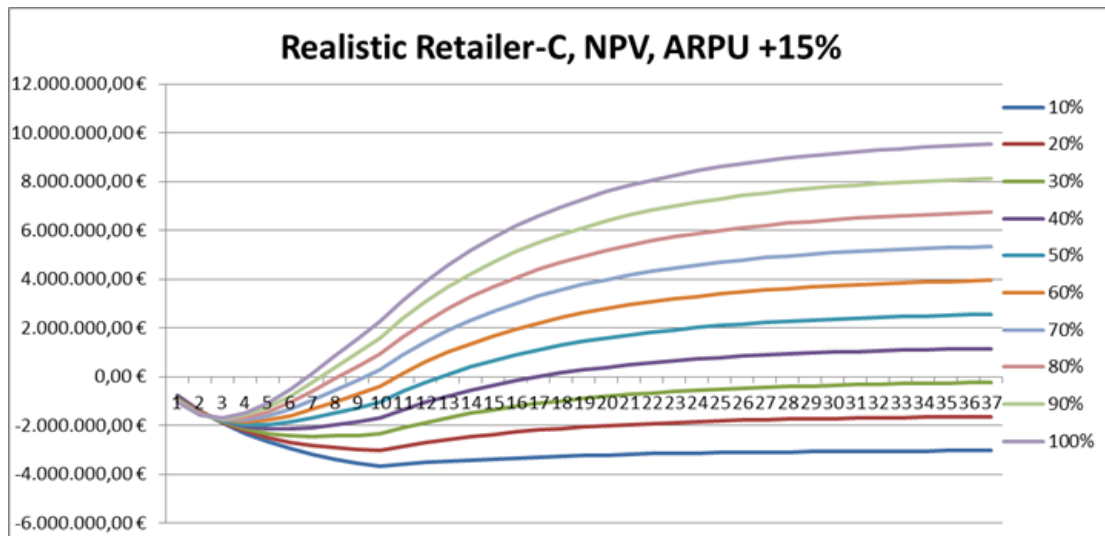
Σχήμα 4.31: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 15%



Σχήμα 4.32: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 5%



Σχήμα 4.33: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 10%



Σχήμα 4.34: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 15%

Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του ARPU αυξάνει την ΚΠΑ, αλλά και πάλι όχι τόσο δραματικά όσο θα περίμενε κανείς. Συγκρίνοντας τα σενάρια μεταξύ τους, προκύπτει, όπως αναμενόταν άλλωστε, ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του Retailer και μικρότερο το ποσοστό του Dark Fiber Provider, τόσο πιο μεγάλη είναι η αντίστοιχη ΚΠΑ. Το μερίδιο του Capacity Wholesaler δρα κάπου ανάμεσα: αν καταλαμβάνει μέρος του Retailer, ρίχνει την ΚΠΑ, ενώ αν καταλαμβάνει μέρος του Dark Fiber Provider την αυξάνει.

4.6 Συμπεράσματα Επέκτασης Μοντέλου

Αρχικά παρατίθενται κάποιοι πίνακες, οι οποίοι συνοψίζουν τα σημαντικότερα στοιχεία της επέκτασης του Μοντέλου. Συγκεκριμένα αναφέρεται κατά περίπτωση η χρονιά που επιτυγχάνεται θετική ΚΠΑ, καθώς και η μέγιστη ΚΠΑ της επένδυσης, η οποία εμφανίζεται κατά την τελική χρονιά, δηλαδή την 37^η.

Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικές περιπτώσεις ισοδύναμης επίτευξης τελικής ΚΠΑ:

- για ΚΠΑ στην περιοχή των 2.000.000 €, τα σενάρια των Capacity Wholesaler με βαθμό διείσδυσης (β.δ.) 60%, Realistic Capacity Wholesaler-A με β.δ. 100%, Realistic Capacity Wholesaler-B με β.δ. 70% και αυξημένο ARPU κατά 5%, Retailer με β.δ. 50%, Realistic Retailer-A με β.δ. 50%, Realistic Retailer-B με β.δ. 50% και αυξημένο ARPU κατά 15% και Realistic Retailer-C με β.δ. 50% και αυξημένο ARPU κατά 10%.
- Για ΚΠΑ στην περιοχή των 4.000.000 €, τα σενάρια των Realistic Capacity Wholesaler-B με β.δ. 90%, Realistic Capacity Wholesaler-B με β.δ. 80% και αυξημένο ARPU κατά 15%, Retailer με β.δ. 50%, Retailer με β.δ. 40% και αυξημένο ARPU κατά 15%, Realistic Retailer-A με β.δ. 60% και αυξημένο ARPU κατά 10%, Realistic Retailer-B με

β.δ. 60% και αυξημένο ARPU κατά 5% και Realistic Retailer-C με β.δ. 60% και αυξημένο ARPU κατά 10%.

- Για ΚΠΑ την περιοχή των 6.000.000 €, τα σενάρια των Capacity Wholesaler με β.δ. 90%, Retailer με β.δ. 70%, Retailer με β.δ. 60% και αυξημένο PU κατά 15%, Realistic Retailer-A με β.δ. 80% και αυξημένο ARPU κατά 5%, Realistic Retailer-C με β.δ. 80% και αυξημένο ARPU κατά 10% και Realistic Retailer –C με β.δ. 90%.

Παρουσιάζουμε τρεις ενδεικτικές περιπτώσεις για β.δ. 100% και 70% και 40% :

Σενάριο	ΚΠΑ για 40%	ΚΠΑ για 70%	ΚΠΑ για 100%
Dark Fiber Provider	-1.689.614,45 €	-358.375,82 €	972.862,80 €
Capacity Wholesaler	80.034,31 €	3.663.796,59 €	7.247.558,86 €
Realistic Capacity Wholesaler-A	-1.916.654,93 €	-29.290,91 €	1.858.073,11€
Realistic Capacity Wholesaler-B	-821.759,70 €	1.886.775,75 €	4.595.311,20 €
Retailer	49.213,93 €	5.946.841,72 €	11.844.512,46 €
Realistic Retailer-A	484.813,34 €	4.084.236,66 €	7.683.659,99 €
Realistic Retailer-B	700.148,57 €	4.550.115,23 €	8.400.081,88 €
Realistic Retailer-C	137.379,80 €	3.565.269,87 €	6.993.159,94 €

Πίνακας 4.9: Μέγιστες ΚΠΑ για βαθμούς διείσδυσης 40%,70% και 100% για διάφορα σενάρια

Σενάριο	Έτη για 40%	Έτη για 70%	Έτη για 100%
Dark Fiber Provider	-	-	17
Capacity Wholesaler	32	12	9
Realistic Capacity Wholesaler-A	-	-	14
Realistic Capacity Wholesaler-B	-	15	11
Retailer	35	12	8
Realistic Retailer-A	23	11	8
Realistic Retailer-B	21	11	9
Realistic Retailer-C	30	12	9

Πίνακας 4.10: Αριθμός ετών μέχρι την επίτευξη θετικής ΚΠΑ για διάφορα σενάρια

Παρατηρούμε στον Πίνακα 4.8 ότι η ΚΠΑ ανάλογα με το βαθμό διείσδυσης αλλάζει δραματικά. Σε πολλές περιπτώσεις, διείσδυση 100% έχει υπερδιπλάσια ΚΠΑ της διείσδυσης 70% ,ενώ η διαφορά ανάμεσα σε 70% και 40% είναι ακόμη μεγαλύτερη. Η μεγαλύτερη ΚΠΑ από όλα τα σενάρια επιτυγχάνεται στο σενάριο του Retailer ,όπως άλλωστε αναμενόταν, αγγίζοντας τα 12 εκατομμύρια ευρώ. Κατά τα 3 σενάρια του Realistic Retailer, μέρος των υπηρεσιών Retailer έχει αντικατασταθεί με υπηρεσίες Capacity Wholesaler και Dark Fiber Provider,οπότε η αντίστοιχη ΚΠΑ έχει μειωθεί.

Η μικρότερη ΚΠΑ εμφανίζεται στο μοντέλο του Dark Fiber Provider (όπως επίσης αναμενόταν),Μάλιστα, η ΚΠΑ δε γίνεται θετική παρά μόνο για βαθμό διείσδυσης 80%.

Αντίστοιχα καθοριστικό είναι ο βαθμός διείσδυσης και στον αριθμό των ετών που χρειάζονται μέχρι να επιτευχθεί θετική ΚΠΑ. Χαρακτηριστικά, στην περίπτωση του Retailer έχουμε θετική ΚΠΑ μετά από 35 χρόνια με βαθμό διείσδυσης 40%, έναντι 8 ετών με βαθμό διείσδυσης 100% .Πρόκειται για μια καθυστέρηση 27 ετών. Στα σενάρια των Dark Fiber Provider, Realistic Wholesaler-A και Realistic Wholesaler-B , δεν έχουμε καν θετική ΚΠΑ,κάτι που ισχύει και για την περίπτωση του Realistic Wholesaler-A με βαθμό διείσδυσης 70% .

Επίσης, παρατηρούμε ότι πτώση κατά 30% στο βαθμό διείσδυσης έχει πολύ δυσμενέστερες επιπτώσεις όταν πρόκειται για μείωση από το 70% στο 40% παρά για μείωση από το 100% στο 70% .Για παράδειγμα , στην περίπτωση του Retailer η πρώτη καθυστέρηση είναι 23 έτη (από 12 σε 35) έναντι 4 της δεύτερης (από 8 σε 12).Αντίστοιχα και για το σενάριο του Capacity Wholesaler , η πρώτη καθυστέρηση είναι 20 (από 12 σε 32) έτη έναντι 3 της δεύτερης (από 9 σε 12). Είναι φανερό ότι διαφορετικά σενάρια Retailer και Capacity Wholesaler έχουν σαφείς διαφορές μεταξύ τους όσο αλλάζει ο καταμερισμός των επιμέρους υπηρεσιών. Έτσι, ενώ ο Capacity Wholesaler, με βαθμό διείσδυσης 100%,χρειάζεται 9 έτη για να φθάσει σε θετική ΚΠΑ,ο Capacity Wholesaler-A χρειάζεται 14.Για βαθμό διείσδυσης 70%,ο Capacity Wholesaler χρειάζεται 12 έτη ενώ ο Capacity Wholesaler-A δεν καταφέρνει καν θετική ΚΠΑ στα 37 έτη μιας και κλείνει σε ΚΠΑ ίση με -29.290,91 € .

Είδαμε και στο αρχικό Μοντέλο ότι σημαντικότερος παράγοντας στη διαμόρφωση ΚΠΑ αποτελεί ο βαθμός διείσδυσης. Αυτό ισχύει φυσικά και στην παρούσα επέκταση. Η ελκυστικότητα της επένδυσης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον προσδοκώμενο βαθμό διείσδυσης.

Επίσης, κατεύθυνση υπηρεσιών προς Retailer επιφέρει σαφώς μεγαλύτερες ΚΠΑ σε βάθος χρόνου σε σχέση με την κατεύθυνση υπηρεσιών προς Dark Fiber Provider.Το tradeoff όμως των υπηρεσιών Retailer είναι ότι κατά την ανάπτυξη του οπτικού δικτύου πρόσβασης προκύπτουν μεγαλύτερες (σε απόλυτη τιμή) αρνητικές ΚΠΑ,αλλά στη συνέχεια ο ρυθμός αύξησης της ΚΠΑ είναι σαφώς μεγαλύτερος από του Dark Fiber Provider . Αν ο επενδυτής είναι διατεθειμένος να στηρίζει την

επένδυσή του σε πρώτο στάδιο , τότε ο Retailer μπορεί να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε βάθος χρόνου. Επίσης, το business model του Retailer απαιτεί το μέγιστο βαθμό τεχνικής εξειδίκευσης, οπότε μάλλον δε θα ήταν προτιμητέο για κάποιον Οργανισμό Τοπικής Αυτοδιοίκησης που εξειδικεύεται κυρίως σε χαμηλής τεχνολογίας έργα (πχ σκαπτικά). Αντίθετα, θα ήταν ιδανικό για έναν ήδη υπάρχοντα εμπορικό πάροχο ο οποίος διαθέτει έτσι κι αλλιώς Μηχανικούς Δικτύων και τεχνικά καταρτισμένο προσωπικό.

Ένας Retailer θα προτιμούσε σαφώς το σενάριο του Retailer χωρίς να εμπλακεί στα άλλα δύο πεδία, αλλά στην πράξη και μιας και η αγορά ρυθμίζεται, είναι επιβεβλημένο το να παρέχεται ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες λιανικής η δυνατότητα Capacity Wholesaler και Dark Fiber Provider.

Η αύξηση του ARPU επιφέρει μεν κάποια βελτίωση στην ΚΠΑ, αλλά σκεπτόμενοι ότι αύξηση της τιμής προκαλεί de facto μείωση της ζήτησης (άρα και του βαθμού διείσδυσης), είναι ιδιαίτερα συζητήσιμο κατά πόσο προτείνεται μία τέτοια λύση για την επίτευξη μεγαλύτερων ΚΠΑ.

Ενώ η αύξηση του ARPU ακόμη και κατά 15% προκαλεί το πέρασμα σε θετικές ΚΠΑ το πολύ δύο βαθμών διείσδυσης που πριν ήταν μόνο σε αρνητικό έδαφος, η αύξηση της διείσδυσης κατά 20% για παράδειγμα προκαλεί συντριπτική αύξηση και της αντίστοιχης επιτυγχανόμενης ΚΠΑ, διατηρώντας σταθερό το ARPU.

Αν ήταν εφικτή η ταυτόχρονη αύξηση της διείσδυσης και του ARPU , τα συνδυασμένα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη καλύτερα, αλλά κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθεί.

Συνοψίζοντας, σημαντικότερος παράγοντας στην επίτευξη θετικών ΚΠΑ αναδεικνύεται ο βαθμός διείσδυσης και λιγότερο καθοριστικός το ARPU. Ο καταμερισμός των υπηρεσιών για ρεαλιστικά σενάρια επιφέρει εξίσου μεγάλες αλλαγές. Όσο πιο κοντά στο σενάριο του Retailer βρίσκεται ο πάροχος, τόσο πιο μεγάλη η ΚΠΑ του. Όσο πιο κοντά στο σενάριο του Dark Fiber Provider, τόσο πιο δύσκολο είναι κάτι τέτοιο.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και Προοπτικές

5.1 Συμπεράσματα-Προοπτικές

Είναι σαφές ότι τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης αποτελούν το μέλλον των δικτύων πρόσβασης. Για αυτό το λόγο, άλλωστε, έχουν χαρακτηριστεί και ως Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (Next Generation Networks –NGN). Η ανάπτυξη τέτοιων δικτύων επιφυλάσσει ιδιαίτερες δυσκολίες, κυρίως οικονομικής φύσης. Αν αντί για το χάλκινο last mile , είχαμε οπτικό last mile, η ανάπτυξη οπτικών δικτύων πρόσβασης θα ήταν μάλλον αυτονόητη. Είναι κρίσιμο το ποιος θα κάνει το “βήμα εμπρός”, ώστε να αναπτυχθούν ανοικτά οπτικά δίκτυα πρόσβασης με ισότιμη αντιμετώπιση προς όλους τους παρόχους προς όφελος των συνδρομητών.

Φυσικά, υπάρχουν και κάποιες τεχνικές δυσκολίες. Για παράδειγμα τα σκαπτικά έργα που απαιτούνται για ένα εκτεταμένο δίκτυο FTTH αναστατώνουν σε μεγάλο βαθμό τη ζωή σε ένα αστικό κέντρο όσο αυτά διαρκούν. Επίσης, μπορούν να προκύψουν γραφειοκρατικά ζητήματα σε σχέση με τα δικαιώματα διέλευσης για παραδειγμα. Αυτά μπορούν να λυθούν εύκολα με τροποποίηση της σχετικής νομοθεσίας. Τόσο όμως οι τεχνικές δυσκολίες όσο και τα όποια πιθανά γραφειοκρατικά ζητήματα είναι σχετικά εύκολο να λυθούν εφόσον υπάρχουν τα απαιτούμενα κεφάλαια για την επένδυση.

Οι δυνατότητες ενός FTTH είναι πρακτικά απεριόριστες, μιας και τα όρια στο εύρος ζώνης των οπτικών ινών είναι πολύ μεγαλύτερα από τις σημερινές, αλλά και τις προβλεπόμενες μελλοντικές ανάγκες μας. Για την ακρίβεια, απέχουν πολλές τάξεις μεγέθους από αυτές. Η ψηφιακή εποχή και η κοινωνία της πληροφορίας που δεν έρχεται απλά, αλλά είναι ήδη εδώ απαιτούν κάτι σαφώς καλύτερο από τις σημερινές ευρύτατα χρησιμοποιούμενες xDSL τεχνολογίες, μιας και ακόμη και το πρωτόκολλο VDSL2 αφενός έχει τεχνικούς περιορισμούς απόστασης και αφετέρου ακόμη και στην πιο ευνοϊκή υλοποίηση του (250 Mbps συμμετρικά ανά κατεύθυνση), δε μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια future-proof μακροχρόνια

Η υλοποίηση ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης αποτελεί από μόνη της μία πρόκληση με πολλά τεχνικά και οικονομικά ερωτήματα. Ένα ανοικτό δίκτυο Point to Point με ισότιμη πρόσβαση από όλους τους παρόχους είναι το πλέον ωφέλιμο σενάριο για την ανάπτυξη ελεύθερου ανταγωνισμού και την επίτευξη μέγιστης ωφέλειας για το συνδρομητικό κοινό τόσο σε ποιότητα υπηρεσιών όσο και στην τιμολόγηση αυτών. Επί της αρχής λοιπόν, μοιάζει με την καλύτερη επιλογή, αλλά είναι βέβαιο πως ένας ιδιωτικός πάροχος δύσκολα θα προτιμήσει κάτι τέτοιο. Βλέπουμε άλλωστε ότι σε όσες χώρες έχει προχωρήσει ο incumbent πάροχος σε κατασκευή δικτύου FTTH, όταν δεν επικεντρώνεται σε VDSL όπως γίνεται αρκετά συχνά, προτιμά Point to Multipoint λύσεις (και συνήθως της GPON οικογένειας) και δεν ανοίγει το δίκτυό του προς τρίτους παρόχους, παρά μόνο μετά από σχετική απόφαση της αντίστοιχης ρυθμιστικής αρχής.

Φυσικά, αυτό γίνεται γιατί όπως είδαμε όσο ένας Retailer πάροχος κινείται προς την παροχή Capacity Wholesaler και Dark Fiber υπηρεσιών μειώνει την κερδοφορία του

σε σχέση με την αποκλειστική δραστηριοποίησή του ως Retailer. Το κατά πόσο θα επικεντρωθεί λοιπόν στο κομμάτι του Retailer αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην πορεία της επένδυσης. Για αυτόν ακριβώς το λόγο θα πρέπει να συνεκτιμάται αυτός ο παράγοντας από την εκάστοτε ρυθμιστική αρχή και τους σχεδιαστές σχετικών πολιτικών, αφού ναι μεν η παροχή σκοτεινών οπτικών ινών αποτελεί πιο ανοικτό μοντέλο, αλλά το κομμάτι του Capacity Wholesaler και ειδικά του Retailer είναι πολύ πιο ελκυστικά προς επένδυση. Εφόσον λοιπόν αναμένει κανείς την κατασκευή οπτικών δικτύων πρόσβασης από ιδιωτικά κεφάλαια, είναι αναμενόμενο να επιλεγθούν όχι μόνο κριτήρια κοινωνικής πολιτικής, αλλά κυρίως ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια, χωρίς πάντως να παραβιάζεται ο ελεύθερος ανταγωνισμός και ο γενικό συμφέρον.

Εξίσου καθοριστικός με το βαθμό διείσδυσης είναι ο παράγοντας του βαθμού διείσδυσης της υπηρεσίας. Είναι σίγουρα σημαντικό το να επεκταθεί γρήγορα το δίκτυο (για την επίτευξη μεγάλης κάλυψης), ιδιαίτερα σε περιοχές με πολλούς υποψήφιους συνδρομητές, αλλά και εφόσον η επέκταση αυτή πραγματοποιηθεί, το να επιτευχθεί διείσδυση της υπηρεσίας. Εδώ πρέπει να τεθεί το θέμα της ενημέρωσης, της διαφήμισης και του marketing. Στόχος είναι αρχικά μεγάλη κάλυψη (coverage) και επί αυτής η μεγάλη διείσδυση (penetration). Εφόσον αυτά καταστούν εφικτά, η επένδυση έχει πολύ μεγάλες πιθανότητες επιτυχίας.

Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του ARPU, δεν επιφέρει τόσο σημαντική βελτίωση όσο πιθανόν θα ανέμενε κανείς. Πέρα από αυτό, αποθαρρύνει τη ζήτηση, ρίχνοντας το βαθμό διείσδυσης, οπότε δεν είναι πάντα επιθυμητή, αν όχι κατά κανόνα.

Μπορούμε επίσης να σημειώσουμε και έναν τελευταίο παράγοντα που αναμένεται να αλλάξει την Αρχιτεκτονική των Οπτικών Δικτύων πρόσβασης. Το ολοένα και μικρότερο μέγεθος του εξοπλισμού, η αύξηση της ευαισθησίας των δεκτών και η μείωση της απαιτούμενης ισχύος ανά εκπεμπόμενο bit θα επιτρέψουν την αύξηση της απόστασης μεταξύ του Central Office και του συνδρομητή. Μάλιστα, με τη χρήση ενισχυτών (το κόστος των οποίων μειώνεται συνεχώς), η απόσταση αυτή θα μπορέσει να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Με αυτό τον τρόπο θα μειωθεί ο αριθμός των λειτουργούντων CO τα οποία πρέπει να συντηρούνται, ηλεκτροδοτούνται και μισθώνονται (αν αποτελούν ιδιοκτησία του παρόχου, τότε μπορούν να αξιοποιηθούν με άλλο εμπορικό τρόπο) μηνιαίως. Έτσι, θα έχουμε λιγότερα και πιο κεντρικά CO, μειώνοντας το σχετικό κόστος.

Τα σημερινά CO θα αντικατασταθούν εν μέρει με καμπίνες, οι οποίες έχουν σαφώς μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Ένα πλέγμα αποτελούμενο από τέτοιες καμπίνες θα διασυνδέεται με ένα κεντρικό CO. Αυτή η νέα, πιο κεντρική αρχιτεκτονική, θα επιφέρει μείωση του κόστους του δικτύου, οπότε θα γίνει πιο ελκυστική η κατασκευή του. Αν μάλιστα συνδυαστεί με στρατηγική επέκτασης του δικτύου και αύξησης των νέων συνδέσεων, θα κάνει την επένδυση πλήρως βιώσιμη, παρά το αυξημένο αρχικό κόστος κατασκευής.

Κλείνοντας, αξίζει να σημειώσουμε ότι όπως είδαμε, η κατασκευή FTTH δικτύου μπορεί να είναι σαφώς βιώσιμη, αρκεί να υπάρχει μεγάλος βαθμός διείσδυσης. Ακόμη και ένα Point to Point δίκτυο (που έχει εν γένει αυξημένο κόστος σε σχέση με το Point to Multipoint) ακόμη και σε μία αστική περιοχή ήπιας οικοδόμησης μπορεί να αποφέρει κέρδη, πόσω μάλλον εάν αυτό εφαρμοστεί σε μητροπολιτικές περιοχές μεγάλων αστικών κέντρων με πυκνοκατοικημένους δήμους, όπως η περιοχή της Αττικής και της Θεσσαλονίκης.

Το FTTH είναι ένα τεράστιο έργο, πιθανώς το μεγαλύτερο μετά τον εξηλεκτρισμό των Δυτικών χωρών. Η ανάπτυξη δικτύου FTTH είναι σίγουρα το μέλλον των δικτύων πρόσβασης, αλλά στόχος και επιδίωξη είναι να γίνει το παρόν για τη χώρα μας.

Παράρτημα

Βιβλιογραφία

- Αβραμόπουλος Ηρακλής, (2009), Φωτονική Τεχνολογία για Τηλεπικοινωνίες, Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Αλεξανδρή Αλέξανδρος,(2010), Επικοινωνιακά Συστήματα με Οπτικές Ύνες, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Αλεξανδρή Αλέξανδρος,(2002), Οπτικές Ύνες, Εκδόσεις Παρίκου.
- Βενιέρης Ιάκωβος, (2007), Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Τρούλος Κωνσταντίνος, (2012), Οπτικές Υποδομές Δικτύων Πρόσβασης Νέας Γενιάς : Στρατηγικές Δημοτικής Ανάπτυξης, Διδακτορική Διατριβή.
- Bandias, S., Vemuri ,S.R., (2005), Telecommunications Infrastructure facilitating sustainable development of rural and remote communities in Northern Australia, Telecommunications Policy.
- Cisco Systems Inc, (2012), Cisco Visual Networking Index : Forecast and Methodology
- Chlamtach, I.,Gumaste ,A.,Szabo, C., (2005), Broadband Services, Business Models and Technologies for Community Networks, John Wiley & Sons Ltd.
- Frieden R. ,(2005), Lessons from Broadband Development in Canada,Japan,Korea and the United States, Telecommunications Policy.
- FTTH Council, (2011), FTTH Handbook.
- Hanatani S., (2012), Updates of the Council and FTTwith New Demand in APAC and Future.
- Hoerning, S., (2010), Architectures and Competitive Models in Fiber Networks, Wik Consult.
- Hoerning, S, (2011), Wholesale Pricing, NGA Take-up and Competition, Wik Consult
- Keck ,D., (2006), Optical Fiber Spans for 30 Years, Lightwave Special Reports, Corning Inc.
- Koen, C., (2010), Techno-Economics of FTTH, University of Gent.
- Kruger, A., (2012), FTTH rollout-Operational and Commercial Challenges, Telefonica-Vivo.
- Maglaris, V., Merkoulias ,V., Troulos, C., (2009) , A business model for municipal FTTH/B networks: the case of rural Greece.

OECD , (2011), Next Generation Access Networks and Market Structure, OECD Digital Papers.

OECD,(2011), National Broadband Plans, OECD Digital Papers.

OECD, (2011), Fiber Access: Network Developments in the OECD Area.

Pfeiffer, T., (2011), FTTH Solutions for providing broadband services to end-users, Alcatel SEL.

Shin, D., (2008), The development of community telecommunication infrastructure : an evaluation of rural telecommunications project, International Journal of Information.

Sigurdsson, H., (2007), Techno-Economics of Residential Broadband Deployment, Technical University of Denmark.

Tadayoni ,R. , Sigurdsson, H., (2007), Development of alternative broadband infrastructures- Case studies from Denmark, Telematics and Informatics.

Turk, T., Jerman, Bl., Trkman, P., (2008), Factors and sustainable strategies fostering the adoption of broadband communications in an enlarged European Union.

Winzer, P., (2009), Capacity Limits of Fiber-Optic Communication Systems, Optical Fiber Communication Conference 2009.

Κατάλογος Σχημάτων

- Σχήμα 1.1: Παγκόσμια ζήτηση δικτυακής κίνησης, σελ.15
- Σχήμα 1.2: Μέγιστη θεωρητική ταχύτητα σε συνάρτηση με το μήκος συνδρομητικού βρόχου ανά πρωτόκολλα, σελ.17
- Σχήμα 1.3 : Διάταξη Μονότροπων και Πολύτροπων Οπτικών Ινών, σελ.20
- Σχήμα 1.4: Οπτική απόσβεση σε συνάρτηση με το κυματοδηγούμενο μήκος κύματος, σελ.22
- Σχήμα 1.5: Αρχιτεκτονικές FTTx, σελ.24
- Σχήμα 1.6 : Στρώματα δικτύου FTTH, σελ.26
- Σχήμα 1.7: Ποσοστό FTTH και FTTB συνδέσεων ως ποσοστό των συνολικών ευρυζωνικών συνδέσεων ανά χώρα τον Ιούνιο του 2010, σελ.28
- Σχήμα 1.8: Διαχρονική εξέλιξη ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ιαπωνία ανά τύπο σύνδεσης , σελ.29
-
- Σχήμα 2.1 : Δομή Δικτύου FTTH, σελ.35
- Σχήμα 2.2 : Διαισθητική Απεικόνιση Αρχιτεκτονικών FTTx, σελ.37
- Σχήμα 2.3 : Home Run Οπτικό Δίκτυο, σελ.40
- Σχήμα 2.4 : Κατανομή χρησιμοποιούμενου Μήκους Κύματος σε Home Run δίκτυο, σελ.42
- Σχήμα 2.5: Active Star Δίκτυο, σελ.43
- Σχήμα 2.6 : Υλοποίηση GPON με δύο μήκη κύματος, σελ.49
- Σχήμα 2.7 : Diplexer, σελ.50
- Σχήμα 2.8: Υλοποίηση GPON με 3 μήκη κύματος, σελ.50
- Σχήμα 2.9 : τριπλέκτης σε υλοποίηση GPON 3 μηκών κύματος, σελ.51
- Σχήμα 2.10 : υλοποίηση GPON με 4 μήκη κύματος, σελ.52
- Σχήμα 2.11: Διάταξη NG-GPON δικτύου, σελ.53
- Σχήμα 2.12 : Διάταξη δικτύου EPON (και 10G-EPON), σελ.55
- Σχήμα 2.13 : Διάταξη δικτύου WDM-PON, σελ.56

Σχήμα 2.14 : Εξέλιξη απαιτούμενου εύρους ζώνης διαχρονικά, σελ.66

Σχήμα 3.1: Απεικόνιση του εξοπλισμού εντός του CO, σελ.78

Σχήμα 4.1:Κόστος για κάλυψη περιοχής 100% και για σύνδεση νοικοκυριών 100% σε PtP δίκτυο, σελ.97

Σχήμα 4.2:Κόστος ανά καλυπτόμενο νοικοκυριό και κόστος σύνδεσης νοικοκυριού σε PtP δίκτυο, σελ.97

Σχήμα 4.3: Κόστος για κάλυψη περιοχής 100% και για σύνδεση νοικοκυριών 100% σε PtMP δίκτυο, σελ.98

Σχήμα 4.4: Κόστος ανά καλυπτόμενο νοικοκυριό και κόστος σύνδεσης νοικοκυριού σε PtMP δίκτυο, σελ.98

Σχήμα 4.5 : NPV Παρόχου Παθητικής Υποδομής σε συνάρτηση του βαθμού διείσδυσης σε δίκτυο ολοκληρωμένο από την πρώτη μέρα, σελ.101

Σχήμα 4.6: NPV Παρόχου Παθητικής Υποδομής σε συνάρτηση του βαθμού διείσδυσης σε staged developed δίκτυο με ολοκλήρωση σε 10 χρόνια, σελ.101

Σχήμα 4.7 : Αύξηση ARPU Παρόχου Υποδομών κατά 10%, σελ 102

Σχήμα 4.8: NPV Παρόχου Χωρητικότητας σε συνάρτηση του βαθμού διείσδυσης σε δίκτυο ολοκληρωμένο από την πρώτη μέρα, σελ 103

Σχήμα 4.9: NPV Παρόχου Χωρητικότητας σε συνάρτηση του βαθμού διείσδυσης σε staged developed δίκτυο με ολοκλήρωση σε 10 χρόνια, σελ 103

Σχήμα 4.10: Αύξηση ARPU Παρόχου Χωρητικότητας κατά 10%, σελ 104

Σχήμα 4.11 : ΚΠΑ βασικού σεναρίου Retailer, σελ 105

Σχήμα 4.12: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 106

Σχήμα 4.13: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 106

Σχήμα 4.14: ΚΠΑ Retailer με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 107

Σχήμα 4.15: ΚΠΑ Βασικού Σεναρίου Wholesaler-A, σελ 108

Σχήμα 4.16: ΚΠΑ Βασικού Σεναρίου Wholesaler-B, σελ 108

Σχήμα 4.17: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 109

Σχήμα 4.18: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 109

Σχήμα 4.19: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-A με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 110

Σχήμα 4.20: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 110

Σχήμα 4.21: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 110

Σχήμα 4.22: ΚΠΑ Realistic Wholesaler-B με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 111

Σχήμα 4.23: ΚΠΑ Realistic Retailer-A, σελ 113

Σχήμα 4.24: ΚΠΑ Realistic Retailer-B, σελ 113

Σχήμα 4.25: ΚΠΑ Realistic Retailer-C, σελ 113

Σχήμα 4.26: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 114

Σχήμα 4.27: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 114

Σχήμα 4.28: ΚΠΑ Realistic Retailer-A με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 115

Σχήμα 4.29: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 115

Σχήμα 4.30: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 115

Σχήμα 4.31: ΚΠΑ Realistic Retailer-B με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 116

Σχήμα 4.32: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 5%, σελ 116

Σχήμα 4.33: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 10%, σελ 116

Σχήμα 4.34: ΚΠΑ Realistic Retailer-C με αυξημένο ARPU κατά 15%, σελ 117

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 1.1 : Μέγιστο Αρχικό Downstream Bitrate ανά Τεχνολογία, σελ 16
- Πίνακας 1.2 : Διείσδυση FTTH και FTTB παγκοσμίως, σελ 27
- Πίνακας 2.1 : Απαιτούμενα οπτικά κομμάτια δικτύου πρόσβασης ανά Αρχιτεκτονική., σελ 38
- Πίνακας 2.2: Απαιτούμενος εξοπλισμός και απαιτούμενες εργασίες ανά τύπο Τοπολογίας οπτικού δικτύου πρόσβασης, σελ 39
- Πίνακας 2.3 : Συγκριτική παρουσίαση εξοπλισμού οπτικών δικτύων πρόσβασης τεχνολογίας Home Run και Active Star , σελ 45
- Πίνακας 2.4 : Βασικά Χαρακτηριστικά των ευρέως χρησιμοποιούμενων PON προτύπων, σελ 47
- Πίνακας 2.5 : Απαιτούμενα στοιχεία δικτύου ανά τεχνολογία xPON, σελ 57
- Πίνακας 2.6 : Τυπικά LB ανά τύπο οπτικού δικτύου πρόσβασης, σελ 60
- Πίνακας 2.7 : Πραγματικές τιμές εξασθένισης του οπτικού σήματος ανά οπτικό στοιχείο στο εμπόριο, σελ 60
- Πίνακας 2.7 : Πραγματικές τιμές εξασθένισης του οπτικού σήματος ανά οπτικό στοιχείο στο εμπόριο, σελ 60
- Πίνακας 2.8: Εξοπλισμός δικτύου ανά επιχειρηματικό μοντέλο, σελ 64
- Πίνακας 3.1 : Είδος εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία, σελ 73
- Πίνακας 3.2 : Κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία, σελ 73
- Πίνακας 3.3 : Μοναδιαίο κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία, σελ 74
- Πίνακας 3.4 : Κανονικοποιημένο μοναδιαίο κόστος είδους εδάφους ανά τύπο εδάφους σε πραγματική περίπτωση δικτύου FTTH στη Δανία, σελ 74
- Πίνακας 3.5 : Διάρκεια ζωή Network Specific Element ανά τεχνολογία σε PtMP τοπολογία στο Distribution Network, σελ 75
- Πίνακας 3.6 : Technology specific element ανά τεχνολογία, σελ 78
- Πίνακας 3.7 : Τοποθέτηση technology specific element ανα τεχνολογία και επιχειρηματικό μοντέλο, σελ 79
- Πίνακας 3.8 : Τοποθέτηση technology specific element ανά επιχειρηματικό μοντέλο, σελ 80
- Πίνακας 4.1 : Κατανομή κτιρίων ανά ζώνη με βάση τον αριθμό των ορόφων τους, σελ 95

Πίνακας 4.2 : Κατανομή Χρηστών ανά Ζώνη και προκύπτοντα μέσα μήη ανά κτίριο και τελικό χρήστη, σελ 96

Πίνακας 4.3: Παραδοχές κόστους για τα επιμέρους στοιχεία του οπτικού δικτύου πρόσβασης , σελ 100

Πίνακας 4.4 : Εξέλιξη κανονικοποιημένων μεριδίων αγοράς σεναρίου A, σελ 107

Πίνακας 4.5: Εξέλιξη κανονικοποιημένων μεριδίων αγοράς σεναρίου B, σελ 108

Πίνακας 4.6: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-A, σελ 112

Πίνακας 4.7: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-B, σελ 112

Πίνακας 4.8: Διαχρονική εξέλιξη σχετικών μεριδίων αγοράς Realistic Retailer-C, σελ 112

Πίνακας 4.9: Μέγιστες ΚΠΑ για βαθμούς διείσδυσης 40%,70% και 100% για διάφορα σενάρια, σελ 118

Πίνακας 4.10: Αριθμός ετών μέχρι την επίτευξη θετικής ΚΠΑ για διάφορα σενάρια, σελ 118

