



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ : «ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ»

Τίτλος Εργασίας

“ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ”

Διπλωματική εργασία

Όνομα φοιτητή Γκανά Ιωάννη



Αθήνα 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ : “ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ»**

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Θωμάς Καμαλάκης Επίκουρος καθηγητής Πληροφορικής και
τηλεματικής χαροκοπείου πανεπιστημίου**

**Γεώργιος Δημητρακόπουλος Επίκουρος καθηγητής
Πληροφορικής και τηλεματικής χαροκοπείου πανεπιστημίου**

**Βασίλειος Δαλάκας ΕΔΙΠ στο τμήμα Πληροφορικής και
τηλεματικής χαροκοπείου πανεπιστημίου**

Ο Γκανάς Ιωάννης δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα Ελληνικά	6
Περίληψη στα Αγγλικά	7
ΚΕΦ.1: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	8
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
ΚΕΦ.5: Είδη οπτικών ινών	16
I. Μονότροπες	17
II. Πολύτροπες	17
III. Δομή καλωδίου οπτικών ινών	18
IV. Δίκτυα πρόσβασης FTTx.....	20
V. Τεχνολογίες FTTH δικτύων	20
6.1.1 HOME RUN	20
6.1.2 Αρχιτεκτονική αστέρα AON (Active Optical Network) και PON (Passive Optical Network)	21
6.1.3 Υβριδικές αρχιτεκτονικές.....	22
VI. Εφαρμόσιμες τεχνολογίες στα FTTH δίκτυα.....	23
1.6.1 WDM Wave Division Multiplexing.....	23
1.6.2 TDM time division multiplexing	24
VII. Χαρακτηριστικά και επιδόσεις	24
VIII. Περιοριστικοί παράγοντες επίτευξης υψηλότερων ταχυτήτων σε οπτικές ίνες 26	
IX. Τρόποι μετάδοσης οπτικού σήματος.....	26
ΚΕΦ.2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΥΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ (PON vs AON)	27
2.1 Αρχιτεκτονικές FTTx	27
2.2 PON VS AON.....	29
2.3 Επέκταση PON σε άλλα μέσα FTTdp.....	31
2.4 ΕΞΕΛΙΞΗ PON ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ.....	33
2.5 XG-PON1.....	38
2.6 Next-generation passive optical network stage 2 (NG-PON2).....	40
2.7 NG-PON2 προτεινόμενες αρχιτεκτονικές σύμφωνα με την FSAN.....	41
2.8 Next-generation passive optical network stage 2 βασισμένες σε orthogonal modulation.....	43
2.9 SDM (Space Division Multiplexing) in Optical Fibres	45
2.10 WDM-PON	46
ΚΕΦ.3: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	50
4.1 Περιληπτική Ανασκόπηση τεχνολογιών	50
4.2 Ανάπτυξη EPON and GPON	52
4.3 Σύγκριση FTTH / VDSL	55
3.3.1 FTTH	55
3.3.2 VDSL/ONU.....	58

ΚΕΦ.4: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΑΝΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	61
5.1 Γενική εικόνα του Ευρωπαϊκού δικτύου οπτικών ινών	61
5.2 Ανατολή και Δύση	63
5.3 Η προσπάθεια για την αναβάθμιση.....	64
5.4 Το μέλλον του FTTH	65
5.5 Γενική εικόνα του δικτύου οπτικών ινών στην Αφρική.....	65
5.6 Εικόνα του δικτύου οπτικών ινών στην Λατινική Αμερική	67
5.7 Η κατάσταση στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	68
ΚΕΦ.5: Η κατάσταση στην Ελλάδα	70
5.1 Χαρακτηριστικά της Ελληνικής αγοράς σταθερής πρόσβασης	70
5.2 Η εξέλιξη της αγοράς.....	70
5.3 Εξέλιξη σταθερών γραμμών πρόσβασης και διείσδυση	71
5.4 Δράσεις για μελλοντική ανάπτυξη	72
5.5 Το Εθνικό Σχέδιο Ανάπτυξης Υποδομών NGA.....	75
ΚΕΦ.6: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ.....	79
6.1 Στρατηγική τελευταίων ετών.....	79
6.1.1 Αρχή ανάπτυξης ρυθμιστικού πλαισίου	79
6.1.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο «LoI».....	80
6.1.3 Διαφοροποίηση Δυτικής και Κεντροανατολικής Ευρώπης.....	82
1.2 Προβλήματα στο ρυθμιστικό πλαίσιο LoI.....	85
ΚΕΦ.7: Μελλοντικές στρατηγικές.....	88
ΚΕΦ.8: Παρόν και προβλέψεις για το μέλλον.....	89
ΚΕΦ.7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

Περίληψη στα Ελληνικά

Οι τεχνολογίες οπτικών ινών που έχουν αναπτυχθεί αποτελούν το παρόν και το μέλλον του παγκόσμιου τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Εδώ και αρκετά χρόνια πραγματοποιείται αυξημένη ερευνητική δραστηριότητα σε θέματα που σχετίζονται με τέτοιες τεχνολογίες καθώς και με την εφαρμογή και υλοποίησή τους.

Κάνοντας μία ανασκόπηση των τεχνολογιών αυτών και μελετώντας τις δυνατότητες για προσαρμογή τους στις σημερινές τηλεπικοινωνιακές υποδομές καθώς και την πιθανότητα ανάπτυξή τους ως νέων μελλοντικών δικτύων καταλήγουμε σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Το κόστος κατασκευής ή προσαρμογής σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις, το πλαίσιο ρύθμισης που καθορίζει την ελευθερία για επενδύσεις σε κάθε τηλεπικοινωνιακή αγορά καθώς και η δημογραφική ποικιλομορφία σε συνδυασμό με την ανομοιογένεια οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης ανά γεωγραφική περιοχή καθιστά πολύδιάστατη τη λύση για αποδοτική ανάπτυξη οπτικών δικτύων.

Ο συνδυασμός όλων αυτών των παραγόντων οδηγεί στο συμπέρασμα για ολοκληρωμένη αξιολόγηση ανά περίπτωση της αποδοτικότερης λύσης για εφαρμογή FTTx τεχνολογιών ενώ μία γενικευμένη λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί αποδοτικά σε όλες τις περιπτώσεις τελικά δεν υφίσταται.

Λέξεις κλειδιά: Οπτικές ίνες, Τεχνολογίες οπτικών ινών, Οπτική ίνα στο σπίτι, Αρχιτεκτονικές οπτικών ινών, Μελλοντικές τεχνολογίες οπτικών ινών

Περίληψη στα Αγγλικά

The fiber optic technologies developed are the present and future of the global telecommunications network. For several years now there has been an increased research activity on issues related to such technologies as well as its application and implementation.

Giving an overview of these technologies and studying the possibilities for their adaptation to the current telecommunications infrastructure and the likelihood of their development as new future networks lead to important conclusions about their advantages and disadvantages.

The construction or adjustment costs in existing facilities, setting the framework that defines the freedom to invest in any telecommunications market and demographic diversity combined with the diversity of economic and technological development by geographic area renders the solution for the development of efficient optical networks multidimensional.

The combination of all these factors leads to the conclusion that there is a need for a thorough evaluation of the application of FTTx technologies for each case separately, while a generalized solution that could be effectively applied to all cases is eventually unfeasible.

Keywords: FTTx, FTTH, Fiber optics, WDM-PON, NG-PON2

ΚΕΦ.1: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Πολύτροπη και Μονότροπη οπτική ίνα	σελ.9
Σχήμα 2 . Τομή οπτικής ίνας	σελ.10
Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά στρώματα οπτικής ίνας	σελ.10
Σχήμα 4 . Αρχιτεκτονική HOMERUN	σελ.11
Σχήμα 5 . Αρχιτεκτονική AON	σελ.12
Σχήμα 6 . Αρχιτεκτονική PON	σελ.12
Σχήμα 7 . Υβριδική αρχιτεκτονική	σελ.13
Σχήμα 8. Τύποι FTTx δικτύων	σελ.16
Σχήμα 9. Point-to-multipoint και point-to-point τοπολογίες	σελ.17
Σχήμα 10 .Κόστος εγκατάστασης και αρχιτεκτονική FTTdp	σελ.18
Σχήμα 11. Πρότυπα και η χρονική εξέλιξή τους	σελ.20
Σχήμα 12: Πίνακας χαρακτηριστικών και διαφορές των τεχνολογιών PON	σελ.22
Σχήμα 13. Παράδειγμα αρχιτεκτονικής NG-PON2	σελ.25
Σχήμα 14. Μια ομαλή εξέλιξη που βασίζεται σε ορθογώνια Διαμόρφωση	σελ.26
Σχήμα 15. Η πλατφόρμα Ethernet	σελ.28
Σχήμα 16. Τεχνολογία WDM PON για δίκτυα πρόσβασης	σελ.29
Σχήμα 17. Αρχιτεκτονική FTTH – PtP	σελ.33
Σχήμα 18. Αρχιτεκτονική FTTH-PON	σελ.34
Σχήμα 19. Αρχιτεκτονική FTTx/VDSL	σελ.35
Σχήμα 20. Ποσοστό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας	

για κάθε ενεργό στοιχείο των δικτύων οπτικών ινών	σελ.36
Σχήμα 21. Αριθμός σταθερών γραμμών πρόσβασης	σελ.43
Σχήμα 22. Ποσοστό νοικοκυριών με πρόσβαση FTTH/FTTB Σεπτέμβρης 2015	σελ.54
Σχήμα 23. Νοικοκυριά που έχουν πρόσβαση μέσω FTTH/B στην Ευρώπη	σελ.55

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AON (Active Optical Network) –Ενεργό Οπτικό Δίκτυο δηλαδή εμπεριέχει ενεργό εξοπλισμό

Best-Effort - Μια υπηρεσία "Best Effort" είναι ένα το οποίο δεν παρέχει πλήρη αξιοπιστία. Συνήθως εκτελεί κάποιο έλεγχο σφαλμάτων (π.χ. απόρριψη όλων των πλαισίων που μπορεί να έχουν καταστραφεί) και μπορεί επίσης να παράσχει κάποιες (περιορισμένες) αναμετάδοση (π.χ. CSMA / CD). Η παραδοθεί δεδομένα δεν είναι όμως εγγυημένη. Μια καλύτερη εξυπηρέτηση προσπάθεια, απαιτεί συνήθως την αξιοπιστία που πρέπει να παρέχονται από ένα υψηλότερο στρώμα πρωτοκόλλου.

CD - chromatic dispersion χρωματική διασπορά

Cladding - Εσωτερική επένδυση

CO – Central Office Κεντρικό γραφείο. Αναφέρεται για να προσδιορίσει τα κέντρα των τηλεπικοινωνιακών παρόχων δηλαδή δηλώνει το σημείο που ξεκινάει το σήμα.

Coating - Εξωτερική επένδυση

FCC – Federal Communications Commission Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών

FWM - four- wave mixing μίξη τεσσάρων κυμάτων

Fiber core - Πυρήνας της οπτικής ίνας

FTTx – Fiber to the x Οπτική ίνα μέχρι το σημείο που υποδουλώνει ο αντικαταστάτης του x

FFTH – Fiber to the home Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι

FTTB – Fiber to the building Οπτική ίνα μέχρι το κτίριο

FTTC – Fiber to the Curb Οπτική ίνα μέχρι το πεζοδρόμιο

FTTCab – FTTN – Fiber to the Cabinet – Fiber to the Neighborhood Οπτική ίνα μέχρι τη καμπίνα ή μέχρι τη γειτονιά

FTTdp – fiber to the distribution point Οπτική ίνα μέχρι το σημείο διανομής (Μέχρι το κουτί του τηλεπικοινωνιακού φορέα)

HOME RUN – Τύπος Αρχιτεκτονικής Οπτικού δικτύου

IEEE - Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Jitter - τις στιγμιαίες αποκλίσεις καθοριστικών τμημάτων ενός ψηφιακού σήματος σε σχέση με τις ιδανικές θέσεις τους στον χρόνο

OTDM (Optical Time Division Multiplexing) - Χωρίζει και ανασυνθέτει στενούς παλμούς

PON (Passive Optical Network) – Παθητικό Οπτικό Δίκτυο δηλαδή δεν περιέχει ενεργό εξοπλισμό.

PMD - polarization mode dispersion διασπορά τρόπων πόλωσης

PDL - polarization dependent loss διεξασθένιση

SPM - self-phase modulation αυτοδιαμόρφωση

TDM (Time Division Multiplexing) - Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

WDM (Wavelength Division Multiplexing) - Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος

XPM - cross-phase modulation ετεροδιαμόρφωση φάσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι μέσω της μελέτης τεχνολογιών που σχετίζονται με την παροχή ευρυζωνικότητας μέσω δικτύου οπτικών ινών να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τις τάσεις και τις δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης μελλοντικών υλοποιήσεων.

Αναλυτικότερα θα πραγματοποιηθεί μία ανασκόπηση τεχνολογιών που έχουν υλοποιηθεί μέχρι σήμερα τόσο σε επίπεδο εμπορικής εφαρμογής όσο και σε ερευνητικό και πραγματοποιώντας συγκρίσεις των χαρακτηριστικών τους καθώς και μελέτη για δυνατότητες βελτίωσής τους θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις μελλοντικές προσδοκίες και εφαρμογές τους ενώ θα προκύψουν προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

Η έρευνα που θα πραγματοποιηθεί θα είναι μία βιβλιογραφική μελέτη σχετιζόμενων οπτικών δικτυακών υλοποιήσεων και μέσα από αυτή θα προκύψουν συμπεράσματα για τις μελλοντικές κατευθύνσεις των επικρατέστερων τεχνολογιών.

Για την υλοποίησή της θα πραγματοποιηθεί ποιοτική έρευνα. Αρχικά θα γίνει συλλογή δευτερογενών δεδομένων και στη συνέχεια θα ακολουθήσει διερεύνηση και κατανόηση των μεθόδων και των τεχνολογιών καθώς και σύγκρισή τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Εδώ και αρκετές δεκαετίες η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων έχει εξελιχθεί ραγδαία. Οι τεχνολογίες που έχουν δοκιμαστεί για τέτοιου είδους υλοποιήσεις ποικίλουν τόσο από άποψη υλικού όσο και λογισμικού. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται αυξάνονται οι απαιτήσεις για μεταγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς δημιουργούνται νέες ανάγκες και δυνατότητες που απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες και χωρητικότητες δικτυακού όγκου μεταφοράς.

Αρχικά για να καλυφθούν οι ανάγκες υλοποίησης τηλεπικοινωνιακών δικτύων χρησιμοποιήθηκε ο χαλκός. Ένα υλικό το οποίο κατάφερε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ποιότητας και χαρακτηριστικών που απαιτούνταν από τις τότε υλοποιήσεις. Με την πάροδο του χρόνου οι νέες τεχνολογίες κατάφεραν να προσαρμοστούν με τις ιδιότητες και τις αντοχές του χαλκού και έτσι το συγκεκριμένο υλικό συνέχισε να χρησιμοποιείται ευραίως μέχρι τις μέρες μας καλύπτοντας ακόμα και τις σύγχρονες απαιτήσεις. Η ανάγκη όμως για αύξηση του όγκου των δεδομένων που διακινούνται και κατ'επέκταση για ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της χωρητικότητας στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχει οδηγήσει σε κορεσμό των δυνατοτήτων του χαλκού με αποτέλεσμα την προσπάθεια για την αντικατάστασή του με ένα νέο υλικό που μπορεί να δώσει μεγάλη ώθηση στις δυνατότητες μεταγωγής των μελλοντικών υλοποιήσεων.

Το παραπάνω ζήτημα φαίνεται να βρίσκει λύση στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών οπτικών ινών, δεδομένου ότι η μεταφορά δεδομένων μέσω χάλκινων καλωδίων με ηλεκτρικό σήμα, είτε στη μορφή των ομοαξονικών είτε των δισύρματων καλωδίων, έχει αρχίσει να εξαντλεί τις δυνατότητες της. Συγκεκριμένα, το διαθέσιμο φασματικό εύρος ζώνης των οπτικών ινών γύρω από την φασματική περιοχή του 1.5 μm είναι της τάξης των 25 THz, δηλαδή περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερο από ολόκληρο το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων και η απόσβεση που εισάγεται είναι μηδαμινή 0.2 dB/Km [1]. Με εφαρμογή διαφόρων τεχνικών πολυπλεξίας, όπως η OTDM (Optical Time Division Multiplexing) και η WDM (Wavelength Division Multiplexing) οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τις τάξεις των Tbps.

Η εξέλιξη του διαδικτύου δημιούργησε απαιτήσεις για όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες ενώ έχει οδηγήσει στην ανάγκη υλοποιήσεων σύγχρονων δικτύων με εξελιγμένα χαρακτηριστικά που να μπορούν να υποστηρίξουν ακόμα και μελλοντικές τεχνολογίες.

Η οπτική ίνα είναι αποδεδειγμένα η λύση στην εξέλιξη του ενσύρματου δικτύου. Από το 1910 που έγινε η πρώτη ερευνητική εργασία για τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε διηλεκτρική ράβδο από τους Δ.Χόνδρο και P. Debye μέχρι σήμερα η οπτική ίνα έχει εξελιχθεί τόσο σε σχέση με τα χαρακτηριστικά κατασκευής της όσο και στις τεχνολογίες που σχετίζονται με τον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας μέσα από αυτήν. Ήδη από το 1960 με την ανακάλυψη του laser άρχισε να διαδίδεται ραγδαία η τεχνολογία και η ανάπτυξή της [2].

ΚΕΦ.5: Είδη οπτικών ινών

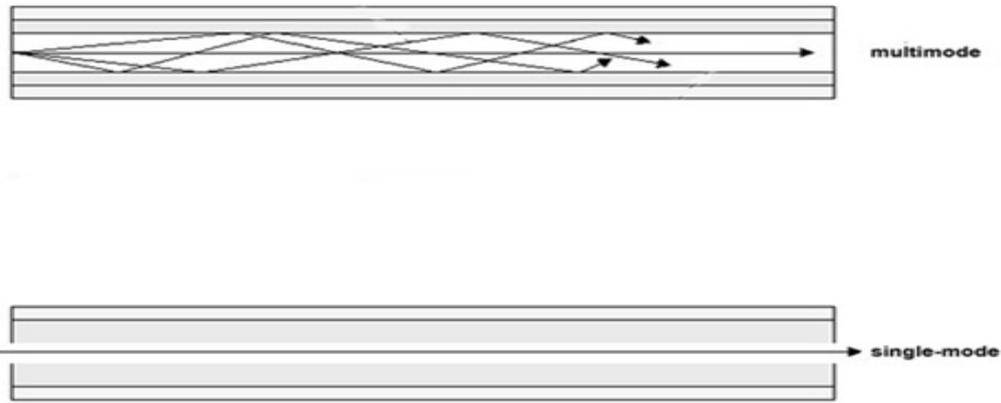
Έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι οπτικών ινών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Για όλους τους τύπους υπάρχουν διεθνή πρότυπα στα οποία προδιαγράφονται τα χαρακτηριστικά μετάδοσης καθώς και τα γεωμετρικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά.

Τα καλώδια οπτικών ινών είναι τα πιο προηγμένα τηλεπικοινωνιακά μέσα ενσύρματης μετάδοσης και χρησιμοποιούνται σε όλα τα σύγχρονα συστήματα τηλεπικοινωνιών δεδομένου ότι προσφέρουν ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και απόλυτη ανοσία ενάντια στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές παρέχοντας έτσι ασφαλή και γρήγορη μετάδοση χωρίς περιορισμούς απόστασης.

Πρόκειται για ίνες γυαλιού, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν τις φωτεινές ακτίνες και να τις οδηγούν προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση[2].

Η χρήση των οπτικών ινών για μετάδοση σημάτων στηρίζεται στην ιδέα της χρησιμοποίησης του φωτός ως φορέα της πληροφορίας αντί για το ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται στα χάλκινα καλώδια. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιείται στον πομπό μια πηγή φωτός. Η πηγή αυτή παράγει ένα φωτεινό σήμα, το οποίο διαμορφώνεται με τις πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν από τον πομπό προς το δέκτη [2].

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν υποστηρίζουν έναν ή πολλούς ρυθμούς μετάδοσης. Υπάρχουν οι οπτικές ίνες απλού τύπου που ονομάζονται μονότροπες (single mode) καθώς και οι Πολλαπλού τύπου (Multi mode) που ονομάζονται πολύτροπες[3].



Σχήμα 1. Πολύτροπη και Μονότροπη οπτική ίνα

I. Μονότροπες

Οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν διαστάσεις μέχρι 10μm. Τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. Η μικρή αυτή διάμετρος του πυρήνα επιτρέπει τη διέλευση σε ένα περιορισμένο πλήθος ακτίνων, ουσιαστικά μόνο σε ακτίνες που προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια της διατομής τους. Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται συνήθως ως ίνες με βηματική κατανομή[3].

II. Πολύτροπες

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις από 50 – 100 μm αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα σε ξεχωριστό μονοπάτι, πολλά κύματα φωτός. Το κάθε κύμα φωτός, εισέρχεται στην οπτική ίνα υπό ελαφρώς διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα και ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα της, μέσω των διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα. Αυτό συμβαίνει παράλληλα με πολλά κύματα φωτός όλα

σε διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα κι έτσι μπορούμε να στείλουμε παράλληλα τεράστιο όγκο δεδομένων[3].

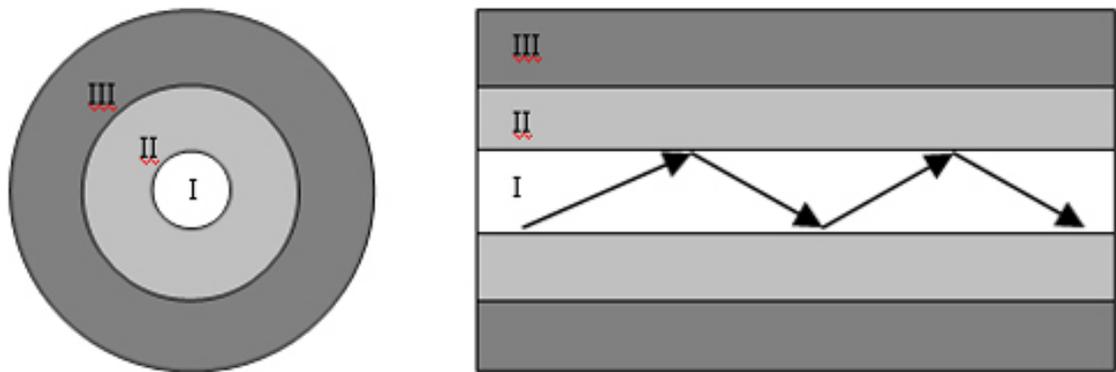
III. Δομή καλωδίου οπτικών ινών

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές, αλλά και την απώλεια σήματος, που θα προέκυπτε κατά τη διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Αν κόψουμε στη μέση ένα οπτικό καλώδιο, θα συναντήσουμε, από το κέντρο προς το εξωτερικό του, τα εξής τμήματα:

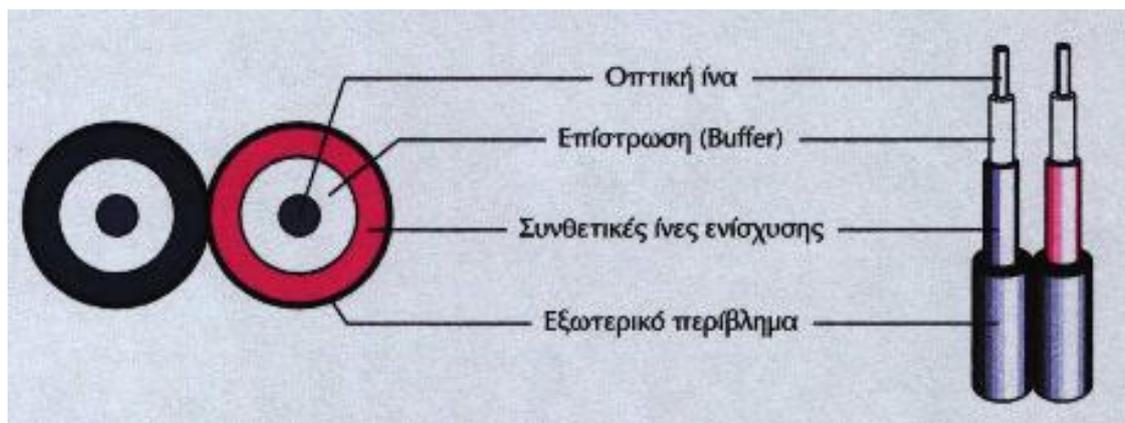
Πυρήνας (fiber core): Είναι κατασκευασμένος από πυρίτιο (SiO_2) με προσμίξεις GeO_2 . Είναι η περιοχή όπου η δέσμη των οπτικών ινών διαδίδεται με διαδοχικές ολικές ανακλάσεις στην διαχωριστική επιφάνεια I και II (σχήμα 2) και βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του καλωδίου[10].

Εσωτερική επένδυση (cladding) : Είναι το περίβλημα της ίνας κατασκευασμένο από καθαρό πυρίτιο (SiO_2) υλικό που αντανακλά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου[10].

Εξωτερική επένδυση (coating) : Είναι η πρωτεύουσα επικάλυψη κατασκευασμένη από ανθεκτικό συνθετικό ακρυλικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ατσάλι για μεγαλύτερα, που χρησιμοποιούν οι εταιρείες σε εξωτερικό περιβάλλον. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές που θα προέκυπταν από τους διάφορους εξωτερικούς παράγοντες παρέχοντας προστασία στα υπόλοιπα στρώματα[10].



Σχήμα 2 . Τομή οπτικής ίνας



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά στρώματα οπτικής ίνας

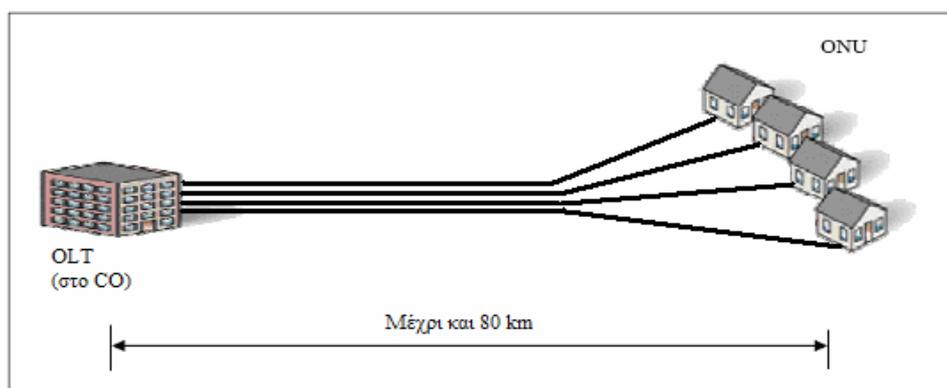
IV. Δίκτυα πρόσβασης FTTx

Στα FTTx δίκτυα, το “x” αναφέρεται στην τοποθεσία όπου καταλήγει το τελικό σημείο της οπτικής ίνας κοντά στον πελάτη. Το σημείο αυτό είναι η οπτικοηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται μέσα σε κάποιο είδος εξοπλισμού μετάδοσης, που ονομάζεται Οπτική Μονάδα Δικτύου (Optical Network Unit – ONU) ή Οπτικό Τερματικό Δικτύου (Optical Network Terminal – ONT). Όταν η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το σπίτι του συνδρομητή τότε έχουμε ολοκληρωμένη υλοποίηση οπτικού δικτύου και ονομάζεται FTTH (fiber to the home).

V. Τεχνολογίες FTTH δικτύων

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές τοπολογίες που έχουν επικρατήσει για την υλοποίηση FTTH δικτύων με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Είναι η αρχιτεκτονική HOME RUN και οι αρχιτεκτονικές αστέρα που χωρίζονται σε PON (passive optical network) και AON (Active Optical Network).

6.1.1 HOME RUN



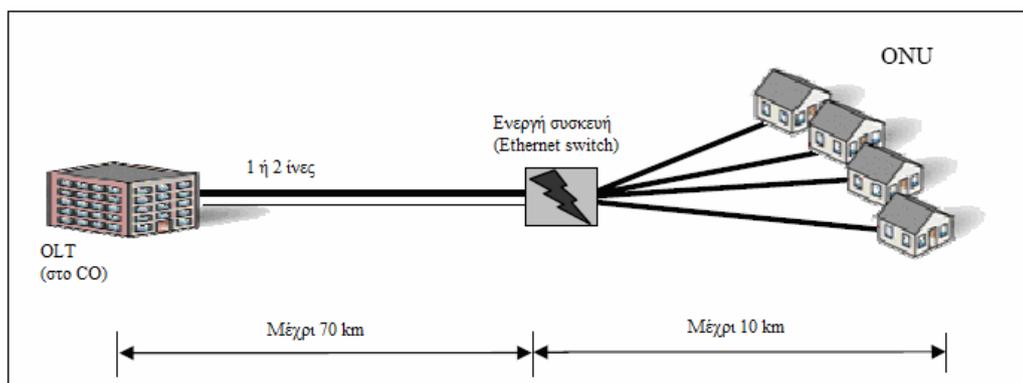
Σχήμα 4 . Αρχιτεκτονική HOMERUN

Η Home Run αρχιτεκτονική : Υπάρχει μία οπτική ίνα για κάθε κατοικία που την εξυπηρετεί αποκλειστικά και την συνδέει μέχρι το κεντρικό γραφείο (CO)[3] .

6.1.2 Αρχιτεκτονική αστέρα AON (Active Optical Network) και PON (Passive Optical Network)

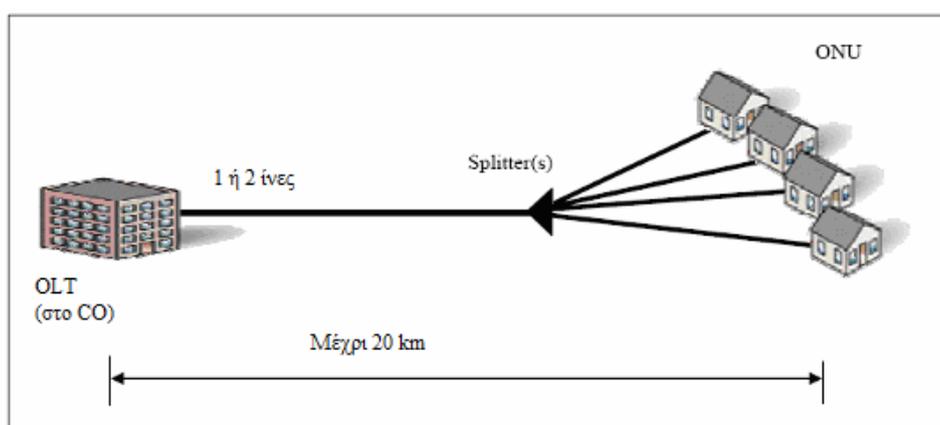
Η αρχιτεκτονική αστέρα μπορεί να είναι είτε ενεργή (active) ή παθητική (passive), ανάλογα με το αν ο απομακρυσμένος κόμβος τροφοδοτείται από ρεύμα (ενεργός) ή όχι (παθητική). Επιπλέον στην παθητική αρχιτεκτονική μπορούν να είναι είτε απλά συστήματα μήκους κύματος (όλα τα σπίτια θα συνδέονται στο ίδιο μήκος κύματος) ή συστήματα με πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM)[3].

Σε αρχιτεκτονικές AON σε μορφή δακτυλίου ή αστέρα , κάθε χρήστης διαθέτει προσωπική οπτική ίνα μέχρι το σημείο όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ενεργός εξοπλισμός (συνήθως Ethernet switches), ο οποίος μετάγει από εκεί και πέρα την κίνηση πολλών χρηστών προς το κυρίως δίκτυο και στη συνέχεια μέχρι το κεντρικό γραφείο (CO)



Σχήμα 5 . Αρχιτεκτονική AON

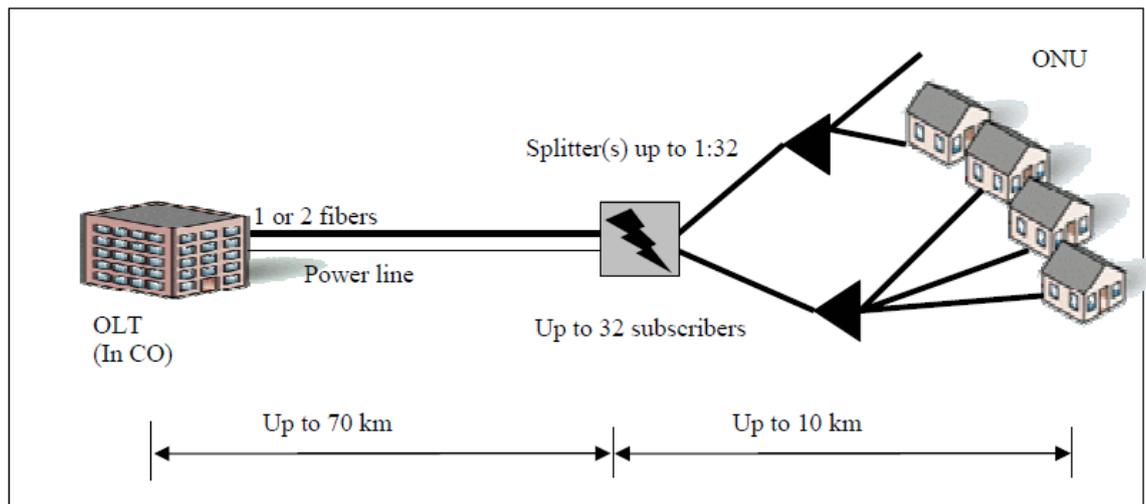
Στην περίπτωση του PON χρησιμοποιούνται διατάξεις που δεν χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα, και συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οπτικοί διαχωριστές (splitters), για να δώσουν τη δυνατότητα μία οπτική ίνα να διαμοιραστεί σε πολλαπλούς χρήστες [3]. Το τελευταίο ενεργό στοιχείο στην περίπτωση του PON βρίσκεται στο δίκτυο κορμού (backbone)



Σχήμα 6 . Αρχιτεκτονική PON

6.1.3 Υβριδικές αρχιτεκτονικές

Τα δίκτυα αυτά είναι ένας συνδυασμός τοπολογιών AON, παθητικών PON και Home Run δικτύων[3]. Για παράδειγμα συνδυασμός από AON και PON δίκτυα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων δικτύων, αφού στην προκειμένη περίπτωση η απόσταση που καλύπτει ένα τέτοιο δίκτυο είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα κάλυπτε ένα PON δίκτυο, ενώ έχει και πιο απλή υποδομή από ένα AON δίκτυο.



Σχήμα 7 . Υβριδική αρχιτεκτονική

VI. Εφαρμόσιμες τεχνολογίες στα FTTH δίκτυα

Πάνω στις αρχιτεκτονικές FTTH εφαρμόζονται διάφορες τεχνολογίες με τις οποίες επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη απόδοση. Οι βασικότερες είναι η WDM και η TDM.

1.6.1 WDM Wave Division Multiplexing

Η πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM πολυπλεξία) παρέχει συμβατότητα μεταξύ του εύρους ζώνης του οπτικού μέσου - οπτική ίνα - και του εύρους ζώνης του τερματικού εξοπλισμού, που απαρτίζεται κυρίως από ηλεκτρονικές διατάξεις. Κατά την WDM πολυπλεξία, το φάσμα μετάδοσης της οπτικής ίνας χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες περιοχές μηκών κύματος (συχνοτήτων), και κάθε μήκος κύματος μεταφέρει ένα κανάλι σε ρυθμό μετάδοσης ίσο με αυτό του τερματικού ηλεκτρονικού εξοπλισμού [4]. Επιτρέποντας τη μεταφορά πολλαπλών WDM καναλιών πάνω από μία

οπτική ίνα επιτυγχάνεται πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα τα δομικά στοιχεία των δικτύων WDM είναι ευκολότερο να υλοποιηθούν, καθώς καλούνται να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ανά κανάλι ίσο με αυτό των ηλεκτρονικών πομποδεκτών.

1.6.2 TDM time division multiplexing

Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) είναι μία μέθοδος για τη μετάδοση και λήψη ανεξάρτητων σημάτων σε μία κοινή διαδρομή σήματος μέσω συγχρονισμένων διακοπών του σήματος σε κάθε άκρο της γραμμής μετάδοσης έτσι ώστε κάθε σήμα να εμφανίζεται στη γραμμή μόνο ένα κλάσμα του χρόνου με εναλλασσόμενο τρόπο [4].

Χρησιμοποιώντας TDM στις οπτικές ίνες καταφέρνουμε να αυξήσουμε την απόδοση.

Οι δύο τεχνικές WDM και TDM δεν είναι ανταγωνιστικές, γι αυτό το λόγο τα σημερινά δίκτυα χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των δύο, όπου τα σήματα πολυπλέκονται στο μήκος κύματος και επιπλέον το κάθε μήκος κύματος πολυπλέκεται στο χρόνο. Με τον τρόπο αυτό εκμεταλλευόμαστε ακόμα καλύτερα τη μεγάλη χωρητικότητα που προσφέρει η ίνα ως μέσο μετάδοσης και βελτιώνουμε αρκετά τη διέλευση πληροφορίας (throughput) μέσα από το οπτικό δίκτυο.[13]

VII. Χαρακτηριστικά και επιδόσεις

Οι επιδόσεις μιας οπτικής ίνας συνδέονται με τον ρυθμό μετάδοσης του σήματος στην ίνα, με το αν, δηλαδή, η ίνα είναι πολύτροπη ή μονότροπη και με το μήκος κύματος του φωτός, που εκπέμπεται από την πηγή. Στις μονότροπες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται μήκη κύματος μεταξύ 1310 και 1550 nm ενώ στις πολύτροπες έχουμε μήκη κύματος από 850 έως 1300 nm. Οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν

σήματα σε πολύ μεγάλο εύρος ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή εξασθένηση του σήματος. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστάσεις, που υπερβαίνουν τα 3 Km, ενώ οι μονότροπες οπτικές ίνες μπορούν να υπερβούν τα 10 Km. Υπάρχουν, όμως, και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι περιορίζουν τις παραπάνω αποστάσεις μετάδοσης. Τέτοιοι παράγοντες είναι το εύρος ζώνης της πηγής και του δέκτη των σημάτων σε μια οπτική ίνα καθώς και η χρωματική διασπορά του μεταδιδόμενου σήματος μέσα στην οπτική ίνα. Αύξηση της διασποράς με την απόσταση εξασθενίζει το σήμα. Επίσης, επιβαρυντικός παράγοντας είναι η χρήση συνδέσμων και διακλαδωτών στην πορεία των οπτικών ινών. Θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι στις πολύτροπες οπτικές ίνες είναι πιο ανεκτό να χρησιμοποιήσουμε συνδετήρες και διακλαδωτές απ' ότι στις μονότροπες. Επίσης, στις πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους πηγές LED, ενώ οι μονότροπες οδηγούνται συνήθως από πηγή LASER. Τυπική τιμή εξασθένησης σήματος για μια 62.5/125 πολύτροπη οπτική ίνα είναι 3.5 dB/Km για σήμα με μήκος κύματος 850 nm και 1.0 dB/Km για μήκος κύματος 1300 nm. Τυπικό μέγεθος εξασθένησης σήματος για μονότροπη οπτική ίνα είναι 0.5 dB/Km στα 1310 nm και 0.4 dB/Km στα 1550nm. Το διαθέσιμο φασματικό εύρος ζώνης των οπτικών ινών γύρω από την φασματική περιοχή του 1.5 μm είναι της τάξης των 25 THz, δηλαδή περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερο από ολόκληρο το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων και η απόσβεση που εισάγεται είναι μηδαμινή 0.2 dB/Km [1,6]. Με εφαρμογή διαφόρων τεχνικών πολυπλεξίας, όπως η OTDM (Optical Time Division Multiplexing) και η WDM (Wavelength Division Multiplexing) οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τις τάξεις των Tbps.

VIII. Περιοριστικοί παράγοντες επίτευξης υψηλότερων ταχυτήτων σε οπτικές ίνες

Η απαίτηση για μείωση του κόστους των οπτικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων, οδηγεί στη συνεχή αύξηση της απόστασης μεταξύ οπτικού πομπού και οπτικού δέκτη χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων αναγεννητών ενώ ο ρυθμός σηματοδοσίας συνεχώς αυξάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εντονότερη επίδραση των φαινομένων διάδοσης τα οποία αποτελούν τον βασικό περιοριστικό παράγοντα για επιπλέον αύξηση της ταχύτητας στα οπτικά δίκτυα. Διακρίνονται σε γραμμικά, όπως είναι η χρωματική διασπορά (chromatic dispersion - CD), η οπτική εξασθένιση, η διασπορά τρόπων πόλωσης (polarization mode dispersion – PMD) και η διεξασθένιση (polarization dependent loss - PDL), και σε μη γραμμικά, όπως είναι η αυτοδιαμόρφωση (self-phase modulation-SPM) και η ετεροδιαμόρφωση φάσης (cross-phase modulation-XPM), η μίξη τεσσάρων κυμάτων (four- wave mixing-FWM), η εξαναγκασμένη σκέδαση Raman και η εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin [14].

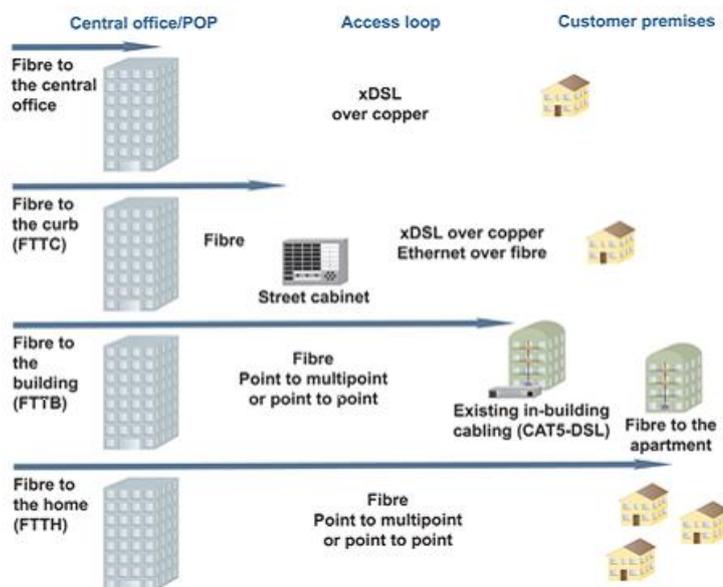
IX. Τρόποι μετάδοσης οπτικού σήματος

Πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση του οπτικού δικτύου και στα χαρακτηριστικά του διαδραματίζει ο τρόπος διάδοσης του οπτικού σήματος καθώς και τα χαρακτηριστικά εκπομπής του. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για βελτίωση και εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα που σχετίζονται κυρίως με τη συχνότητα και τον τρόπο εκπομπής του.

ΚΕΦ.2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΥΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ (PON vs AON)

Προκειμένου να μπορέσει να γίνει μία ολοκληρωμένη μελέτη σχετικά με την τεχνολογία FTTH , να μελετηθεί ο τρόπος εφαρμογής της καθώς και οι δυνατότητες για περαιτέρω εξέλιξής της είναι αναγκαίο να γίνει μία ανασκόπηση στις υπάρχουσες μελέτες και ερευνητικές προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα. Τα θέματα που είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη των δικτύων οπτικών ινών είναι το κόστος εγκατάστασή τους , ο τρόπος μετάδοσης της πληροφορίας για αύξηση της απόδοσης και η διαχείριση του όγκου πληροφοριών που διακινούνται σε ένα τέτοιο δίκτυο σε σχέση τόσο με τη χρήση πόρων όσο και την αναλογία του κόστους χρήσης που προκύπτει.

2.1 Αρχιτεκτονικές FTTx



Σχήμα 8. Τύποι FTTx δικτύων

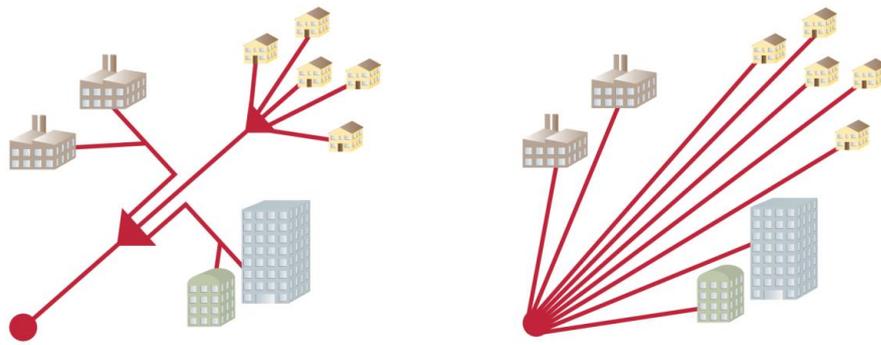
Σε ένα παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο, καλώδια χαλκού συνεστραμμένου ζεύγους, συνδέουν το κεντρικό γραφείο με σπίτια και άλλα κτίρια, ενώ η σύνδεση από το κεντρικό γραφείο στο δίκτυο κορμού γίνεται συνήθως μέσω καλωδίων οπτικών ινών. Ένα τηλεφωνικό δίκτυο χρησιμοποιεί καλώδιο χαλκού σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, αφού από το κεντρικό γραφείο έως τα σπίτια και τα κτίρια η ακτίνα μπορεί να φτάνει έως και 5,5 χιλιόμετρα.

Άλλες αρχιτεκτονικές φέρουν οπτικές ίνες πιο κοντά στον τελικό χρήστη, και ονομάζονται δίκτυα υβριδικών ινών, ή Fiber to the x (FTTx). Στα δίκτυα οπτικής ίνας μέχρι την καμπίνα (FTTC), η οπτική ίνα έχει εγκατασταθεί από το κεντρικό γραφείο μέχρι μία καμπίνα που βρίσκεται στο δρόμο, συνήθως σε απόσταση έως 1000 μέτρα από τα σπίτια.

Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί δίκτυα που φέρνουν το καλώδιο οπτικών ινών ακόμα πιο κοντά στις εγκαταστάσεις του συνδρομητή συνήθως 30 έως 50 μέτρα όμως η μέγιστη απόσταση δεν μπορεί να ξεπερνά τα 250 μέτρα και ονομάζεται FTTP.

Στα δίκτυα οπτικής ίνας έως το κτίριο (FTTB) η οπτική ίνα έχει εγκατασταθεί από το κεντρικό γραφείο μέχρι το κτίριο, και στη συνέχεια χρησιμοποιεί την υπάρχουσα εγκατάσταση συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων χαλκού και ινών στο εσωτερικό του κτιρίου για να διανείμει το δίκτυο στις μεμονωμένες κατοικίες.

Τέλος η αρχιτεκτονική Fibre to the home (FTTH) υποστηρίζει σε όλη τη διαδρομή από το κεντρικό γραφείο μέχρι τον συνδρομητή οπτική ίνα. Υπάρχουν δύο τύποι FTTH δικτύων :Point to point (συνήθως τεχνολογίας ethernet) και point to multipoint [18]



Σχήμα 9. Point-to-multipoint και point-to-point τοπολογίες

2.2 PON VS AON

Υπάρχουν βασικά δύο κύριες ομάδες αρχιτεκτονικών οπτικής πρόσβασης, το ενεργό οπτικό δίκτυο (AON) και το παθητικό οπτικό δίκτυο (PON). Ένας μεγάλος αριθμός από συγκριτικές μελέτες έχουν διεξαχθεί για να καταλήξουμε στην καλύτερη λύση για το μέλλον του δικτύου πρόσβασης με βάση την οπτική τεχνολογία με την αξιολόγηση του κόστους και της απόδοσης των διαφόρων παραγόντων, όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι επιδόσεις και η αξιοπιστία.

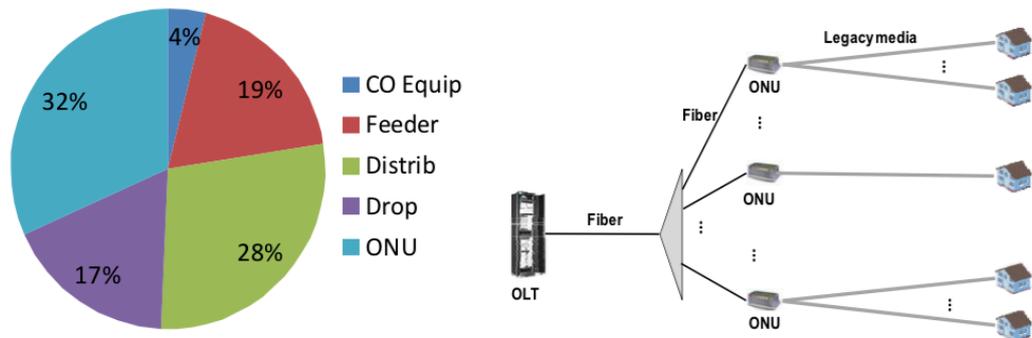
Από υπάρχουσα βιβλιογραφία [25-27] έχει αναλυθεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες αρχιτεκτονικές πρόσβασης που προσφέρουν οπτικές ίνες έως το σπίτι (FTTH), όπου γίνεται σύγκριση ενεργητικής και παθητικής λύσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι PONs είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές από τις AONs αρχιτεκτονικές, καθώς δεν υπάρχει ενεργός εξοπλισμός. Σε άλλη βιβλιογραφία [28,29] πραγματοποιείται τεχνοοικονομική μελέτη και τα συμπεράσματα είναι ότι η AON είναι φθηνότερη από την PON αρχιτεκτονική για 10 Gbps πομποδέκτες από άποψη κόστους εγκατάστασης, αν και η κατανάλωση ενέργειας της AON είναι υψηλότερη.

Αντίθετα, σε άλλη βιβλιογραφία [30] παρουσιάζει μια περιεκτική τεχνοοικονομική μελέτη που συγκρίνει διαφορετικές υλοποιήσεις AON και PON για

FTTH. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, η οποία περιλαμβάνει έξοδα λειτουργικών δαπανών καθώς και έξοδα επένδυσης που θα χρειαστούν, συμπαιρνεί ότι η PON αρχιτεκτονική είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση για το μέλλον της ευρυζωνικής πρόσβασης. Επιπλέον, η απόδοση, η αξιοπιστία και το κόστος των δύο αρχιτεκτονικών μελετάται και αξιολογείται [31,32], επιβεβαιώνοντας ότι η PON αποδίδει καλύτερα από την AON από άποψη αξιοπιστίας και ανθεκτικότητας.

Τα αποτελέσματα από όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι όλες οι αρχιτεκτονικές είναι εξίσου καλές στη διαχείριση του όγκου μεταγωγής όμως η WDM PON έχει την υψηλότερη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η AON χρειάζεται μεγαλύτερο αριθμό διακοπών και ενεργού εξοπλισμού γεγονός που μπορεί να αυξήσει τη λειτουργική πολυπλοκότητα. Η αρχιτεκτονική TWDM PON παρουσιάζει τις καλύτερες επιδόσεις και όσον αφορά τη συνολική απόδοση οπότε λαμβάνοντας υπόψη την συνολική αξιολόγηση των επιδόσεων, αποδεικνύεται ότι TWDM PON είναι η πιο ελπιδοφόρα προοπτική για το μέλλον της ευρυζωνικής πρόσβασης.

2.3 Επέκταση PON σε άλλα μέσα FTTdp



Σχήμα 10 .Κόστος εγκατάστασης και αρχιτεκτονική FTTdp [1].

- CO Equip – Εξοπλισμός στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο
- Feeder – Οπτική ίνα τροφοδότησης
- Distrib – Οπτική ίνα διανομής
- Drop – Όδευση οπτικής ίνας
- ONU – Οπτικός καταναεμητής

Τα Παθητικά οπτικά δίκτυα (PON) έχουν ευρέως αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο. Αυτό οφείλεται στις αυξανόμενες απαιτήσεις εύρους ζώνης από τους πελάτες. Με μια πρώτη ματιά, η ίνα μέχρι το σπίτι (FTTH) είναι η βέλτιστη λύση για τον στόχο της ευρυζωνικότητας. Κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης όμως αρχιτεκτονικών FTTH, η υποδομή του δικτύου εξακολουθεί να αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, σύμφωνα με στοιχεία από μελέτη που παρουσίασε στο συνέδριο για οπτικές επικοινωνίες ο F. Effenberger ECOC 2012 η εγκατάσταση της οπτικής ίνας διανομής η κατασκευή ONU και η σύνδεσή τους αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του

κόστους (60%) ,ενώ ο εξοπλισμός των κεντρικών εγκαταστάσεων του τηλεπικοινωνιακού παρόχου (δηλ OLT) και η ενεργοποίησή της αποτελεί το 23% του συνολικού κόστους. Σε πολλές περιοχές, η δαπανηρή υλοποίηση της μελέτης για την όδευση και την εγκατάσταση μέχρι το σπίτι δεν θα αποφέρει την ανάλογη επιστροφή στην απαιτούμενη επένδυση με αποτέλεσμα την αργή ανάπτυξη FTTH [1].

Το Fiber-to-the-Distribution Point (FTTdp) παρέχει μια εναλλακτική λύση για την παροχή υπερευρυζωνικής πρόσβαση στους πελάτες. Το σχήμα 10 δείχνει την αρχιτεκτονική FTTdp. Οι ONUs είναι τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των οπτικών ινών με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες όπως ο χαλκός. Η τελική σύνδεση μεταξύ των σημείων που τερματίζει η οπτική ίνα και των χρηστών επαναχρησιμοποιεί τις υπάρχουσες υποδομές. Το FTTdp αξιοποιεί τις επενδύσεις που έχουν γίνει ήδη σε επίπεδο υποδομών δικτύου αναβαθμίζοντας τα χαρακτηριστικά τους και αυξάνοντας το εύρος ζώνης. Παρέχει μια μέθοδο γεφύρωσης της υπάρχουσας υποδομής με την ίνα υψηλής ταχύτητας με σχετικά χαμηλό κόστος.

Το G.fast μελετά την τεχνολογία χαλκού υψηλής ταχύτητας για FTTdp . Επικεντρώνεται στην υβριδική πρόσβασης χαλκού και οπτικής ίνας μέσω PON υλοποίησης και G.fast συστήματα DSL. Η ταχύτητα που επιτυγχάνεται είναι τουλάχιστον 150 Mbits / s. ενώ η αναμενόμενη απόσταση από ένα σημείο διανομής σε ένα συνδρομητή είναι μέχρι 250 μέτρα[8]. Το G.fast είναι ένα PON δίκτυο, που χρησιμοποιείται για να συνδέει τα σημεία που καταλήγει το δίκτυο κάθε συνδρομητή με το κεντρικό γραφείο του φορέα. Σε σύγκριση με τις σημερινές τεχνολογίες DSL, το G.fast παρέχει μικρότερο μήκος βρόχου με μεγαλύτερη ταχύτητα πάνω από τη γραμμή του χαλκού.

Συμπερασματικά παρέχει μια εναλλακτική λύση για την εξισορρόπηση της απαξίωσης προηγούμενων επενδύσεων με την απαίτηση υπερευρυζωνικής σύνδεσης απαίτηση. .

2.4 ΕΞΕΛΙΞΗ PON ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ

Λόγω του ότι το παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) το οποίο παρέχει point-to-multipoint συνδεσιμότητα έχει μεγαλύτερη εξάπλωση λόγω των πλεονεκτημάτων που αναλύθηκαν είναι σημαντικό να γίνει μία αναφορά στις μέχρι σήμερα υλοποιήσεις.

Υπάρχουν δύο υλοποιήσεις, η Ethernet PON (EPON) και Gigabit PON (GPON). Στην Ευρώπη υιοθετήθηκε από μικρές επιχειρήσεις η αρχιτεκτονική EPON αλλά η GPON γίνεται γρήγορα η κυρίαρχη επιλογή μεταξύ των μεγάλων επιχειρήσεων καθώς προτιμάται από επιχειρήσεις στη Βόρεια Αμερική. Στη μεγαλύτερη αγορά FTTH που είναι η Ιαπωνία η Νότια Κορέα και η Κίνα χρησιμοποιούνται αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν μαζί EPON και GPON.

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ανέπτυξε το Ethernet στο FirstMile (IEEE 802.3av) Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει δύο διαμορφώσεις: την ασύμμετρη που λειτουργεί στα 10Gbps για downstream και 1Gbps για upstream και τη συμμετρική που παρέχει 10Gbps και για τις δύο κατευθύνσεις.

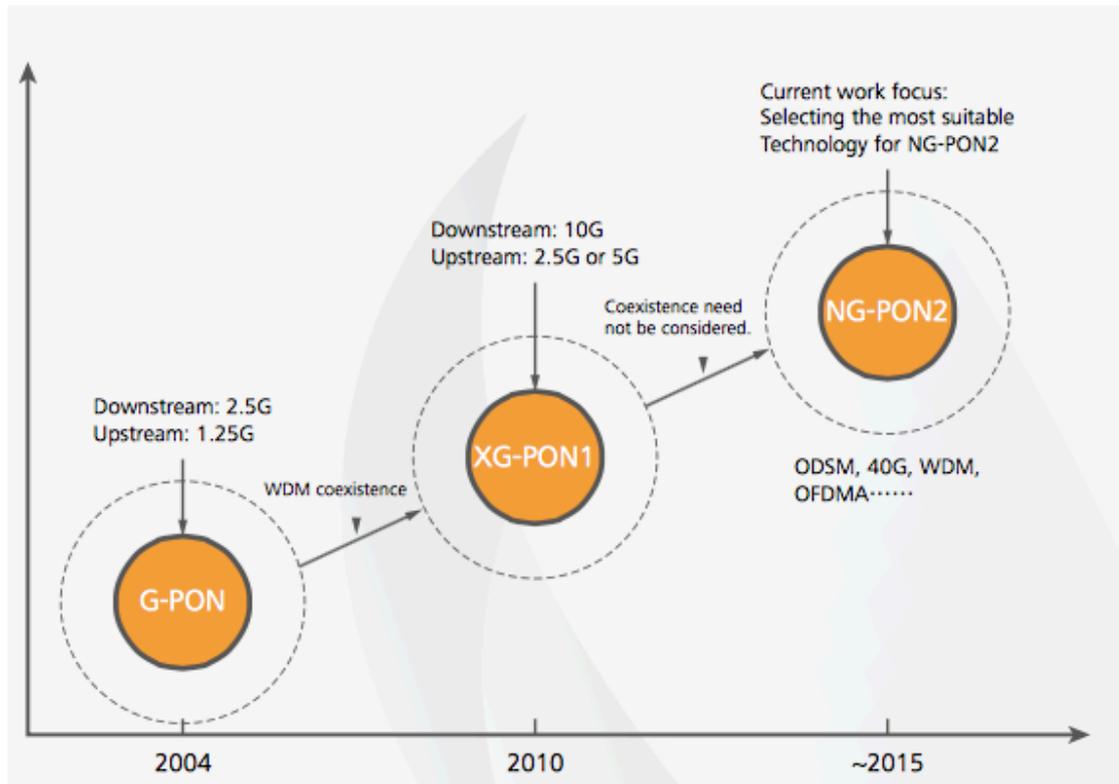
Το 2006 ο οργανισμός FSAN/ITU-T θέλοντας να ορίσει τις προδιαγραφές για το σύστημα GPON προκειμένου να επιτρέψει την ομαλότερη μετάβαση σε ότι σύστημα εξελιχθεί αργότερα κατέληξε στη σύσταση του G.984.5 με την οποία ορίζει το φάσμα και τα φίλτρα που θα χρησιμοποιούνται στα ONTs για το GPON προκειμένου να αποφευχθεί η αλληλεπίδραση στα διάφορα μήκη κύματος.

Το 2007 αλλάζει τις τεχνικές προδιαγραφές με αποτέλεσμα το 2010 τελικά να γίνει η σύσταση του ITU-T G.987 (XG-PON) με δυνατότητα 10Gigabit PON σύστημα που βασίζεται σε αρχιτεκτονική TDM-PON.

Δεδομένου ότι το δίκτυο οπτικών ινών αντιπροσωπεύει περίπου το 70% των συνολικών επενδύσεων σε FTTx δίκτυα, είναι σημαντικό τα μελλοντικά πρότυπα IEEE και την

ITU-T να είναι συμβατά προς τα πίσω, επιτρέποντας την εκμετάλλευση των υπάρχουσων επενδύσεων.

Τόσο τα πρότυπα IEEE όσο και της ITU-T επιτρέπουν τη συνύπαρξη διαφορετικών γενεών της τεχνολογίας PON ωστόσο, το προτεινόμενο πρότυπο NG-PON2 προσφέρει ήδη μεγαλύτερες χωρητικότητες και αναμένεται να κυριαρχήσει.



Σχήμα 11. Πρότυπα και η χρονική εξέλιξή τους

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό πιστοποίησης (ITU-T) υπάρχουν οι ακόλουθες πρωτυποποιήσεις

ITU-T Recommendations

G.983: Broadband Passive Optical Networks (PON)

G.984: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON)

G.987: 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems

G.989: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2)

G.694: Spectral grids for WDM applications:

G.multi (in progress): Generic multi-wavelength control in PON access systems

Αναλυτικά αναφέρονται οι μέχρι σήμερα πρωτοτυποποιημένες υλοποιήσεις

BPON (Broadband PON):

BPON είναι το πρώτο σύστημα παθητικής οπτικής παθητικής δικτύωσης που πρωτοτυποποιήθηκε. Ως βάση του έχει το πρωτόκολλο Transfer Mode (ATM). Αρχικά το όνομα που είχε δοθεί ήταν ATM PON και χρησιμοποιήθηκε και εφαρμόστηκε από επιχειρήσεις. Η πρωτοτυποποίηση πραγματοποιήθηκε από τον διεθνή οργανισμό Telecom Union με το όνομα BPON - ITUG.983. Στο BPON το κάθε πακέτο καταλαμβάνει 53 bytes μνήμης. Επιτυγχάνει 1.2 Gbps data rate για downstream και 622 Mbps για upstream [33].

EPON ή GEPON (Ethernet PON ή Gigabit Ethernet PON):

Η πρωτοτυποποίηση EPON πραγματοποιήθηκε από την IEEE ως 802.3ah η οποία αποτέλεσε την εξέλιξη του πρότυπου IEEE 802.3. Το πλεονέκτημα του EPON είναι ότι έχει ενσωματώσει την τεχνολογία Ethernet στα PON συστήματα [10]. Στην EPON

αρχιτεκτονική κάθε πακέτο καταλαμβάνει 1518 bytes μνήμης ενώ υποστηρίζει P2MP τοπολογία πρόσβασης.

GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network):

Αυτή η πρωτυποποίηση πραγματοποιήθηκε από τον οργανισμό ITU ως ITUG.984. GPON παρέχει διαθέσιμα πακέτα με εύρος από 53 bytes μέχρι 1518 bytes. Η μεταγωγική ικανότητα του GPON φτάνει από 1.2 Gbps έως 2.5 Gbps για downstream και για upstream μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές ταχύτητες ανάμεσα στα 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps ή 2.5 Gbps. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλο ATM , ETHERNET και TDM. Το πρότυπο GPON η οποία έχει χαρακτηριστεί ως XG-PON1, έχει κυκλοφορήσει το 2010. Μια σειρά από επιλογές έχουν εξεταστεί για την επόμενη γενιά πρότυπο ευρυζωνικής πρόσβασης επόμενης γενιάς (NG-PON2).

10 G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON):

Στο 10 G-EPON η πρωτυποποίηση πραγματοποιήθηκε από την IEEE . Η μεταγωγική ικανότητα του G-EPON φτάνει από 1Gbps έως 10 Gbps για downstream και για upstream ενώ είναι συμβατή τεχνολογία με την EPON. Το βασικό χαρακτηριστικό το 10 G-EPON είναι χρησιμοποίηση του ίδιου μήκους κύματος για downstream και upstream. Η αρχιτεκτονική της βασίζεται στην TDMA τεχνολογία.

Parameters	Broadband PON	Ethernet PON	Gigabit PON
Standardized by	ITU-T G.983	IEEE 803.2ah	ITU-T G.984
Data Packet Cell Size	53 bytes (48 payload and 5 overhead)	1518 bytes	Configurable from 53 bytes up to 1518 bytes
Maximum Data Rate	Downstream: 1.2 Gbps Upstream: 622 Mbps	1.25 Gbps (symmetric)	Downstream: 1.2 Gbps - 2.5 Gbps Upstream: 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps or 2.5 Gbps
Wavelength	Downstream: 1480nm to 1500nm Upstream: 1480nm to 1500nm	Downstream: 1480nm to 1500nm Upstream: 1480nm to 1500nm	Downstream: 1480nm to 1500nm Upstream: 1480nm to 1500nm

	1500nm U pstream: 1260nm to 1360nm	m: 1310n m	m: 1260nm to 1360nm
Traffic Modes	Asynchron ous Transfer Mode	Etherne t	Asynchrono us Transfer Mode , Ethernet, TDM
Voice	TDM	VoIP or TDM	Native TDM
Max. PON splits	32	16	64

Σχήμα 12: Πίνακας χαρακτηριστικών και διαφορές των τεχνολογιών PON

2.5 XG-PON1

Η προσέγγιση XG-PON1, που ορίζεται από την ITU-T G.987 για βραχυπρόθεσμη ανάπτυξη, λειτουργεί με τα υφιστάμενα δίκτυα και τον οπτικό εξοπλισμό. Παρέχει 10 Gbps downstream εύρος ζώνης και 2,5 Gbps upstream εύρους ζώνης.

Το XG-PON1 κληρονομεί τη διαμόρφωση και τη διαχείρισή του από το GPON. Η λειτουργία πλήρους υπηρεσίας παρέχεται μέσω υψηλότερου ρυθμού δεδομένων και μεγαλύτερης διάσπασης, διατηρώντας παράλληλα την δομή του δικτύου προσθέτοντας περισσότερες δυνατότητες, χωρίς να αυξάνεται η πολυπλοκότητα του δικτύου οπτικών διανομής.

Προκειμένου να επίτευχθεί η συμβατότητα με παλαιότερες τεχνολογίες, η FSAN επέλεξε ο πομποδέκτης 10G στο XG-PON1 downstream να έχει μήκος κύματος 1575nm και στο upstream μήκος κύματος περίπου 1270nm. Τα GPON και XG-PON συστήματα έτσι μπορούν να συνυπάρχουν στο ίδιο δίκτυο αρκεί να υπάρχει ένας συζευκτής μήκους κύματος που θα βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο, ο οποίος έχει οριστεί ως WDM1r στην ITU-T G.984.5.

Ένα πιθανό εμπόδιο για την ανάπτυξη GPON και XG-PON1 στην ίδια εξωτερική μονάδα είναι η ύπαρξη (ή μη-ύπαρξη) των φίλτρων δέσμωσης μήκους κύματος στους ακροδέκτες οπτικής δικτύωσης (ONTs) στις εγκαταστάσεις του πελάτη. Οι περισσότερες σύγχρονες ONTs GPON έχουν ενσωματωμένο φίλτρο για την εξάλειψη των παρεμβολών από τα μήκη κύματος του XG-PON1. Ωστόσο, παλαιότερες ONTs δεν διαθέτουν τέτοιο φίλτρο. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών με παλαιότερα ONTs θα πρέπει να εγκαταστήσουν τέτοια φίλτρα στις ONT προκειμένου να επιτύχουν τη συνήπαρξη GPON και XG-PON1.

Για τη διαμόρφωση, λειτουργία και συντήρηση, το GPON και XG-PON χρησιμοποιούν την ίδια μονάδα διαχείρισης οπτικού δικτύου και ελέγχου διασύνδεσης (OMCI), που καθορίζονται στο ITU-T G.988.

2.6 Next-generation passive optical network stage 2 (NG-PON2)

Το δεύτερο στάδιο της επόμενης γενιάς παθητικών οπτικών δικτύων (NG-PON2) βασίζονται στη διαίρεση πολυπλεξίας χρόνου και μήκους κύματος παθητικών οπτικών δικτύων (TWDM-PON) για τη βελτίωση της απόδοσης των ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης. Το TWDM-PON επιλέχθηκε ως ο καλύτερος υποψήφιος για τα NG-PON2 λόγω της ικανότητάς του να υποστηρίξει τις απαιτήσεις NG-PON2, όπως την ενίσχυση του εύρους ζώνης σε 40 Gb/s, και η συνύπαρξη με ήδη υπάρχουσες υλοποιήσεις, χωρίς καμία αλλαγή στο οπτικό δίκτυο διανομής (ODN). [36]

Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) λόγω της point-to-multipoint (P2MP) αρχιτεκτονικής του, είναι μία καλή λύση για FTTH δίκτυα. Τα PON που χρησιμοποιούν τεχνολογίες διαίρεσης χρόνου (TDM) όπως το gigabit ethernet PON (GE-PON) και gigabit capable PON (G-PON) κυριαρχούν σε διάδοση στις διάφορες χώρες του κόσμου. Ωστόσο, επειδή το σύνολο του εύρους ζώνης μοιράζεται και χρησιμοποιείται από όλους τους χρήστες του συστήματος, κάθε χρήστης αποκτά πρόσβαση σε περιορισμένο ρυθμό δεδομένων με αποτέλεσμα συχνά η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων να μειώνεται σε λίγα Mbps.

Οργανισμοί που σχετίζονται με τις τηλεπικοινωνίες, όπως είναι η πλήρης πρόσβασης υπηρεσίας δικτύου (FSAN), το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) και η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), έχουν προτείνει τα δίκτυα PON επόμενης γενιάς τα (NG-PON). Η εξέλιξη των NG-PON χωρίζεται σε δύο στάδια: το πρώτο στάδιο NG-PON (NG-PON1) και το δεύτερο στάδιο NG-PON (NG-PON2). Το NG-PON1 είναι γνωστό ως ενδιάμεση επόμενη γενιά με ταχύτητες 10 Gb/s τόσο για download όσο και για upload. Το NG-PON2 είναι η επόμενη γενιά και έχει προταθεί από το FSAN να παρέχει το λιγότερο 40 Gb / s ταχύτητα και να παραμείνει συμβατό με τις προηγούμενες υλοποιήσεις και

αρχιτεκτονικές. Πρόσφατες μελέτες έχουν υλοποιήσει NG-PON2 όπως η G 40 TDM-PON χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως πολυπλεξία διαίρεση μήκους κύματος PON (WDM-PON) , πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου πολυπλεξίας PON (TWDM-PON) και ορθογώνια πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας PON (OFDM-PON).

Ήδη οι χρήστες δικτύων FTTX αυξάνονται συνεχώς [15]. Η μαζική εγκατάσταση τεχνολογιών FTTX συνεχώς αυξάνεται προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες για μεγαλύτερο εύρος ζώνης και να καλυφθεί η ζήτηση από την ραγδαία αύξηση των υπηρεσιών του Διαδικτύου [16].

Αναμένεται ότι ο καλύτερος πάροχος της ευρυζωνικής τεχνολογίας από το έτος 2035 θα είναι το NG-PON2, διότι έχει τη δυνατότητα εύκολης ανάπτυξης, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί όλες τις ίνες της υπάρχουσας ενσύρματης υποδομής. [17].

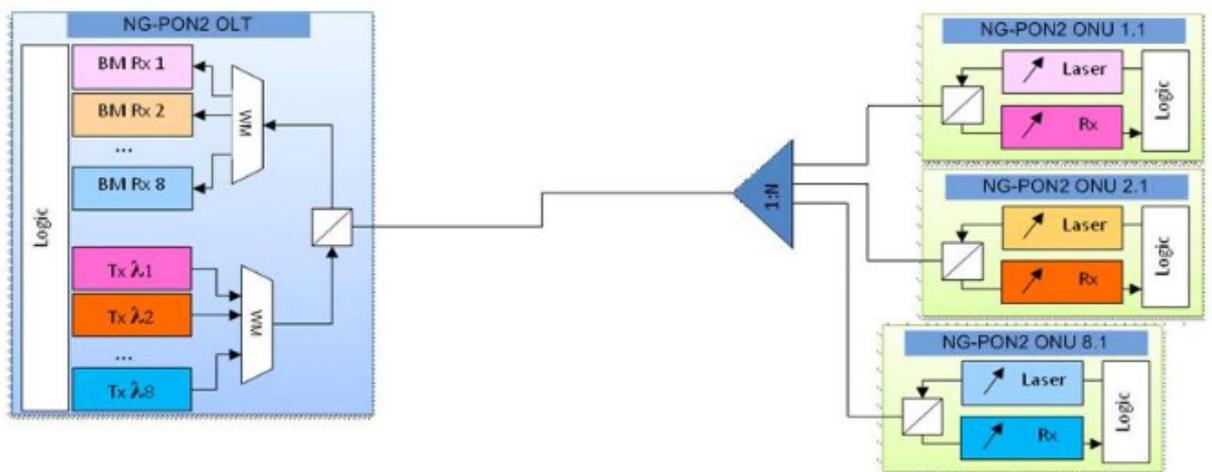
2.7 NG-PON2 προτεινόμενες αρχιτεκτονικές σύμφωνα με την FSAN

Η τεχνολογία επόμενης γενιάς, NG-PON2, έχει αυξήσει την ικανότητα των PON δικτύων τουλάχιστον στα 40 Gbps downstream και 10 Gbps upstream μέχρι το τέλος του 2015. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί μελλοντικά μελετώνται αρκετές καινοτομίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [36]

Ορισμένες από τις προτάσεις που εξετάζονται από FSAN περιλαμβάνουν:

- 40Gbps TDM PON
- Εφαρμογή διαίρεσης πολυπλεξίας σε χρόνο και σε μήκος κύματος (TWDM) PON
- WDM-PON
- Πυκνή πολυπλεξία μήκους κύματος WDM-PON (PON UDWDM)
- Ορθογώνια πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (OFDM) PON

Ως πρωταρχική προσέγγιση η FSAN έχει επιλέξει την TWDM-PON η οποία βρίσκεται τώρα στο στάδιο της τυποποίησης από την ITU-T. Ο λόγος είναι ότι η TWDM-PON έχει τον μικρότερο κίνδυνο να προσαρμοστεί στον υπάρχον εξοπλισμό με τις λιγότερες απαιτήσεις για αναπροσαρμογή του δικτύου καθώς είναι και η λιγότερο δαπανηρή από άλλες προσεγγίσεις, διότι επαναχρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή. Η τεχνολογία TWDM-PON μπορεί να θεωρηθεί ως πολλαπλά συστήματα XG-PON1 που λειτουργούν σε διαφορετικά ζεύγη μηκών κύματος, έτσι ώστε να μπορούν να "στοιβάζονται" πάνω στην ίδια οπτική ίνα.



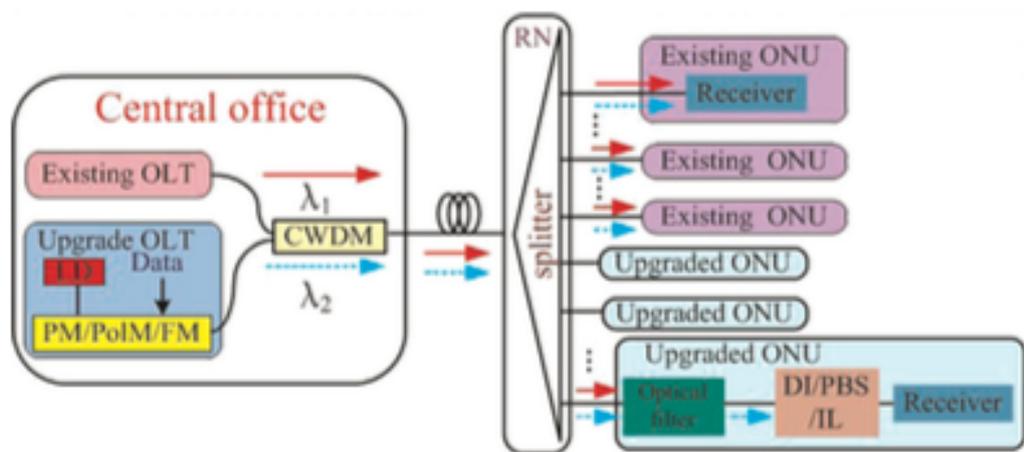
Σχήμα 13. Παράδειγμα αρχιτεκτονικής NG-PON2

2.8 Next-generation passive optical network stage 2 βασισμένες σε orthogonal modulation

Προκειμένου να επιτευχθεί η μετάβαση στην εγκατάσταση των νέων οπτικών ινών θα πρέπει να προστεθεί στην υπάρχουσα υλοποίηση νέα τροφοδότηση σήματος που θα συνυπάρξει με το υπάρχον οπτικό σήμα. Προκειμένου να μην δημιουργήσει θόρυβο οπτικής παρεμβολής (OBI) αυτό θα γίνεται με άλλο μήκος κύματος αλλά ακόμα και σε αυτή την περίπτωση οι δύο υπηρεσίες (αναβαθμισμένη και υφιστάμενη) δεν μπορούν να αποπολυπλεκτούν ως σχήμα κοινού μήκους κύματος πολυπλεξίας (WDM). Οι δύο υπηρεσίες είναι εύκολο να διαχωριστούν στο OLT από ένα πολυπλέκτη μήκους κύματος (CWDM) ή οπτικό φίλτρο αλλά ο διαχωρισμός κατά το downstream παραμένει ένα πρόβλημα λόγω του μεγάλου αριθμού και της μεγάλης διασποράς των εγκατεστημένων ONU αφού σε κάθε απομακρυσμένο κόμβο (Rn) θα χρειαστεί να προστεθεί ένα CWDM ή ένα οπτικό φίλτρο. Γι αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να εφαρμοστούν άλλες μέθοδοι που θα μπορούν όμως να αντιμετωπίσουν την παρεμβολή των σημάτων διότι οι υπάρχουσες ONU δεν διαθέτουν οπτικό φίλτρο. Μία πρόταση είναι να εφαρμοστεί η μέθοδος SCM προκειμένου να μετακινηθεί το αναβαθμισμένο σήμα πέρα από την συχνότητα εκπομπής του υφιστάμενου σήματος. Ωστόσο κάτι τέτοιο θα αύξανε το κόστος αφού θα απαιτούσε πρόσθετες ηλεκτρικές συσκευές και θα έφερνε θόρυβο στο OBI. Προκειμένου να επιτευχθεί εξάλειψη αυτού του φαινομένου έχει προταθεί ως λύση η διαμόρφωση φάσματος γραμμής κωδικοποίησης (SSLC) προκειμένου να διαμορφωθεί το φάσμα του σήματος αναβάθμισης (19,20) αλλά αυτό απαιτεί μετάδοση με διαφορά ταχύτητας μεταξύ του σήματος και αναβάθμιση του υπάρχοντος σήματος. Οι τεχνολογίες SCM και SSLC μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της αλληλοεπίδρασης γειτονικών σημάτων αλλά δεν μπορούν να την εξαλείψουν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υπάρχον και το

αναβαθμισμένο σήμα διαμορφώνονται και τα δύο με διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (ASK). Το πλάτος του σήματος αναβάθμισης δεν είναι σταθερό και η διακύμανση του πλάτους προκαλεί την αλληλεπίδραση στο ASK υπάρχον σήμα. Για την εξάλειψη αυτού του φαινομένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ορθογώνια διαμόρφωση όπως η διαφορική κωδικοποίηση φάσης (DPSK), η μετατόπιση πολωσης (Polask) ή μετατόπιση συχνότητας (FSK). Το ορθογώνια διαμορφωμένο σήμα της αναβάθμισης είναι σταθερού πλάτους και έχει χρησιμοποιηθεί σε ορισμένα συστήματα.(21-23).

Χάρη στο σταθερό πλάτος το ορθογώνια διαμορφωμένο σήμα downstream προκαλεί μικρή αλληλεπίδραση στο ASK upstream σήμα. Η ορθογωνική διαμόρφωση που φαίνεται στο σχήμα 11 έχει προσαρμοστεί μεταξύ των νέων αναβαθμίσεων των OLT και των αναβαθμισμένων ONUs που μοιράζονται την υπάρχουσα υποδομή. Οι αναβαθμισμένες ONU είναι εξοπλισμένες με οπτικά φίλτρα για να φιλτράρουν το υπάρχον σήμα ASK και θα λαμβάνουν μόνο το αναβαθμισμένο σήμα



Σχήμα 14. Μια ομαλή εξέλιξη που βασίζεται σε ορθογώνια διαμόρφωση.

2.9 SDM (Space Division Multiplexing) in Optical Fibres

Η οπτική τεχνολογία στις επικοινωνίες έχει σημειώσει τεράστια και σταθερή πρόοδο για αρκετές δεκαετίες. Μεγάλο μέρος αυτής της προόδου εστιάζεται στην εξεύρεση καινοτόμων τρόπων για την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς δεδομένων από μια μοναδική οπτική ίνα. Σε αυτή την αναζήτηση, οι ερευνητές έχουν εξετάσει και εφαρμόσει τεχνικές πολυπλεξίας στο χρόνο, το μήκος κύματος, την πόλωση, και τη φάση ώστε να επιτευχθεί αύξηση της απόδοσης μέσω της υποδομής οπτικών ινών. Εμφανώς, μια δυνητικά τεράστια πηγή βελτίωσης που όμως έχει μείνει αναξιοποίητη σε αυτά τα συστήματα είναι η δυνατότητα που παρέχουν οι οπτικές ίνες ώστε να υποστηρίξουν εύκολα πολλαπλούς τρόπους εκπομπής μέσα από παράλληλους διαύλους ανεξάρτητων σημάτων.

Η έννοια της αύξησης της απόδοσης των ινών με τη Space Division Multiplexing (SDM) είναι αρκετά παλιά αλλά ήταν δύσκολα εφαρμόσιμη[9]. Με την πρόοδο που πραγματοποιήθηκε στην κατασκευή οπτικών ινών και στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για μείωση του θορύβου του σήματος και της καλύτερης διαχείρισής του έχουν οδηγήσει στην προσπάθεια υιοθέτησης της στρατηγικής SDM. Η ανάγκη για αυξημένες ταχύτητες οδηγεί τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς στην εγκατάσταση όλο και περισσότερων οπτικών ινών πράγμα που σημαίνει αυξημένο κόστος μεταφοράς δεδομένων και ηλεκτρικής ενέργειας.

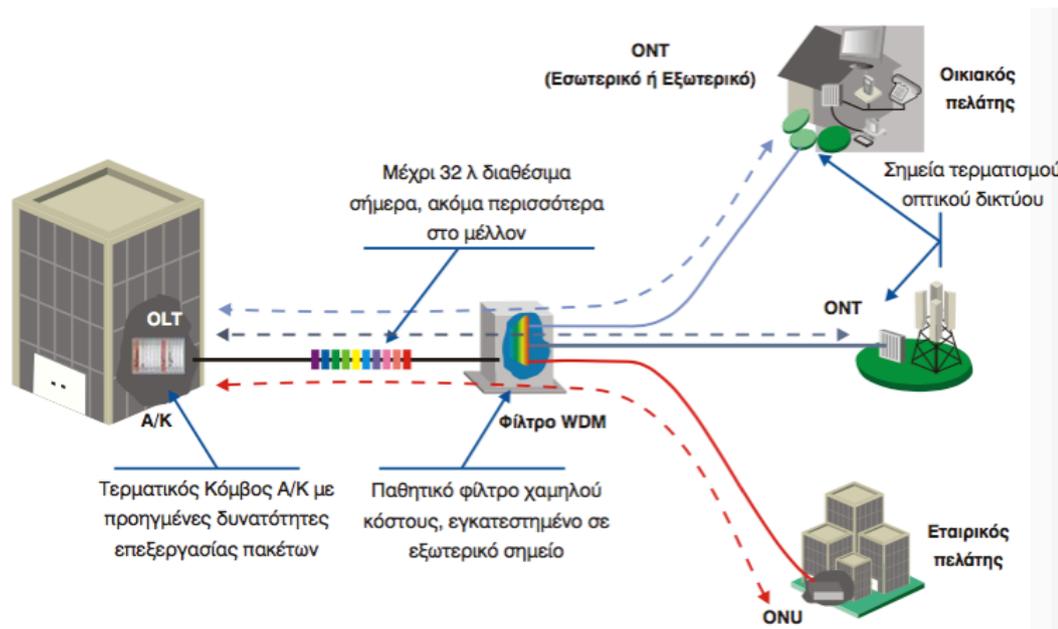
Μέσω της SDM στρατηγικής μέσα από μία ίνα θα επιτυγχάνεται παράλληλη μετάδοση δεδομένων σε πολλαπλά χωρικά επίπεδα μειώνοντας έτσι το κόστος για επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος είναι να μειωθεί το κόστος ανά bit και να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση. Η SDM αρχιτεκτονική έχει καταφέρει να επιτύχει ταχύτητα 1.05 Pb/s σε απόσταση 3

χιλιομέτρων μέσω μίας υβριδικής υλοποίησης οπτικών ινών που υποστηρίζει πολλαπλούς πυρήνες και ο κάθε ένας υποστηρίζει πολλαπλούς τρόπους εκπομπής[13].

2.10 WDM-PON

Η τεχνολογία Ethernet πάνω από WDM-PON παρουσιάζει παρόμοια πλεονεκτήματα με ένα δίκτυο Ethernet τοπολογίας σημείου προς σημείο (point to point). Βασικά χαρακτηριστικά της είναι η υψηλή χωριτικότητα και οι συμμετρικές ταχύτητες οι οποίες μάλιστα είναι κατά πολύ υψηλότερες από αντίστοιχες τεχνολογίες που βασίζονται στο TDM PON. Παράλληλα εξομαλύνει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα προβλήματα που υπάρχουν αναφορικά με τον αριθμό των διαθέσιμων οπτικών ινών καθώς και με το πλήθος των αντίστοιχων συγκολλήσεων ή τερματισμών που απαιτούνται.

Η τεχνολογία WDM PON είναι ότι πιο σύγχρονο υπάρχει σήμερα διαθέσιμο στον τομέα της οπτικής δικτύωσης. Με την τεχνολογία WDM PON εξοικονομείται μεγάλος αριθμός οπτικών ινών , ενώ παράλληλα εξαλείφονται οι διάφοροι περιορισμοί που συναντούνται στα αντίστοιχα συστήματα TDM PON. Εξάλλου, αυξάνεται σημαντικά η περιοχή κάλυψης του δικτύου ενώ προσφέρονται αυξημένες δυνατότητες κλιμάκωσης και υψηλού επιπέδου ασφαλείας δεδομένων από ένα πραγματικά ολοκληρωμένο δίκτυο οικιακών και εταιρικών υπηρεσιών.[37]



Σχήμα 15. Η πλατφόρμα Ethernet [37]

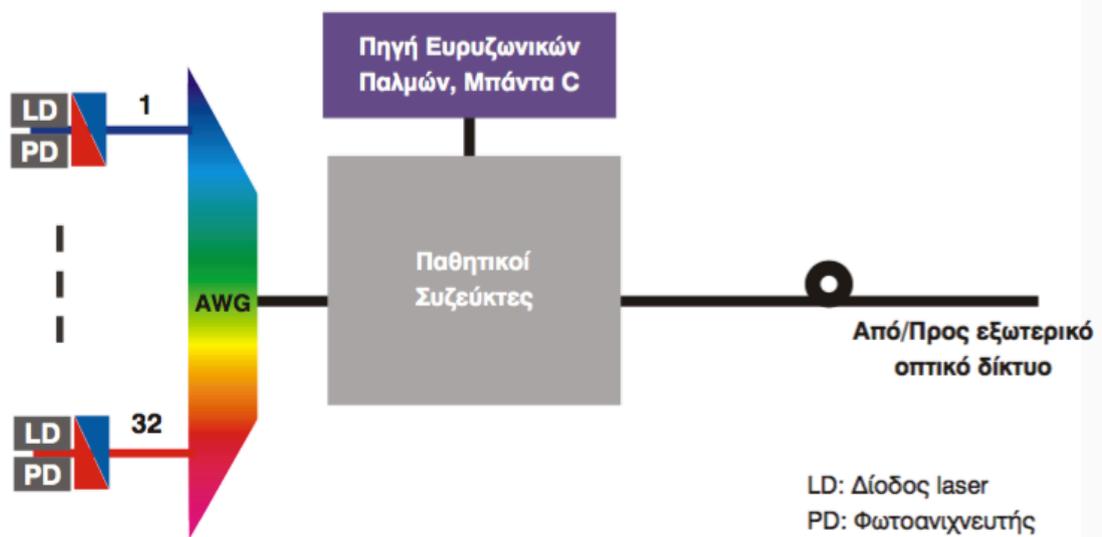
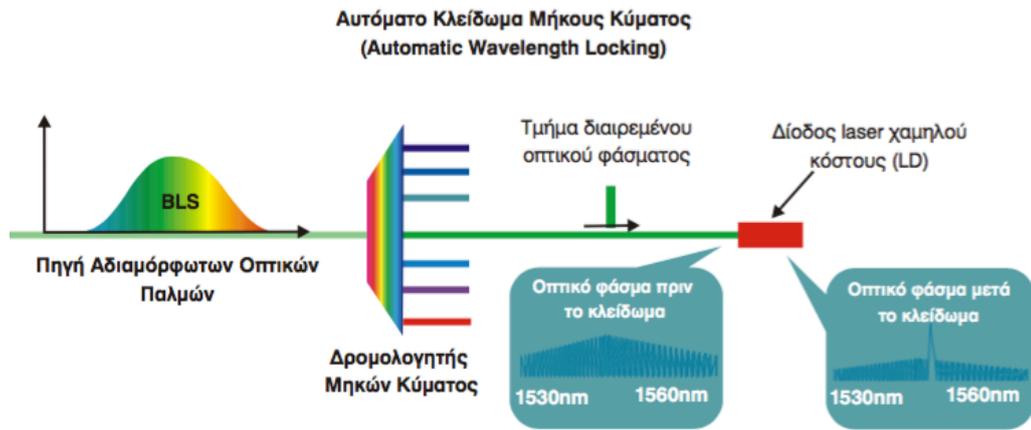
Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής της υλοποίησης είναι ο απλός σχεδιασμός και η ευκολία εγκατάστασης. Οι πραγματικά «άχρωμες» (colorless) οπτικές τερματικές συσκευές «τοποθέτησης και άμεσης λειτουργίας» (plug and play) εξασφαλίζουν την ανεξαρτησία της υποδομής από το αυξανόμενο πλήθος των συνδρομητών. Επίσης παρέχει ιδιαίτερη ευελιξία αφού δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ζεύξεων σημείου προς σημείο αλλά και πολυσημειακών συνδέσεων ικανών να υποστηρίζουν τόσο οικιακές όσο και εταιρικές υπηρεσίες πάνω από την ίδια υποδομή. Ακόμα ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί και η αυξημένη απόδοση αφού το συμμετρικό εύρος ζώνης και τα αφιερωμένα μήκη κύματος ανά χρήστη εξασφαλίζουν εξαιρετικές επιδόσεις σε όλες τις απαιτητικές εφαρμογές.

Σε ένα σύστημα WDM PON ένα απλό μήκος κύματος ξεκινά από το Αστικό Κέντρο και ανακατευθύνεται προς τον τελικό χρήστη μέσω ενός παθητικού οπτικού δρομολογητή που βρίσκεται εγκατεστημένος εξωτερικά κατά μήκος της ενδιάμεσης διαδρομής. Σε αντίθεση με τα συστήματα TDM PON τα μήκη κύματος είναι

ανεξάρτητα μεταξύ τους καθώς εκχωρούνται κάθε φορά σαν να επρόκειτο για μοναδικές ζεύξεις σημείου προς σημείο. Με τον τρόπο αυτό ένα μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακές υπηρεσίες και να έχει ταχύτητα 100Mbps ενώ ταυτόχρονα ένα άλλο μπορεί να λειτουργεί στο 1Gbps εξυπηρετώντας εταιρικές ανάγκες. Ο παθητικός οπτικός δρομολογητής μπορεί να χειριστεί σήμερα μέχρι και 32 μήκη κύματος ενώ στο μέλλον ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί στα 128.

Γενικά η τεχνολογία WDM PON υποστηρίζει συνδέσεις σημείο προς σημείο διατηρώντας παράλληλα την ανεξαρτησία μεταξύ των μηκών κύματος κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής.

Στο οπτικό τερματικό (OLT) που βρίσκεται εγκατεστημένο στο αντίστοιχο Αστικό κέντρο (CO) υπάρχει μία μονάδα παραγωγής αδιαμόρφωτων ευρυζωνικών οπτικών παλμών (Broadband Light Source). Οι παλμοί αυτοί κατευθύνονται στη συνέχεια προς τον απομακρυσμένο εξωτερικό κόμβο στον οποίο βρίσκεται το αντίστοιχο παθητικό φίλτρο και τελικά λειτουργούν ως «πιλότοι» για το κλειδίωμα των τερματικών των χρηστών (ONUs) σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Πιο συγκεκριμένα το παθητικό φίλτρο διαιρεί το φάσμα του αδιαμόρφωτου ευρυζωνικού παλμού σε N κανάλια DWDM στενού φασματικού εύρους. Στη συνέχεια κάθε κομμάτι του διαιρεμένου φάσματος μεταδίδεται διαμέσου μίας οπτικής ίνας προς το οπτικό τερματικό του τελικού χρήστη (ONT) το οποίο και είναι εξοπλισμένο με κατάλληλες διόδους Laser. Όταν η δίοδος laser οδηγείται από τα προς μετάδοση δεδομένα τότε το λαμβανόμενο σήμα την εξαναγκάζει σε λειτουργία περιορισμένου φάσματος όπως αυτό προσδιορίζεται από τη ζεύξη DWDM στην οποία ανήκει. Η διαδικασία του αυτόματου κλειδώματος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος γίνεται εύκολα κατανοητή αφού μία δίοδος laser λειτουργεί ουσιαστικά ως οπτικός ενισχυτής ο οποίος διαμορφώνει, ενισχύει και επιστρέφει το λαμβανόμενο BLS παλμό. [38]



Σχήμα 16. Τεχνολογία WDM PON για δίκτυα πρόσβασης [38]

ΚΕΦ.3: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

4.1 Περιληπτική Ανασκόπηση τεχνολογιών

Τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (PON) αποτελούν μια σειρά από πολλές υποσχόμενες τεχνολογίες δικτύων ευρυζωνικής πρόσβασης που προσφέρουν τεράστια πλεονεκτήματα όταν αναπτυχθούν πλήρως τα δίκτυα (FTTH) . Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την αρχιτεκτονική point to multipoint, υψηλής ποιότητας παροχής triple play υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και βίντεο, υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο internet, και άλλες υπηρεσίες με οικονομικά αποδοτικό τρόπο [39].

Κατά την τελευταία δεκαετία πολλές αρχιτεκτονικές PON έχουν αναπτυχθεί από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) και το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Οι τέσσερις κύριες παραλλαγές PON που αναπτύχθηκαν από την ITU και IEEE μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τεχνολογίες που βασίζονται σε αρχιτεκτονική ασύγχρονης μεταφοράς δεδομένων (ATM) και περιλαμβάνει τις ATM PON (APON), Broadband PON (BPON) και Gigabit PON (GPON) ενώ η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τεχνολογίες που βασίζονται σε Ethernet αρχιτεκτονική και περιλαμβάνει την Ethernet PON (EPON). EPON και GPON και είναι οι πιο δημοφιλείς παραλλαγές PON που βρίσκονται σε χρήση σήμερα.

Τα πρότυπα EPON και GPON έχουν την ίδια γενική αρχή σε σχέση με το επίπεδο εφαρμογής, αλλά διαφέρουν στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο σύνδεσης [40]. Η EPON ορίζεται από IEEE 802.3 και είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ασία ενώ η GPON αναπτύσσεται σε μια σειρά από άλλες περιοχές. Οι προδιαγραφές του GPON ορίστηκαν από την ομάδα Full Service Access Network (FSAN), και καταχωρήθηκε ως

ITU-T G.984. Υλοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή και την Αυστραλασία [41].

Η εξέλιξη της τεχνολογίας PON έχει ταξινομηθεί σε τρεις γενιές: πρώτη γενιά (PON), το στάδιο επόμενης γενιάς 1 (NG-PON1), και το στάδιο επόμενης γενιάς 2 (NG-PON2).

Η πρώτη γενιά PON βασίζεται στην τεχνολογία Time Division Multiple Access (TDMA) και παρέχει στο EPON 1 Gbps downstream και στο GPON 2,4 Gbps. Το NG-PON1 αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 10 Gbps και για τα δύο πρότυπα [42]. Ωστόσο, με την ταχεία αύξηση των απαιτήσεων για ακόμη υψηλότερο εύρος ζώνης το NG-PON1 δεν είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην μελλοντική ζήτηση για εύρος ζώνης και Quality of Service (QoS). Έτσι, η ερευνητική κοινότητα διερευνά τις επιλογές για το NG-PON2. Αρκετές τεχνολογίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε NG-PON2 έχουν μελετηθεί εκτενώς, προκειμένου να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις των χρηστών και των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων [46].

Οι τεχνολογίες πολυπλεξίας που εξετάζονται για NG-PON2 προκειμένου να παρέχει μια downstream μετάδοση 40 Gbps και upstream μετάδοση 10 Gbps είναι τέσσερις. Οι τεχνολογίες που περιλαμβάνουν υψηλής ταχύτητας Time Division Multiplexing PON (TDM-PON), Wavelength Division Multiplexing PON (WDM-PON), Optical Code Division πολυπλεξία PON (OCDM-PON), και Orthogonal Frequency Division Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας PON (OFDM-PON). Οι τεχνικές πολυπλεξίας έχουν επιλεγεί προκειμένου να παρέχουν μια σύνδεση P2MP μεταξύ ενός OLT και πολλαπλών ONUs. Ωστόσο, κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά [47]. Για την εξάλειψη των περιορισμών κάθε τύπου πολυπλεξίας, έχουν μελετηθεί υβριδικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των πολλαπλών τεχνολογιών και έχουν εξελιχθεί ως η κυρίαρχη

επιλογή για το NG-PON2. Στη βιβλιογραφία, συμπεριλαμβάνονται πολλές υβριδικές τεχνολογίες που έχουν μελετηθεί συμπεριλαμβανομένων TDM / WDM-PON, OCDM / WDM-PON, OCDM / TDM-PON, OFDM / WDM-PON, και OFDM / TDM-PON. Μεταξύ αυτών, η υβριδική πολυπλεξία TDM / WDM PON (TWDM-PON) έχει επιλεγεί ως βάση για το NG-PON2 από την κοινότητα FSAN [48]. Η απόφαση λήφθηκε με βάση διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων ωριμότητα της τεχνολογίας, της απόδοσης του συστήματος, την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος αποτελεσματικότητας [49].

Παρά τις προσπάθειες προσαρμόζοντας αυτές τις τεχνολογίες να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των NG-PON2, προκλήσεις όπως η αύξηση της χωρητικότητας, μείωση του κόστους, η επέκταση της εμβέλειας και της χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος εξακολουθούν να υφίστανται με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση.

Αρκετές αναφορές έχουν δημοσιευτεί για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων της NG – PON2s τεχνολογιών. Οι πιθανές λύσεις και προοπτικές των τεχνολογιών για την NG-PONs επίσης προτείνεται στο [50]. Ωστόσο, η μελέτη αυτή εξετάζει τις διαφορετικές γενιές των PONs και επικεντρώνεται στις δυνητικές τεχνολογίες γενικής εφαρμογής για το NG-PON2.

4.2 Ανάπτυξη EPON and GPON

Παρά το γεγονός ότι EPON και GPON παρέχουν τις ίδιες υπηρεσίες στους πελάτες, υπάρχουν ορισμένες διαφορές στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο σύνδεσης, που οδηγούν σε μεταβολές στα χαρακτηριστικά του κάθε προτύπου.

Στο EPON το downstream MAC layer έχει την ίδια λειτουργία ως πρότυπο με το Gigabit Ethernet MAC (GbE MAC), όπου η κίνηση μεταδίδεται σε όλους τους

χρήστες. Στο downstream πλαίσιο, το αρχικό πεδίο περιέχει ένα αναγνωριστικό λογικής σύνδεσης (LLID), το οποίο είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό που αποδίδεται από το OLT σε κάθε ONU.

Η ταυτότητα της ONU με την λαμβανόμενη κίνηση λαμβάνεται αντιστοιχίζοντας το LLID του ληφθέντος πλαισίου με την δική της LLID και αν υπάρχει ταύτιση τότε θα δεχθεί το ληφθέν πλαίσιο, αλλιώς απορρίπτεται. Για upstream, το στρώμα MAC έχει τροποποιηθεί από την IEEE για να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση TDMA, όπου η OLT εκχωρεί μία συγκεκριμένη χρονοθυρίδα σε κάθε ONU που λαμβάνει υπόψιν της την απόσταση ανάμεσα σε κάθε ONU και του OLT [51].

Στο GPON το downstream MAC layer λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως ένα GFP-framed SONET. Υποστηρίζει ένα πλαίσιο 125ms που χρησιμοποιεί TDM για να διαιρέσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ των χρηστών ενώ το upstream MAC layer βασίζεται στο TDMA. Το GPON υποστηρίζει δύο στρώσεις ενθυλάκωσης όπου τα Ethernet πλαίσια είναι έγκλειστα σε ένα πλαίσιο GPON μεθόδου ενθυλάκωσης (GEM) που ενσωματώνεται και πάλι σε ένα πλαίσιο GPON Μεταφοράς σύγκλισης (GTC). Το πλαίσιο GTC περιλαμβάνει κελιά ATM και TDM. Το downstream πλαίσιο μεταδίδεται σε κάθε ONU και η ONU χρησιμοποιεί τις πληροφορίες του πεδίου Physical Control Block downstream (PCBd) για να εξαγάγει τα δικά της στοιχεία. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα θα πρέπει να διαβιβάζονται συνεχώς downstream πλαίσια κατά τη διάρκεια του συγχρονισμού [52].

Το πλαίσιο upstream περιέχει πολλαπλές μεταδόσεις που φτάνουν από τις ONUs. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από μία επικεφαλίδα για το φυσικό επίπεδο (PLOu), ένα τμήμα που περιλαμβάνει την πληροφορία για το εύρος ζώνης (DBRu), και ένα αναγνωριστικό (Alloc-IDs). Όταν η κίνηση φτάνει στο OLT, δημιουργείται μία ουρά με την κίνηση από κάθε ONU που βασίζεται στο επίπεδο υπηρεσίας (CoS) με μία ποικιλία

περιπτώσεων QoS ανάλογα με τον τύπο της κίνησης (T-CONTs) που καθορίζεται στο αναγνωριστικό Alloc-ID (Segarra et al., 2013). Η GPON εισάγει πέντε τύπους T-CONTs που παρέχουν QoS στο upstream. Το πλαίσιο T-CONT χρησιμοποιείται στο GPON για τη δημιουργία σύνδεσης μεταξύ ONU και OLT, καθώς και για τη διαχείριση λανθασμένης μετάδοσης.

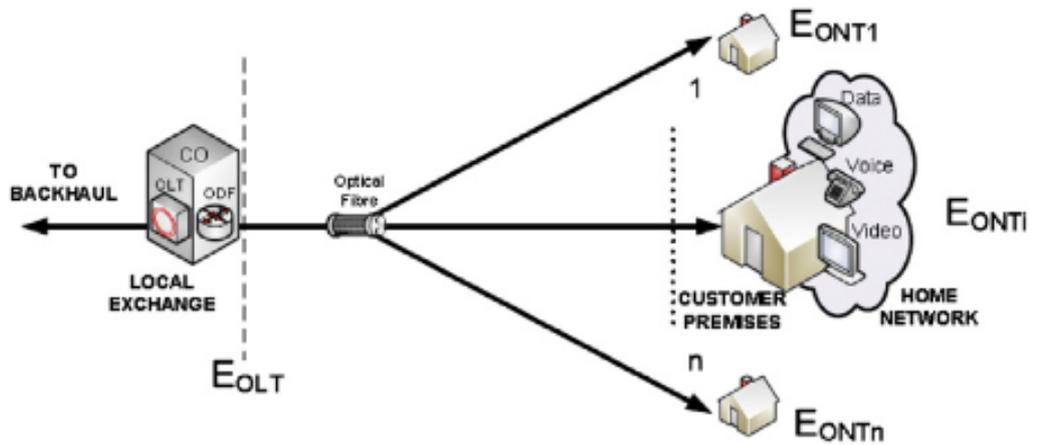
- 1) T-CONT τύπου 1 υποστηρίζει σταθερό εύρος ζώνης όταν υπάρχει διαφοροποίηση στο χρόνο. Το jitter του T-CONT τύπου 1 είναι 0 πράγμα που ενισχύει την καταλληλότητά του ως Constant Bit Rate (CBR) μετάδοση.
- 2) T-CONT τύπου 2 υποστηρίζει εξασφαλισμένο εύρος ζώνης όταν έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση από το τύπου 1. Χρησιμοποιείται με Committed Information Rate (CIR) μετάδοση.
- 3) T-CONT τύπου 3 υποστηρίζει εξασφαλισμένο και μη εξασφαλισμένο εύρος ζώνης παρέχοντας μία ελάχιστη εγγυημένη CIR μετάδοση και επιπλέον Excess Information Rate (EIR) μετάδοση. Αυτός ο τύπος είναι κατάλληλος για Variable Bit Rate (VBR) μετάδοση που δεν εγγυάται καθυστέρηση.
- 4) T-CONT τύπου 4 υποστηρίζει υπηρεσίες Best-Effort όπως η περιήγηση στο internet, το SMTP και το FTP.
- 5) T-CONT τύπου 5 είναι ένας συνδυασμός όλων των άλλων τύπων T-CONT και είναι κατάλληλος για γενικές μορφές μετάδοσης [53].

4.3 Σύγκριση FTTH / VDSL

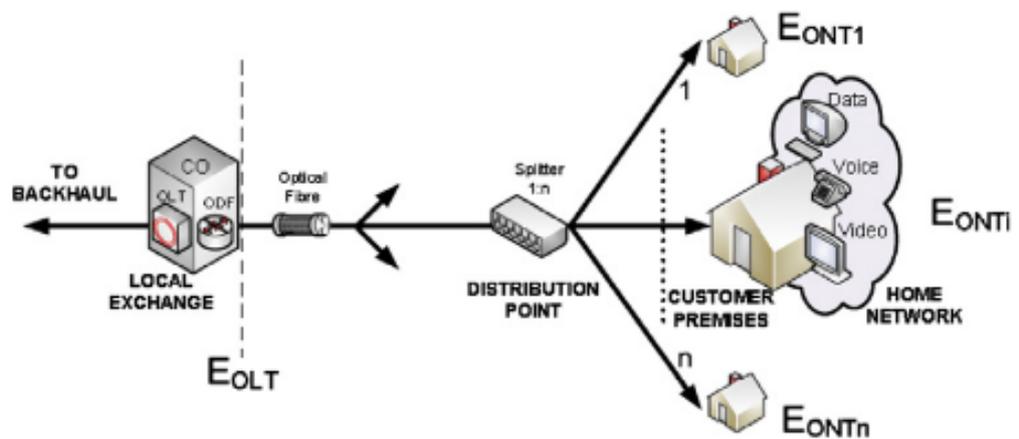
Οι τεχνολογίες VDSL / xDSL μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμες εναλλακτικές επιλογές σε σχέση με τις FTTH λύσεις, καθώς παρέχουν πρόσβαση προσεγγίζοντας τον τελικό χρήστη όσο το δυνατόν με τη χρήση ινών αλλά στη συνέχεια χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες υποδομές χάλκινων καλωδίων προσφέροντας ωστόσο μεγάλη αύξηση του εύρους ζώνης.

3.3.1 FTTH

Υπάρχουν διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύου FTTH, ανάλογα με το αν για κάθε συνδρομητή χρησιμοποιείται μία ίνα σε μία point-to-Point διαμόρφωση (PTP) ή μία ίνα μοιράζεται μεταξύ των πελατών (point-to-multipoint).



Σχήμα 17. Αρχιτεκτονική FTTH – PtP [54]



Σχήμα 18. Αρχιτεκτονική FTTH-PON [54]

Η απλή αρχιτεκτονική PtP βασίζεται στην εγκατάσταση οπτικών ινών μέχρι τις εγκαταστάσεις του πελάτη, όπως απεικονίζεται στο σχήμα. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν τοποθετούνται παθητικά στοιχεία μεταξύ του κέντρου του παρόχου και τις εγκαταστάσεις του πελάτη, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για να αποσταλεί το σήμα μέσω της ίνας [55]. Σε αυτή τη διαμόρφωση, ενέργεια απαιτείται για τη λειτουργία των διόδων λέιζερ που παρέχουν υπηρεσία σε πελάτες άρα ο αριθμός των OLT θα εξαρτηθεί άμεσα από τον αριθμό των συνδεδεμένων χρηστών. Γι αυτό το λόγο το κόστος ανα χρήστη είναι σταθερό και η κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον αριθμό χρηστών.

Ένας επιπλέον παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ όψιν και να προστεθεί στην κατανάλωση ισχύος είναι οι απαιτήσεις ψύξης του εξοπλισμού των OLT. Αυτός ο παράγοντας προσθέτει ένα επιπλέον 60% από την συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο OLT από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο [56][57][58].

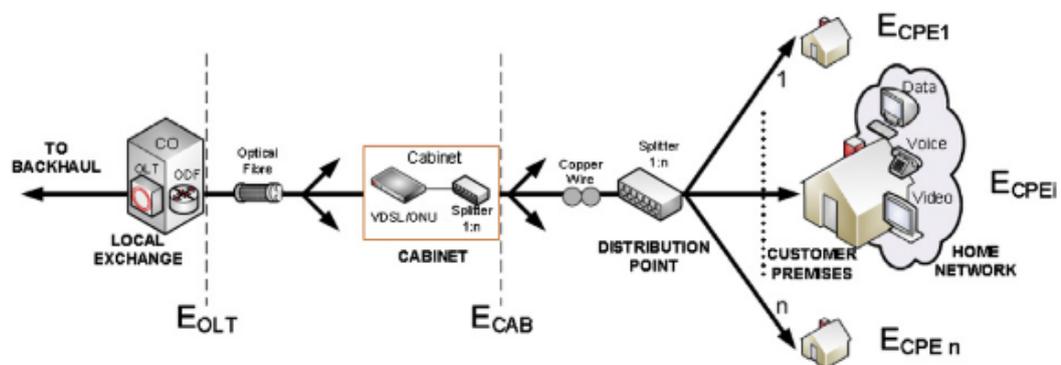
Η ψύξη για τον εξοπλισμό του τερματισμού (ONT) στο αστικό κέντρο προσεγγίζει το 0 αφού σε αυτό το στάδιο η διαδικασία ψύξης πραγματοποιείται με παθητικό τρόπο και ως εκ τούτου δεν καταναλώνει ενέργεια.

Ο αριθμός των χρηστών εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης του δικτύου σε κάθε δεδομένη στιγμή. Το μέγιστο όριο είναι 75%.

Μετά το τοπικό τηλεπικοινωνιακό κέντρο του παρόχου, παρεμβάλεται ο παθητικός οπτικός διαχωριστής που διανέμει το σήμα στο χώρο του πελάτη. Η διαδικασία διαχωρισμού μεταφράζεται σε μια αύξηση στην ισχύ που απαιτείται για να στείλει το σήμα από το OLT στο ONT. Η ανάγκη αυτή προκαλείται από την απώλεια του επιπέδου dB του σήματος που περνά μέσα από το διαχωριστή και στις δύο κατευθύνσεις

3.3.2 VDSL/ONU

Λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία του δικτύου που καταναλώνουν ενέργεια μπορούμε να υπολογίσουμε και εδώ τις συνολικές απαιτήσεις. Από την πλευρά του τηλεπικοινωνιακού παρόχου, οι ενεργές συσκευές είναι το OLT, η VDSL / ONU (Οπτική μονάδα), το DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), και από την πλευρά του πελάτη είναι ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται στο χώρο του (CPE). Η κατανάλωση OLT και CPE υπολογίζεται παρόμοια με το FTTH-PON.



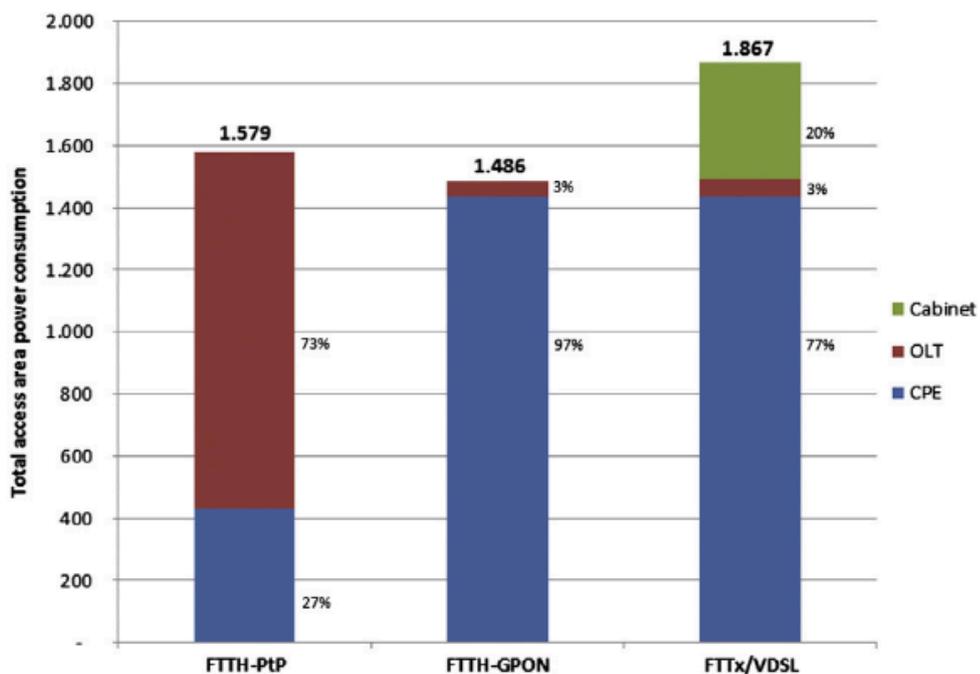
Σχήμα 19. Αρχιτεκτονική FTTx/VDSL [54]

Για το DSLAM, αν υποθέσουμε ένα εύρος ζώνης πρόσβασης των 50 Mbps (downstream), η συνολική χωρητικότητα uplink της καμπίνας που απαιτείται είναι 25,6 Gbps, απαιτώντας έτσι 3 uplink των 10 Gbps το καθένα για να παρέχει πρόσβαση στη καμπίνα. Η κατανάλωση ενέργειας ανά καμπίνα ορίζεται σε 1,334 W (συμπεριλαμβανομένων και των απαιτήσεων ψύξης [59][60].

Η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των δικτύων / VDSL FTTx μπορεί να υπολογιστεί με την προσθήκη του ρεύματος που απαιτείται από το OLT, DSLAMs και τη συνολική ισχύς που προέρχεται από τη χρήση του CPEs από τους τελικούς χρήστες

$$E_{total} = E_{olt} + E_{cpe} + E_{cabinet}$$

Με βάση όλα τα παραπάνω οι υπολογισμοί δίνουν το ακόλουθο διάγραμμα



Σχήμα 20. Ποσοστό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ενεργό στοιχείο των δικτύων οπτικών ινών [54]

Συμπερασματικά το επίπεδο της κατανάλωσης ενέργειας για πρόσβαση VDSL / FTTx είναι ελαφρώς υψηλότερο σε σύγκριση με τα επίπεδα του μοντέλου FTTH. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στις περιπτώσεις FTTH το κόστος ανα χρήστη είναι σταθερό και η κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον αριθμό χρηστών. Αντιθέτως με το FTTx/VDSL η κατανάλωση ενέργειας για μία καμπίνα είναι συγκεκριμένη για να υποστηρίξει τους συνολικούς χρήστες χωρητικότητας της καμπίνας. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι το ποιά αρχιτεκτονική αποφέρει τα καλύτερα ενεργειακά αποτελέσματα εξαρτάται από το πόσο πυκνοκατοικημένη είναι μία περιοχή καθώς και το ποσοστό του πληθυσμού που έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες.

Σε αυτό το συμπέρασμα έρχεται να προστεθεί ένα βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας VDSL που είναι η χρήση υπάρχουσων υποδομών χαλκού σε σχέση με το FTTH που απαιτεί εγκατάσταση οπτικής ίνας μέχρι το χώρο του πελάτη με αποτέλεσμα αύξηση του κόστους λόγω της εγκατάστασης καινούργιου μέρους του δικτύου προς τον συνδρομητή.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι προκειμένου να γίνει οικονομικά συμφέρουσα η υιοθέτηση της αρχιτεκτονικής FTTH από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους θα πρέπει να αυξηθεί η διείσδυσή τους στο μερίδιο αγοράς ενός συγκεκριμένου πληθυσμού προκειμένου να δημιουργηθούν οι κατάλληλες οικονομίες κλίμακας ώστε το κόστος εγκατάστασης νέου δικτύου να ξεπεραστεί από τα ενεργειακά οφέλη και να αποδειχτεί τελικά κερδοφόρος επένδυση.

ΚΕΦ.4: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΑΝΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

5.1 Γενική εικόνα του Ευρωπαϊκού δικτύου οπτικών ινών

Παραδοσιακά το διεθνές ψηφιακό χάσμα αξιολογείται με βάση τους συνδρομητές τηλεπικοινωνιών[61].

Σε διεθνές επίπεδο, η πιο έγκυρη πηγή είναι τα στατιστικά στοιχεία από τη Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών Ηνωμένων Εθνών [62] ITU η οποία καταβάλλει μια συνεχή προσπάθεια για αρκετές δεκαετίες για τη συλλογή αυτών των δεδομένων από τα διοικητικά μητρώα των εθνικών αρχών τηλεπικοινωνιών. Αυτές οι βάσεις δεδομένων έχουν δείξει ότι ο αριθμός των κινητών και σταθερών τηλεπικοινωνιακών συνδρομητών ανά άτομο έχει φθάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο κορεσμού, συμπεριλαμβανομένων 6,8 δισεκατομμύρια συνδρομές κινητών τηλεφώνων σε όλο τον κόσμο για 7,0 δισεκατομμύρια ανθρώπους το 2014.

Ωστόσο, το γεγονός ότι ο αριθμός των συνδρομών τηλεπικοινωνιών ανά άτομο φτάνει τελικά σε επίπεδα κορεσμού δεν συνεπάγεται αυτόματα ότι η ανισότητα όσον αφορά την πρόσβαση σε ψηφιοποιημένες πληροφορίες είναι μειωμένη . Αυτό συμβαίνει επειδή το εύρος ζώνης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο μεταξύ των συνδρομών. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 θα μπορούσαμε να υποθέσουμε κάτι τέτοιο καθώς υπήρχε μόνο μία τεχνολογία πρόσβασης με το ίδιο εύρος ζώνης για όλους. Η σημερινή ψηφιακή υποδομή όμως προσφέρει μια πληθώρα διαφορετικών επιλογών εύρους ζώνης, η οποία οδηγεί σε μια μη-γραμμική σχέση και το ψηφιακό χάσμα αποκτά μία νέα διάσταση: τη διάσταση του εύρους ζώνης.

Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό θα πρέπει πλέον να μελετάται το χάσμα ψηφιακής πρόσβασης σε μια εποχή όπου υπάρχουν πολλές διαφορετικές λύσεις για πρόσβαση με διαφορετικό εύρος ζώνης , έχουν σχετιστεί με την κοινωνική ανάπτυξη

και πρόοδο [63][64][65][66][67]. Θέματα bandwidth ειδικά για την εποχή που χαρακτηρίζεται από μεγάλου όγκου δεδομένα, στην οποία η ποσότητα των δεδομένων (όχι η απλή πρόσβαση) έχουν γίνει ένας βασικός οδηγός της κοινωνικής, πολιτισμικής, πολιτικής και οικονομικής ανάπτυξης [68][69].

Η αλλαγή αυτής της τρέχουσας πρακτικής αντιμετωπίζει δύο προκλήσεις. Αφενός, σημαντικές προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για να διερευνηθούν νέοι τρόποι για να μετρήσει τις σχετικές πτυχές αυτού του ψηφιακού χάσματος ενώ αρκετοί οργανισμοί, όπως στις ΗΠΑ η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών FCC ή η Ofcom στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν αρχίσει να παράγουν σχετικές λεπτομερείς ετήσιες εκθέσεις σε εθνικό επίπεδο,

Κατανοώντας λοιπόν τιν νέες απαιτήσεις για ευρυζωνική πρόσβαση και την ανάγκη για καταγραφή και μελέτη τέτοιων στατιστικών καταλαβαίνουμε ότι είναι αναγκαία μία μελέτη για τις υπάρχουσες υλοποιήσεις καθώς και το πλάνο εξέλιξης τους.

Ο Οργανισμός IDATE που παρακολουθεί την εγκατάσταση οπτικών ινών στην Ευρώπη για λογαριασμό του FTTH Council Europe κατέδειξε την επιτυχία των δικτύων επόμενης γενιάς στην Ανατολική και Κεντρική Ευρώπη. Ο υπολογισμός της έκτασης του δικτύου περιλαμβάνει τόσο Fibre to the Home (FTTH) υλοποιήσεις όσο και (FTTB).

Η ευρωπαϊκή κατάταξη FTTH/B καλύπτει όλες τις ευρωπαϊκές χώρες, με τουλάχιστον 200.000 νοικοκυριά όπου η διείσδυση του FTTH / B έχει φτάσει το 1% του συνολικού αριθμού των κατοικιών.

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στο τέλος του Δεκεμβρίου του 2013, η Λιθουανία κυριάρχησε στην ευρωπαϊκή κατάταξη, με ποσοστό διείσδυσης περίπου 35%, όπως ακριβώς είχε συμβεί και το 2012. Η Σουηδία βρίσκεται στη δεύτερη θέση με ποσοστό διείσδυσης της τάξης του 27%, ενώ η Λετονία κατέλαβε την τρίτη θέση με ποσοστό

διείσδυσης περίπου 23%. Η Νορβηγία και η Ρωσία συμπληρώνουν την πρώτη πεντάδα με τιμές περίπου 20% και 16% αντιστοίχως. Όσον αφορά την παγκόσμια κατάταξη, η Λιθουανία, η Σουηδία, η Λετονία και η Νορβηγία απαρτίζουν το δεύτερο μισό του top 10.

5.2 Ανατολή και Δύση

Εκτός από την ανάδειξη των εντυπωσιακών ποσοστών διείσδυσης οπτικών ινών στην Ανατολική και Κεντρική Ευρώπη, οι κατατάξεις δείχνουν επίσης τα σχετικά χαμηλά ποσοστά διείσδυσης στη Δυτική Ευρώπη. Η Γαλλία, η Ισπανία και η Ιταλία, για παράδειγμα, έχουν ποσοστά διείσδυσης κάτω του 5%, ενώ η Μεγάλη Βρετανία και η Γερμανία δεν εμφανίζονται καν, αφού δεν πληρούσαν το κριτήριο του 1% των νοικοκυριών.

Η διαφορά μεταξύ της εγκατάστασης οπτικής ίνας της Ανατολικής και Κεντρικής Ευρώπης και εκείνων της Δυτικής Ευρώπης οφείλεται σε διάφορους παράγοντες.

Σύμφωνα με τον Graham Finnie, επικεφαλής αναλυτής Heavy Reading, έναν ερευνητικό οργανισμό που παρέχει βαθιά ανάλυση των αναδυόμενων τάσεων των τηλεπικοινωνιών, ένας κρίσιμος παράγοντας είναι κατά πόσον ή όχι ο κυρίαρχος φορέας τηλεπικοινωνιών έχει δεσμευθεί για να προσφέρει δίκτυο FTTH. Στη Λιθουανία, για παράδειγμα, η TEO που αποτελεί το κυρίαρχο φορέα τηλεπικοινωνιών, πήρε τη στρατηγική απόφαση να στραφούν σε FTTH και έχτισε ένα αρκετά εκτεταμένο δίκτυο. Κατά το δεύτερο ήμισυ του 2013, η TEO διέθετε 169.000 πελάτες FTTB / FTTH, με αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερες FTTH από πελάτες DSL. Συνολικά τα σπίτια που χρησιμοποιούν δίκτυο FTTH έφτασαν τα 778.000 (πάνω από το ήμισυ του συνόλου των σπιτιών) [70]

Οι περισσότεροι τηλεφωνικοί πάροχοι προσπαθούν να μεταβούν σε δίκτυο οπτικών ινών αλλά αδυνατούν λόγω της δαπάνης της μετατροπής του από μια υπάρχουσα υποδομή χαλκού. Γι αυτό το λόγο υπάρχει ενδιαφέρον για την τεχνολογία G.Fast (μια τεχνολογία μετάδοσης μέσω συνεστραμμένου ζεύγη καλωδίων χαλκού που είναι ικανά να φτάσουν το 1 Gbps - αν και σε περιορισμένες αποστάσεις περίπου 100 μέτρων), καθώς τοποθετείται ανάμεσα FTTH και FTTC.

5.3 Η προσπάθεια για την αναβάθμιση

Στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, σύμφωνα με την Valerie Chaillou, διευθύντρια στο IDATE, η γρήγορα αναπτυσσόμενη ευρυζωνική αγορά η οποία περιλαμβάνει όλες τις FTTx αρχιτεκτονικές ενισχύεται και προωθείται από τους διάφορους φορείς προκειμένου να αρχίσουν την αναβάθμιση των υποδομών τους αφού οι παραδοσιακές ευρυζωνικές συνδέσεις δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές ώστε οι τελικοί χρήστες να επωφεληθούν από τις υψηλότερες ταχύτητες και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, όπως το video streaming,.

Άλλωστε σε πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης η υποδομή DSL με βάση τον χαλκό ήταν σε κακή κατάσταση και δεν εκτεινόταν πολύ μακριά, πράγμα που σημαίνει ότι η ανάπτυξη του FTTH ήταν σχεδόν επιβεβλημένη. Στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης όπως η Γαλλία, ωστόσο, το DSL ευρυζωνικό είναι ήδη πολύ καλό, γεγονός που εξηγεί εν μέρει και πάλι για τα χαμηλότερα ποσοστά διείσδυσης FTTH στην περιοχή.

Μια διαφορά υπάρχει και στο εσωτερικό των επιμέρους χωρών ειδικά μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών. Ιδιωτικές εταιρείες τηλεπικοινωνιών είναι διστακτικές στο να επικεντρωθούν σε αγροτικές περιοχές, λόγω της προστιθέμενης δαπάνης.

5.4 Το μέλλον του FTTH

Στο «FTTH στην Ευρώπη: Πρόγνωση 2013- 2018», η οποία δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2014 Graham Finnie προβλέπει ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση περίπου 22 εκατομμύρια νοικοκυριά θα συνδεθούν μέχρι το τέλος του 2018, ποσοστό που ανέρχεται σε 10,6% του συνόλου των κατοικιών της ΕΕ. Από τις 21 χώρες που αναλύθηκαν λεπτομερώς, 12 έθνη θα επιτύχουν «ωριμότητα οπτικών ινών» (πάνω από το 20% των νοικοκυριών), μέχρι το τέλος του 2018 οι οποίες είναι η Λιθουανία, η Σουηδία, η Λετονία, η Βουλγαρία, η Νορβηγία, η Εσθονία, η Ρωσία, η Σλοβενία, η Δανία, η Φινλανδία, η Πορτογαλία, και η Σλοβακία. (Μεταξύ των χωρών που δεν αναλύονται λεπτομερώς, η Ανδόρα, η Ισλανδία και η Ουγγαρία, θα έχουν φτάσει σε αυτό το ποσοστό). Προβλέπεται ότι η Αυστρία, η Ιταλία, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Βέλγιο, Ελλάδα και Ιρλανδία δεν αναλύονται λεπτομερώς, αλλά αναμένεται επίσης να είναι σε αυτή την ομάδα) θα εξακολουθούν να έχουν λιγότερο από το 10% των σπιτιών που συνδέονται με οπτική ίνα μέχρι το 2018. Η Ρωσία θα είναι μακράν η μεγαλύτερη αγορά με βάση τον αριθμό των σπιτιών που συνδέονται με οπτική ίνα με εκτίμηση τα 15 εκατομμύρια. [70]

5.5 Γενική εικόνα του δικτύου οπτικών ινών στην Αφρική

Σύμφωνα με την Hamilton research δημιουργός των χαρτών Bandwidth της Αφρικής, το συνολικό απόθεμα στην Αφρική των επίγειων δικτύων μεταφοράς έχει υπερδιπλασιαστεί τα τελευταία πέντε χρόνια. Η έκτη έκδοση Africa Telecom Transmission Map δείχνει ότι μέχρι τον Ιούνιο του 2014, η συνολική απογραφή των

επίγειων δικτύων μετάδοσης είχε αυξηθεί σε 958901 χιλιομέτρων σε σύγκριση με 465.659 χλμ το 2009.

Κατά την ίδια περίοδο, το διεθνές εύρος ζώνης Internet της Αφρικής εικοσαπλασιάστηκε, και έχει περάσει το σήμα τα 2 Tbps. Έως το Δεκέμβριο του 2013, το σύνολο του διεθνούς εύρους ζώνης Internet της Αφρικής έφθασε το 2.034 Tbps δηλαδή μια αύξηση 38% σε σύγκριση με το 2012. Ένας βασικός παράγοντας για την αύξηση του εύρους ζώνης ήταν η επέκταση των δικτύων επίγειων οπτικών ινών στην ενδοχώρα. Μόνο τον περασμένο χρόνο, επιπλέον 25 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλη την Αφρική είχαν πρόσβαση σε κόμβο οπτικών ινών.

Ιστορικά, η Αφρική ήταν η πιο ραγδαία αναπτυσσόμενη αγορά στον κόσμο για τις κινητές επικοινωνίες, κυρίως λόγω του μεγέθους της ηπείρου. Οι δυσκολίες της ανάπτυξης του δικτύου σταθερής τηλεφωνίας σε όλη την τεράστια έκταση της Αφρικής οδήγησε στα μέσα του 2011 οι χρήστες κινητών να αποτελούν περίπου το 90% του συνόλου των συνδρομητών της.

Κατά την τελευταία δεκαετία, οι επενδύσεις στην Αφρική έχουν αυξηθεί κατά μέσο όρο 80% και οι προβλέψεις δείχνουν ότι είναι πιθανό να ξεπεράσουν τα 150 δισ \$ στο άμεσο μέλλον. Οι αφρικανικές κυβερνήσεις έσπευσαν να αξιοποιηθεί το δυναμικό το θέτει ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών και έχουν βάλει μεγάλη προσπάθεια ώστε να αλλάξετε το επενδυτικό περιβάλλον τους.[70]

Σχεδόν κάθε εθνικό Τμήμα Τηλεπικοινωνιών σε χώρες της Αφρικής ανακοίνωσε μια ευρυζωνική στρατηγική τονίζοντας την ανάγκη για καθολική πρόσβαση.

5.6 Εικόνα του δικτύου οπτικών ινών στην Λατινική Αμερική

Τα στοιχεία για το FTTH στη Λατινική Αμερική στα τέλη του 2013 είναι εντυπωσιακά. Ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης για το έτος 2013, για παράδειγμα, δείχνει μια αύξηση των συνδρομητών του 136% σε σχέση με το 2012

Μέχρι το τέλος του 2013, το 5% των νοικοκυριών της Χιλής είχαν σύνδεση fttb, αν και αυτό δεν είναι αντιπροσωπευτικό ποσοστό της πραγματικής κάλυψης. Προς το τέλος του 2010 και στις αρχές του 2011 άρχισε και η ανάπτυξη στην Βραζιλία, την Ουρουγουάη και το Μεξικό. Το FTTH Brasil που καθοδηγείται από την Telefónica Vivo, GVT, και Embratel (America Movil), έχει καταφ 6% των νοικοκυριών είχαν Homes ψηφίστηκε στα τέλη του 2013. Στο Μεξικό, FTTH οδηγείται από ILEC Telmex (America Movil) και ΟίΕΟδ TotalPlay (TVAzteca), και AXTEL, και μέχρι το τέλος του 2013 συνολικά 14% των νοικοκυριών είχαν Homes περάσει.

Η Αργεντινή είναι μια πιο περίπλοκη ιστορία. Αρκετές μικρές προσπάθειες ανάπτυξης FTTH πραγματοποιήθηκαν από μικρές πόλεις και συνεταιρισμούς ωστόσο οι δύο μεγάλοι πάροχοι - Telefonica και η Telecom – έχουν στραφεί κυρίως σε υλοποιήσεις FTTN και όχι FTTH, αν και τα πράγματα πιθανόν να αλλάξουν το 2015, λόγω του ότι πολύ πρόσφατα (τέλος του 2014) πέρασε ομοσπονδιακός νόμος για τις τηλεπικοινωνίες.[70]

Τέλος, η Κολομβιανή κυβέρνηση δεσμεύτηκε και ξεκίνησε την εμπορική διάθεση του fttb τον Δεκέμβρη του 2013.

Τη σπουδαιότερη εξέλιξη και ανάπτυξη όμως στη Λατινική Αμερική την έχει καταφέρει η Ουρουγουάη. Τον Απρίλιο του 2012, το FTTH Council Americas (LATAM) ξεκίνησε το πρώτο πρόγραμμα για κατασκευή FTTH PON από τον εθνικό φορέα ANTEL που περιλάμβανε το σχεδιασμό του δικτύου fttb και την πρόσληψη και κατάρτιση 50 τεχνικών και μηχανικών, καθώς και αρκετών καθηγητών πανεπιστημίου

προκυμμένου να υιοθετηθούν βέλτιστες πρακτικές για υλοποίηση fttb δικτύου. Στο τέλος του 2013, το 63% των νοικοκυριών είχαν FTTH πρόσβαση.

Άλλες χώρες που υστερούν, αλλά που έχουν αρχίσει να πειραματίζονται με FTTH, είναι το Περού, η Βενεζουέλα, και η Κόστα Ρίκα. Επιπλέον, μια χώρα που έχει μεγάλες προσδοκίες για το FTTH με πρόθεση μεγάλης ανάπτυξης μετά το 2015 είναι η Βολιβία, με την Entel, τον εθνικό πάροχο, να ξεκινάει υλοποίηση δικτύων FTTH σε ολόκληρη τη χώρα για πρώτη φορά το 2015.

5.7 Η κατάσταση στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα

Τελευταία χρόνια έγινε μεγάλη προσπάθεια το Ντουμπάι να μετατραπεί σε μια έξυπνη και παγκοσμίως πρωτοπόρος χώρα σε θέματα τηλεπικοινωνιών. Μιά τέτοια αποστολή απαιτεί αυξημένες δυνατότητες υποδομής για τη σύνδεση όλων των σπιτιών και των επιχειρήσεων. Υπάρχει η ανάγκη για υψηλότερο εύρος ζώνης πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με FTTH δίκτυο.

Το αποτέλεσμα είναι το 70% των συνδρομητών να έχουν πρόσβαση FTTH στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, με το 97% να έχει πρόσβαση σε δίκτυο οπτικών ινών ενώ η UAE (United Arab Emirates) αποτελεί την κύρια αγορά FTTH / B με περισσότερους από 1 εκατομμύριο συνδρομητές FTTH / B αφού τον Σεπτέμβριο του 2014 υπήρχαν συνολικά 1.716.280 συνδρομητές FTTH / B .[70]

Άλλες χώρες που έχουν αρχίσει να πειραματίζονται με FTTH όπως είναι το Περού, η Βενεζουέλα, και η Κόστα Ρίκα.

Επιπλέον, μια χώρα που έχει μεγάλες προσδοκίες για το FTTH με πρόθεση μεγάλης ανάπτυξης είναι η Βολιβία, με την Entel, τον εθνικό πάροχο, να ξεκινάει δίκτυα FTTH της σε ολόκληρη τη χώρα για πρώτη φορά το 2015, και COMTECO στην

Κοτσαμπάμπα και Cotas στη Σάντα Κρουζ επέκταση τους ήδη υφιστάμενες υπηρεσίες πρόσβασης με οπτικές ίνες!

ΚΕΦ.5: Η κατάσταση στην Ελλάδα

5.1 Χαρακτηριστικά της Ελληνικής αγοράς σταθερής πρόσβασης

Η υπηρεσία σταθερής πρόσβασης στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο παρέχεται στην Ελλάδα με τους εξής τρόπους:

- Μέσω γραμμών PSTN, οι οποίες παρέχουν ένα κανάλι φωνής ή/και δεδομένων.

Αποτελούν την κυρίαρχη μορφή πρόσβασης που ήταν αρχικά σχεδιασμένη για κίνηση φωνής, αλλά μπορούν να υποστηρίξουν fax και μεταφορά δεδομένων μέσω modem με ταχύτητες έως και 56 Kbps.

- Μέσω ψηφιακών γραμμών ISDN με τις εξής μορφές:
 - Basic Rate Access (εφεξής 'BRA') – η οποία υποστηρίζει δύο (2) κανάλια για χρήση φωνής ή/και δεδομένων, και
 - Primary Rate Access (εφεξής 'PRA') – η οποία υποστηρίζει τριάντα (30) κανάλια για χρήση φωνής ή δεδομένων.
- Μέσω γραμμών ευρυζωνικής πρόσβασης που υποστηρίζουν τεχνολογία Internet Protocol (εφεξής IP)

5.2 Η εξέλιξη της αγοράς

Με την απελευθέρωση της αγοράς των ηλεκτρονικών τηλεπικοινωνιών (2001-2006), και πιο συγκεκριμένα της σταθερής φωνητικής τηλεφωνίας, ένας αριθμός εναλλακτικών παρόχων ξεκίνησε να παρέχει υπηρεσίες σταθερής τηλεφωνίας.

Στη συνέχεια, κυρίως κατά το χρονικό διάστημα 2007 – 2009, οι εναλλακτικοί πάροχοι αύξησαν τα σημεία παρουσίας τους γεγονός που αποδίδεται στις σημαντικές

επενδύσεις τους σε υποδομή, καθώς και στην υλοποίηση προγραμμάτων με κρατική επιδότηση. Αυτό οδήγησε σε σημαντική αύξηση των γραμμών που χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες φωνής και ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Οι εξελίξεις στην αγορά και η οικονομική κατάσταση οδήγησαν σε εξαγορές και συγχωνεύσεις, ενώ ορισμένοι πάροχοι, που λειτουργούσαν βασιζόμενοι κυρίως στην ΕΦ/ΠΦ εξήλθαν από την αγορά.

5.3 Εξέλιξη σταθερών γραμμών πρόσβασης και διείσδυση

Η διείσδυση της σταθερής πρόσβασης στον ελληνικό πληθυσμό εκτιμάται στα μέσα του 2014 στο 43,14%, ποσοστό που αντιστοιχεί σε 4.772.844 γραμμές. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των γραμμών πρόσβασης και η διείσδυση της σταθερής τηλεφωνίας (βάσει των γραμμών) στον πληθυσμό. Όπως φαίνεται από τον πίνακα, από το τέλος του 2010 έως τα μέσα του 2014 παρατηρείται μία μείωση της διείσδυσης κατά 3,64 ποσοστιαίες μονάδες, γεγονός που μεταφράζεται σε 431.195 λιγότερες γραμμές. Το μερίδιο αγοράς του ΟΤΕ βάσει των σταθερών γραμμών πρόσβασης από 72,7% στο τέλος του 2010 μειώθηκε στα μέσα του 2014 σε 58% (βλ. Σχήμα 21). Από το υπόλοιπο 42%, το 41,2% αποτελεί το μερίδιο αγοράς που βρέθηκε να αποσπών οι πάροχοι υπηρεσιών πρόσβασης μέσω πλήρους αδεσμοποίητης πρόσβασης ενώ μόλις το 0,8% αφορά στους παρόχους πρόσβασης μέσω Χονδρικής Εκμίσθωσης Γραμμής (ΧΕΓ). [71]

	31/12/2010	31/12/2011	31/12/2012	31/12/2013	30/6/2014
Αριθμός σταθερών γραμμών πρόσβασης	5.204.039	5.075.310	4.908.915	4.790.674	4.772.844
Πληθυσμός Ελλάδος ¹⁵	11.123.392	11.123.034	11.062.508	11.062.508	11.062.508

Σχήμα 21. Αριθμός σταθερών γραμμών πρόσβασης [71]

5.4 Δράσεις για μελλοντική ανάπτυξη

Μεταξύ των δράσεων που υλοποιεί η Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων συμπεριλαμβάνεται και η Ανάπτυξη ευρυζωνικών υποδομών σε αγροτικές λευκές περιοχές της χώρας (rural networks).

Το έργο RURALS εντάσσεται στην ενιαία εθνική ευρυζωνική στρατηγική του Υπουργείου Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων. Στο έργο ακολουθείται η διαδικασία Σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ) για την ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών δικτύου στις περιοχές-στόχους και την παροχή αξιόπιστων και σύγχρονων ευρυζωνικών υπηρεσιών στον πληθυσμό των περιοχών αυτών.

Η Δράση χρηματοδοτείται από Κοινοτικούς και Εθνικούς Πόρους καθώς και από Ιδιωτική Δαπάνη προερχόμενη από τους Αναδόχους του έργου.

Το έργο RURALS αποσκοπεί στη δυνατότητα παροχής γρήγορου internet σε αγροτικές περιοχές με απώτερο στόχο τη μείωση του «ευρυζωνικού χάσματος» μεταξύ των πλέον μειονεκτικών περιοχών της Ελλάδας, στις οποίες δεν παρέχεται ούτε η βασική ευρυζωνική πρόσβαση, και περιοχών της υπόλοιπης χώρας, όπου ήδη προσφέρονται ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Συγκεκριμένα το εν λόγω έργο αφορά στην εγκατάσταση και λειτουργία ευρυζωνικής δικτυακής υποδομής σε 5.493 λευκές αγροτικές και νησιωτικές περιοχές, οι οποίες αντιστοιχούν περίπου στο 40% - 45% της ελληνικής Επικράτειας.

Ο προϋπολογισμός του έργου ανέρχεται σε 161.077.032 €. Η Δημόσια Δαπάνη κατανέμεται σε τρεις γεωγραφικές ενότητες. [71]

Οι υποδομές που θα αναπτυχθούν θα διασυνδέουν τελικούς χρήστες (κατοικίες) σε λευκές περιοχές (οικισμούς του πεδίου εφαρμογής του έργου) με προκαθορισμένα περιφερειακά σημεία συγκέντρωσης. Συγκεκριμένα, το συνολικό δίκτυο που θα αναπτυχθεί, θα περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Δίκτυα τοπικής πρόσβασης (last mile access), αποκλειστικά στις οριζόμενες ως λευκές περιοχές, όπου δεν υπάρχει αντίστοιχη υφιστάμενη υποδομή για σύνδεση στο ίντερνετ.
- Δίκτυα οπισθόζευξης (backhauling) ή αλλιώς «συνάθροισης και πολυπλεξίας», που θα συνδέουν τα δίκτυα τοπικής πρόσβασης των λευκών περιοχών με τα περιφερειακά σημεία διασύνδεσης – RIX, διασχίζοντας λευκές ή / και άλλες περιοχές.
- Συγκεκριμένα σημεία «τερματισμού» των δικτύων οπισθόζευξης και συγκέντρωσης της σχετικής δικτυακής κίνησης (RIX).

Το δίκτυο που θα αναπτυχθεί θα περιλαμβάνει τις παθητικές υποδομές καθώς και όλο τον απαιτούμενο ενεργό εξοπλισμό για την παροχή των προβλεπόμενων στο παρόν έργο υπηρεσιών.

Στις προσφερόμενες Υπηρεσίες Χονδρικής περιλαμβάνονται υπηρεσίες πρόσβασης σε παθητικές υποδομές και ευκολίες του δικτύου, υπηρεσίες χωρητικότητας και υπηρεσίες χονδρικής ευρυζωνικής πρόσβασης (bit-stream)

Οι διαδικασίες κατακύρωσης του έργου «RURAL BROADBAND» της Γενικής Γραμματείας Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων ολοκληρώθηκαν το καλοκαίρι του 2014, οι σχετικές συμβάσεις υπογράφηκαν στο τέλος του 2014 και η υλοποίηση του έργου βρίσκεται σε εξέλιξη.

Η Ολοκλήρωση Μητροπολιτικών Δακτυλίων (MAN) με Εθνικά Δίκτυα. Το έργο με τίτλο «Ολοκλήρωση Μητροπολιτικών Δακτυλίων (MAN) με εθνικά δίκτυα», αποσκοπεί στη λειτουργική και τεχνική ολοκλήρωση των Μητροπολιτικών Ευρυζωνικών Δικτύων Οπτικών Ινών (MAN), τα οποία υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο του Γ' ΚΠΣ και προσφέρουν υπηρεσίες διασύνδεσης υψηλής ταχύτητας σε τοπικό επίπεδο, σε φορείς δημοσίου ενδιαφέροντος σε 68 πόλεις της χώρας (εκτός της Περιφέρειας Αττικής και του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης). Ο συνδυασμός του πλεονεκτήματος της υψηλής ταχύτητας διασύνδεσης των δημοσίων φορέων σε μητροπολιτικό επίπεδο, με την ευρεία γεωγραφική διασπορά και τις ηλεκτρονικές υπηρεσίες που προσφέρει το δίκτυο ΣΥΖΕΥΞΙΣ στους χρήστες του, πρόκειται να οδηγήσει στην περαιτέρω ενίσχυση των υποδομών για την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας και την υλοποίηση νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας στη Δημόσια Διοίκηση.

Το εν λόγω έργο αναμένεται να μειώσει το κόστος των δημόσιων τηλεπικοινωνιακών δικτύων και να προσφέρει αποτελεσματικότερες υπηρεσίες μεταξύ των φορέων του Δημοσίου, ενώ θα υπάρχουν σημαντικά οφέλη για τους δήμους όπου έχουν υλοποιηθεί τα συγκεκριμένα MAN. Επιπλέον, οι υποδομές αυτές θα χρησιμοποιηθούν και στην υλοποίηση του Σύζευξης II.

Οι 12 συμβάσεις του έργου, που διήρκησαν 2 χρόνια, υπεγράφησαν στις 14 Φεβρουαρίου 2014. Μέσω των έργων MAN και ΣΥΖΕΥΞΙΣ, 4.000 κτίρια δημοσίου αποκτούν οπτική πρόσβαση μέχρι 1 Gbps πολλαπλασιάζοντας την ευρυζωνική τους πρόσβαση σε κρίσιμα Εθνικά Δίκτυα και στο Internet. [71]

Η αποκατάσταση των υποδομών και η διασύνδεση των MAN με τα εθνικά δίκτυα αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα οι τελικοί χρήστες -δηλαδή οι φορείς της τοπικής αυτοδιοίκησης- να έχουν δυνατότητα για ευρυζωνικές συνδέσεις που μπορούν να φθάσουν τα 100 Mbps. Επίσης, μέσω του Σύζευξης, του τηλεπικοινωνιακού δικτύου

του Δημοσίου, θα μπορούν να προσφέρονται υπηρεσίες τηλεφωνίας, πρόσβασης στο Διαδίκτυο και τηλεδιασκέψεων στους δήμους, για τους οποίους το κόστος υλοποίησης και χρήσης είναι μηδενικό.

Από την άλλη πλευρά, οι φορείς του Δημοσίου που διασυνδέονται μέσω του Σύζευξις, θα μπορούν και αυτοί να αξιοποιούν τα MAN των δήμων προκειμένου να έχουν υψηλότερες ταχύτητες διακίνησης δεδομένων. Τέλος και τα σχολεία που βρίσκονται στα όρια των δήμων θα μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση σε ταχύτερες ευρυζωνικές συνδέσεις.

5.5 Το Εθνικό Σχέδιο Ανάπτυξης Υποδομών NGA

Το Εθνικό Σχέδιο Ευρυζωνικής πρόσβασης Επόμενης Γενιάς “Εθνικό Σχέδιο NGA” έχει ως σκοπό την επίτευξη των προϋποθέσεων για την ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας, μέσω ενός συγκεκριμένου πλάνου για την ανάπτυξη της διαθεσιμότητας και την υιοθέτηση ευρυζωνικών υπηρεσιών υψηλής και υπερυψηλής ταχύτητας.

Οι εθνικοί στόχοι διαθεσιμότητας και χρήσης ευρυζωνικών συνδέσεων υψηλών και υπερ-υψηλών ταχυτήτων που λήφθηκαν υπόψη κατά τη διαμόρφωση του Εθνικού Σχεδίου NGA είναι στο επίπεδο των στόχων της Ψηφιακής Ατζέντας (DAE).

Συγκεκριμένα, τίθενται οι εξής:

- Στόχος 1: έως το 2020, διαθεσιμότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο με ταχύτητες άνω των 30Mbps για όλους τους Έλληνες,
- Στόχος 2: έως το 2020, τουλάχιστον 50% των ελληνικών νοικοκυριών να διαθέτουν σύνδεση στο διαδίκτυο με ταχύτητα άνω των 100Mbps. [71]

Σύμφωνα με το πλάνο του Υπουργείου, ο ιδιωτικός τομέας αναμένεται να σηκώσει το συντριπτικό μέρος του βάρους των απαραίτητων επενδύσεων, με τη δημόσια παρέμβαση να εστιάζεται αφενός στην εξασφάλιση του επενδυτικού

περιβάλλοντος που θα καταστήσει τις επενδύσεις αυτές βιώσιμες, αφετέρου σε περιοχές όπου θα διαπιστωθεί αποτυχία της αγοράς (market failure).

Προκειμένου να καταστεί οικονομικά βιώσιμη η ανάπτυξη Δικτύων Πρόσβασης Επόμενης Γενιάς που θα καλύπτουν τους εθνικούς στόχους, το σχέδιο εντοπίζει δύο καίρια σημεία παρέμβασης: (39)

- Την αποκατάσταση ενός ελκυστικού περιβάλλοντος για ιδιώτες επενδυτές, που θα διασφαλίζει ωστόσο την ομαλή λειτουργία του ανταγωνισμού, περιορίζοντας και τους κινδύνους που πηγάζουν από τη χαμηλή ζήτηση ευρυζωνικών υπηρεσιών
- Την υποστήριξη (με κρατική παρέμβαση) της ανάπτυξης υποδομών σε περιοχές όπου θα διαπιστωθεί αποτυχία της αγοράς να παράσχει υπηρεσίες που θα καλύπτουν τους εθνικούς στόχους

Το Εθνικό Σχέδιο Ευρυζωνικής Πρόσβασης Επόμενης Γενιάς δομείται στους ακόλουθους δύο πυλώνες:

- Πυλώνας Α: Διαμόρφωση ευνοϊκού περιβάλλοντος για ιδιωτικές επενδύσεις σε δίκτυα επόμενης γενιάς (επενδυτικού, νομοθετικού και κανονιστικού), ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη αξιοποίηση ιδιωτικών πόρων (τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό) στην κατεύθυνση της ανάπτυξης υποδομών NGA. Με τις δράσεις του Πυλώνα Α επιδιώκεται να απομακρυνθούν όλα τα εμπόδια που καθυστερούν ή και αποτρέπουν τις ιδιωτικές επενδύσεις σε δίκτυα επόμενης γενιάς και να δημιουργηθεί ένα σταθερό ρυθμιστικό και κανονιστικό πλαίσιο. Επιπλέον τονώνεται η ζήτηση βασικών ευρυζωνικών υπηρεσιών, με στόχο αφενός να μειωθούν το ψηφιακό χάσμα και ο αναλφαβητισμός εντός της Ελληνικής κοινωνίας και αφετέρου να τονωθεί η ευρυζωνική αγορά και το επενδυτικό ενδιαφέρον για επενδύσεις σε NGA
- Πυλώνας Β: Έμπρακτη δημόσια υποστήριξη της επέκτασης των ευρυζωνικών υποδομών επόμενης γενιάς, σε περιοχές και αγορές στις οποίες έχει αποδειχτεί ότι υπάρχει μηδενικό ή μειωμένο ενδιαφέρον ανάπτυξης σχετικών υποδομών και

υπηρεσιών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η κάλυψη γεωγραφικών περιοχών χαμηλού επενδυτικού ενδιαφέροντος. Η ευρύτερη δυνατή γεωγραφική/ πληθυσμιακή κάλυψη και η παροχή ανταγωνιστικών υπηρεσιών NGA, θα επιτρέψουν στο σύνολο του παραγωγικού ιστού της χώρας να ωφεληθεί από την εξωστρέφεια και αύξηση παραγωγικότητας που αυτές επιτρέπουν.

Ειδικότερα, οι δράσεις που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο του κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Δράσεις για μείωση του κόστους επένδυσης,
- Δράσεις για απλοποίηση των διοικητικών διαδικασιών,
- Δράσεις για τόνωση ζήτησης βασικών ευρυζωνικών υπηρεσιών,
- Δράσεις για συντονισμό και σωστή εστίαση επενδύσεων

Αναφορικά με τον πυλώνα Β, οι δράσεις που προβλέπονται είναι οι:

πυλώνα Α

- Rural extension, που αποσκοπεί στην κάλυψη των περιοχών που προβλέπεται ότι θα παραμείνουν «λευκές περιοχές NGA» μετά την υλοποίηση των ανακοινωμένων επενδυτικών σχεδίων και του υπό υλοποίηση Rural Broadband.
- Superfast Broadband, που αποσκοπεί στην επίτευξη σύνδεσης του 50% των νοικοκυριών με ταχύτητες τουλάχιστον 100 Mbps, σε συνδυασμό πάντοτε με την κάλυψη που θα επιτευχθεί από ιδιωτικές επενδύσεις.

Το έργο Rural extension προτείνεται να υλοποιηθεί ως Σύμπραξη Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα, με το κόστος κατασκευής δικτύου να ανέρχεται σε περίπου 220 εκ. €.

Με βάση όμως το προτεινόμενο χρονοδιάγραμμα, το συγκεκριμένο έργο δεν αναμένεται να επηρεάσει την αγορά χονδρικής τοπικής πρόσβασης ή την αγορά χονδρικής κεντρικής πρόσβασης στον παρόντα κύκλο ανάλυσης.

Αναφορικά με το έργο Superfast Broadband, εκτιμάται ότι η χρήση «κουπονιών» αποτελεί τον πλέον πρόσφορο τρόπο ενίσχυσης της διαθεσιμότητας και της διείσδυσης

μέσω ζήτησης. Αναγνωρίζεται, δε, ο σημαντικός ρόλος της Ρυθμιστικής Αρχής, η οποία με τις αποφάσεις της θα παίζει καθοριστικό ρόλο αναφορικά με την ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι η συζήτηση σε ρυθμιστικό επίπεδο αναφορικά με την τεχνολογία vectoring, ως τεχνικής επιτάχυνσης του VDSL, πρέπει να εκκινήσει όσο το δυνατόν πιο άμεσα, δεδομένου ότι θα επηρεάσει την κλίμακα ανάπτυξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην Ελλάδα.

ΚΕΦ.6: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ

6.1 Στρατηγική τελευταίων ετών

6.1.1 Αρχή ανάπτυξης ρυθμιστικού πλαισίου

Ο στόχος της πολιτικής που θέλει να ακολουθήσει η Ευρωπαϊκή ένωση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών είναι η βελτίωση στον έλεγχο και στη διαχείριση των υπηρεσιών που προσφέρονται από τους φορείς τηλεπικοινωνιών.

Εαν οι καταναλωτές μπορούν να επιλέξουν μεταξύ ανταγωνιστικών παρόχων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στη συνέχεια θα είναι πιο εύκολο να υπάρξει εξισορρόπηση και έλεγχος επιτρέποντας την ευκολότερη ρύθμιση του πλαισίου ελέγχου παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Η πιο επιθυμητή μορφή του ανταγωνισμού είναι εάν εναλλακτικοί φορείς δημιουργούν τα δικά τους δίκτυα για να ανταγωνιστούν με του κύριους παρόχους. Έτσι θα αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα με αποτέλεσμα τη βελτίωση στις τελικές υπηρεσίες και κέρδος για τον καταναλωτή. (40) Είναι άλλωστε γενικά αποδεκτό ότι καθώς ο ανταγωνισμός μεταξύ διάφορων τεχνολογικών υποδομών αυξάνεται ταυτόχρονα αυξάνεται και ο ανταγωνισμός για όλο τον κλάδο , αυξάνει τη δυναμική για καινοτομία και βελτιώνει τα κίνητρα για επενδύσεις και μείωση του κόστους.

Ωστόσο ο βαθμός στον οποίο είναι εφικτή η δημιουργία τέτοιων ιδιόκτητων υποδομών από εναλλακτικούς παρόχους είναι ένα θέμα που έχει πολυδιάστατη οπτική. Ορισμένα τμήματα του δικτύου ενός κύριου φορέα , ιδίως μεγάλα τμήματα του δικτύου πρόσβασης , έχουν θεωρηθεί ότι δεν μπορούν να αναπαραχθούν από άλλους φορείς. Αυτό συμβαίνει επειδή κάτι τέτοιο δεν είναι οικονομικά βιώσιμο για τους νεοεισερχόμενους παρόχους προκειμένου να επενδύσουν σε εφάπαξ κόστος

δημιουργώντας ένα ανταγωνιστικό νέο δίκτυο πρόσβασης αφού λόγω των πολύ διαφορετικών οικονομιών κλίμακας δεν θα μπορούσε να ανταγωνιστεί το υπάρχον δίκτυο του κύριου παρόχου.

Οι ρυθμιστικές πολιτικές για να επιτευχθεί ο στόχος του ανταγωνισμού, και να αμβλυνθούν οι αιτίες της αποτυχίας της αγοράς, έχουν εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου. Η ανάπτυξη μιας ευρείας ρυθμιστικής πολιτικής της Ευρώπης στις αγορές τηλεπικοινωνιών έχουν ξεκινήσει από το πακέτο των επικοινωνιών και τηλεπικοινωνιών 1998. Αυτό το πακέτο απελευθέρωσε τις αγορές τηλεπικοινωνιών στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα και καθόρισε κανόνες για τη διασύνδεση μεταξύ των δικτύων. Κατά την εφαρμογή του νόμου, οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης επέτρεψαν τη μεταπώληση των φωνητικών υπηρεσιών του κύριου φορέα εκμετάλλευσης ως προϊόντα χονδρικής πρόσβασης που επέτρεψε στους υπόλοιπους φορείς να μισθώνουν δίκτυο του κύριου φορέα και να το χρησιμοποιούν (χρήση προϊόντων χονδρικής, όπως η προεπιλογή φορέα (CPS)). Ενώ ο στόχος ήταν να βελτιωθεί ο ανταγωνισμός, τα αποτελέσματα ήταν μάλλον περιορισμένα

Από τη μία πλευρά, η μεταπώληση των προϊόντων του κύριου φορέα επιτρέπει κάποια μορφή ανταγωνισμού σε νεοεισερχόμενους φορείς που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν CPS για να οικοδομήσουν μια πελατειακή βάση. Από την άλλη πλευρά, οι κανονισμοί αυτοί αποδείχθηκαν ανεπαρκείς για την προώθηση των υποδομών αφού η θέση του κύριου φορέα παρέμεινε ισχυρή.

6.1.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο «LoI»

Το πακέτο των τηλεπικοινωνιών το 2002 ήταν μια προσπάθεια να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της ρύθμισης των τηλεπικοινωνιών και να επιτρέψει ένα μεγαλύτερο βαθμό ανταγωνισμού με βάση την υποδομή. Έτσι αναπτύχθηκε ρύθμιση σε

μία σειρά από τρόπους που αντανakλούσε την προσέγγιση για την απελευθέρωση των ευρωπαϊκών αγορών τηλεπικοινωνιών και έγινε γνωστό ως “Ladder of Investment” (LoI).

Πρώτον, εντόπισε μια λίστα με τις αγορές όπου συνήθως οι κύριοι φορείς είχαν σημαντική ισχύ στην αγορά. Δεύτερον, διευκρινίζεται ότι ο σκοπός της εκ των προτέρων ρύθμισης θα πρέπει να είναι η αντιμετώπιση των σημείων συμφόρησης πρόσβασης προϊόντων χονδρικής, ενώ σε περίπτωση που υπάρξουν προβλήματα ανταγωνισμού σε επίπεδο λιανικής θα υπάρχει εκ των προτέρων ρύθμιση για να μετριάσει τέτοια φαινόμενα.

Κατ' αρχήν, όσο ο ανταγωνισμός αναπτύσσεται σε κάθε επίπεδο της αγοραστικής αλυσίδας, θα υπάρχει η δυνατότητα εκ των προτέρων ρύθμιση εστιάζοντας στην καλύτερη διαχείριση του ανταγωνισμού. Αυτή η προσέγγιση είχε ως σκοπό να επιτρέψει μεγαλύτερο ανταγωνισμό πάνω από τα τμήματα της αλυσίδας εφοδιασμού όπου ο ανταγωνισμός ήταν οικονομικά εφικτός.

Ωστόσο, λιγότερο ανοιχτά στον ανταγωνισμό είναι τα κέρδη που σχετίζονται με τον ανταγωνισμό σε επίπεδο πρόσβασης. Εδώ τα κέρδη είναι πιο περιορισμένα σε επίπεδο πρόσβασης υπηρεσιών σε σύγκριση με κέρδη σε επίπεδο πρόσβασης υποδομών.

Ο νόμος παρείχε μια προφανή λύση στο δίλημμα που αντιμετωπίζουν οι ρυθμιστικές αρχές που θέλουν να προωθήσουν τον ανταγωνισμό, ενώ δεν αναστέλλουν τα κίνητρα για τους νεοεισερχόμενους να επενδύσουν σε δικές τους υποδομές. Πρότείνει ότι αντί να αντιμετωπίζεται η πρόσβαση υπηρεσιών και η πρόσβαση υποδομών ως μορφές του ανταγωνισμού, θα πρέπει να θεωρηθούν διαδοχικά, συμπληρωματικά βήματα.

Ενώ η βιβλιογραφία σχετικά με το κατά πόσο το μοντέλο αυτό ισχύει για τις τηλεπικοινωνιακές αγορές της Δυτικής Ευρώπης (41) συνεχώς αυξάνεται δεν έχουν

πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες που να εξετάζουν αν μία τέτοια προσέγγιση εφαρμόζεται και στην Κεντρική Ανατολική Ευρώπη. Αυτό είναι ένα σημαντικό ζήτημα, αφού υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταξύ Δυτικής και ΚεντροΑνατολικής Ευρώπης.

6.1.3 Διαφοροποίηση Δυτικής και Κεντροανατολικής Ευρώπης

Όταν μέλη της Κεντροανατολικής Ευρώπης εισχώρησαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2004, και αργότερα το 2007 (Βουλγαρία και Ρουμανία), υιοθέτησαν το τηλεπικοινωνιακό κανονιστικό πλαίσιο 2002. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, υπήρχαν αρκετές διαφορές σχετικά με τη δομή των χωρών αυτών και τις τηλεπικοινωνιακές τους αγορές.

Ειδικότερα, οι διαφορετικές τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών, οι οικονομικές και δημογραφικές συνθήκες, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκαν τα ρυθμιστικά πλαίσια είναι πιθανό να έχουν επηρεάσει τα κίνητρα των φορέων που επιθυμούν να επενδύσουν στις ευρυζωνικές τεχνολογίες, είτε χρησιμοποιώντας το δίκτυο ενός κύριου φορέα εκμετάλλευσης ή τη δική τους υποδομή.

Για τους λόγους αυτούς, οι ρυθμιστικές πολιτικές που ήταν κατάλληλες για τη διευκόλυνση του ανταγωνισμού στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης κατά την περίοδο των αρχών της δεκαετίας του 2000, για τα οποία η ρύθμιση (Lol) αναμενόταν να είναι βιώσιμη, μπορεί να μην ήταν τελικά κατάλληλη για τα κράτη της Κεντροανατολικής Ευρώπης σε μεταγενέστερο στάδιο.

Η ρύθμιση προβλέπει (43) ότι οι υπηρεσίες στηρίζονται σε ρυθμιζόμενη πρόσβαση στο δίκτυο του υφιστάμενου φορέα. Οι συμμετέχοντες φορείς αρχικά θα μπορούν να ανταγωνιστούν με την εκ νέου πώληση των υπηρεσιών του κύριου φορέα. Σταδιακά μπορούν να οικοδομήσουν μια πελατειακή βάση και το εμπορικό σήμα και να

αποκτήσουν τις γνώσεις και την εμπειρία ώστε να ξεπεραστούν ορισμένα από τα εμπόδια για την είσοδό τους στη αγορά αφού διαφορετικά μπορεί να αναστείλει τις επενδύσεις σε υποδομές. Καθώς μεγαλώνουν, μπορούν να επενδύουν στα δίκτυά τους και να αναπτυχθούν. Τελικά, οι συμμετέχοντες φορείς μπορούν να αναπτυχθούν τόσο ώστε να είναι σε θέση να εγκαταστήσουν δικά τους δίκτυα πρόσβασης και να ανταγωνιστούν άμεσα με τη δική τους υποδομή το δίκτυο του κύριου φορέα. Σε περίπτωση που οι συμμετέχοντες φορείς δεν καταφέρουν να αναπτυχθούν τόσο ώστε μπορούν να ανταγωνίζονται μόνο με τη χρήση προϊόντων πρόσβασης του κύριου φορέα εκμετάλλευσης τότε έχει πραγματοποιηθεί "partial Lol" ή αλλιώς μερική ρύθμιση Lol. Σε περίπτωση που οι συμμετέχοντες φορείς σταδιακά καταφέρουν τελικά να επενδύσουν σε δική τους υποδομή πρόσβασης, έχουν πραγματοποιήσει full Lol (πλήρες Lol).(44)

Χρησιμοποιώντας στοιχεία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με τον αριθμό των λιανικών ευρυζωνικών συνδέσεων στις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μεταξύ του 2004 και του 2011, είναι σαφές ότι ο ανταγωνισμός στην Κεντροανατολική ευρώπη έχει εξελιχθεί σε πολύ διαφορετικές κατευθύνσεις(45).

Τα δεδομένα προσδιορίζουν αν κάθε σύνδεση που παρέχεται από ένα μη κύριο φορέα χρησιμοποιεί την υπηρεσία πρόσβασης ενός υφιστάμενου κύριου φορέα, όπως η μεταπώληση των ευρυζωνικών συνδέσεων, ή η αδεσμοποίητη πρόσβαση στον τοπικό βρόχο (46) ή αν ο συμμετέχων φορέας χρησιμοποιεί τη δική του δομή υποδομής πρόσβασης για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών. Χώρες της Κεντροανατολικής Ευρώπης έχουν στηριχθεί πολύ λιγότερο για τα προϊόντα πρόσβασης στον κύριο φορέα. Στις χώρες αυτές, κατά μέσο όρο, λιγότερο από το 10% των ευρυζωνικών συνδέσεων παρέχονται από προϊόντα πρόσβασης που στηρίζονται στον κύριο φορέα κατά την περίοδο 2004-2011. Αντίθετα, σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης η χρήση των προϊόντων

πρόσβασης που στηρίζονται στον κύριο φορέα ήταν πάνω από το 20% των σταθερών ευρυζωνικών συνδέσεων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ανταγωνισμός έχει εξελιχθεί με διαφορετικό τρόπο στις διάφορες χώρες της ευρώπης λόγω του ότι υπάρχουν ορισμένες βασικές διαφορές μεταξύ της Κεντροανατολικής ευρώπης και της δυτικής που θα μπορούσαν να εξηγήσουν γιατί ο ανταγωνισμός στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών θα αναπτυχθεί διαφορετικά (47)

Κατ' αρχάς, το σχετικό κόστος της υποδομής πρόσβασης ήταν σημαντικά χαμηλότερο στην Κεντροανατολική Ευρώπη σε σύγκριση με χώρες της Δυτικής. Ένα μεγάλο μέρος των εξόδων του νέου δικτύου πρόσβασης οφείλεται σε εκσκαφές. Οι δαπάνες αυτές είναι πιθανό να είναι χαμηλότερη σε χώρες της Κεντροανατολικής Ευρώπης ή να αποφευχθούν. Κάτι τέτοιο ισχύει γιατί το κόστος της εργασίας καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του κόστους του δικτύου, είναι χαμηλότερο στην περιοχή της Κεντροανατολικής ευρώπης. Για παράδειγμα, ο μέσος μηνιαίος βασικός μισθός στις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, ήταν σημαντικά χαμηλότερος από της Δυτικής. (48,49) Ως εκ τούτου, όταν γίνεται επιλογή για το αν θα επενδύσουν οι φορείς στις δικές τους υποδομές ή θα στηριχτούν στο δίκτυο του κύριου φορέα η διαφορά κόστους μεταξύ επενδύσεων σε υποδομές και των επενδύσεων σε υπάρχον δίκτυο του κύριου φορέα ήταν πιθανό να είναι μεγαλύτερη στην Κεντροανατολική Ευρώπη από ό, τι σε Δυτικές χώρες.

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μειώνουν το κόστος της επένδυσης σε ιδιόκτητες υποδομές δικτύου πρόσβασης. Για παράδειγμα, μια υψηλή συγκέντρωση πολυκατοικιών στις πόλεις στις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης θα ήταν πιθανό να οδηγήσει σε μεγαλύτερες οικονομίες κλίμακας σε νεοεισερχόμενους φορείς σε σύγκριση με τους ομολόγους στις Δυτικές χώρες, που θα οδηγούσε σε χαμηλότερες οικονομίες κλίμακας δημιουργίας δικτύων. Επιπλέον, οι

νεοεισερχόμενοι στις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης μπορεί να είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους χαμηλού κόστους για την ανάπτυξη εναλλακτικών δικτύων, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα ή ήταν λιγότερο διαθέσιμα σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση χωρίς άδεια συχνοτήτων WiFi, χαμηλότερα διοικητικά εμπόδια για τη συνεργασία των ινών σε ορύγματα για άλλους σκοπούς από την τοπική αυτοδιοίκηση, ή μεγαλύτερη εξάρτηση από εναέρια καλωδίωση.(50) Αυτή η διαφορά στο κόστος δημιουργίας δικτύων μεταξύ των χωρών αποδεικνύεται περαιτέρω από πρόσφατα δεδομένα από FTTH Council Europe.

1.2 Προβλήματα στο ρυθμιστικό πλαίσιο LoI

Το κανονιστικό πλαίσιο LoI προτάθηκε για πρώτη φορά επίσημα το 2003 (Cave και Vogelsang 2003) και περαιτέρω επισημοποιήθηκε το 2006. Σύμφωνα με αυτό ορίζεται μια διαδικασία έξι σταδίων, τα οποία περιγράφουν το πώς οι ρυθμιστικές αρχές θα μπορούσαν να εφαρμόσουν πολιτικές για την προώθηση του ανταγωνισμού μεταξύ των φορέων

Σύμφωνα με τη ρύθμιση αυτή υποστηρίχτηκε ότι οι ρυθμιστικές αρχές θα μπορούσαν να επηρεάσουν ενεργά τη δυναμική του ανταγωνισμού στις ευρυζωνικές αγορές.

Με την αύξηση των τελών πρόσβασης σε υπηρεσίες μεταπώλησης, οι ρυθμιστικές αρχές θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους νεοεισερχόμενους φορείς να έχουν ένα αρχικό πλεονέκτημα ώστε να αναπτυχθούν και στη συνέχεια να στραφούν προς τη δημιουργία δικών τους υποδομών, όπου αυτό είναι εφικτό.

Ωστόσο, η βιβλιογραφία αναγνωρίζει γενικώς και αντίθετα αποτελέσματα. Σε κάποιες περιπτώσεις τα κίνητρα να επενδύσουν κατά την είσοδό τους στην αγορά οι

νεοεισερχόμενοι φορείς παρέχοντας υπηρεσίες στηριζόμενες στο υπάρχον δίκτυο του κύριου φορέα δεν είχε ως αποτέλεσμα κίνητρα για περαιτέρω ανάπτυξης ιδιόκτητου δικτύου.

Αυτό μπορεί να συμβεί εάν η τιμή των προϊόντων χονδρικής πρόσβασης έχουν ρυθμιστεί ευνοϊκά για τους νεοεισερχόμενους, καθώς αυτό δημιουργεί ένα «κόστος ευκαιρίας» για τους φορείς εκμετάλλευσης σχετικά με την επένδυση σε υποδομές. Όσο υψηλότερα είναι τα κέρδη που μπορούν να λαμβάνονται στο πλαίσιο του ανταγωνισμού που βασίζονται στην πρόσβαση μέσω του κύριου φορέα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αρνητική επίδραση για ανάπτυξη νέων υποδομών.

Από την άλλη πλευρά, τα αρχικά κίνητρα που παρέχονται στους νεοεισερχόμενους υποδηλώνουν μία περίοδο έναρξης της πρόσβασης μέσω του υπάρχοντος δικτύου που τους επιτρέπει να αποκτήσουν γνώσεις, εμπειρία και τη σταδιακή συσσώρευση δύναμης σε ένα εμπορικό σήμα και μια βάση συνδρομητών. Με τον τρόπο αυτό, η είσοδος που βασίζεται στην πρόσβαση μέσω υπάρχουσων υποδομών μπορεί να επιταχύνει την ανάπτυξη νέων υποδομών.

Η αντίθετη φύση αυτών των αποτελεσμάτων σημαίνει ότι η θεωρία της ρύθμισης ισχύει μόνο αν οι συνθήκες στην αγορά είναι τέτοιες ώστε η μετάβαση από την παροχή υπηρεσιών μέσω του κύριου παρόχου στην παροχή υπηρεσιών σε νέο ιδιόκτητο δίκτυο να κρίνεται κερδοφόρος. Ως εκ τούτου, θεωρητικά τουλάχιστον, οι ρυθμιστικές αρχές μπορούν να προσπαθήσει να προσαρμόσουν τα ρυθμιστικά εργαλεία για να επηρεάσουν την ισορροπία μεταξύ αυτών των δύο αποτελεσμάτων. Ένα παράδειγμα θα ήταν να αυξήσουν σταδιακά τις τιμές χονδρικής πρόσβασης με την πάροδο του χρόνου (Cave 2006).

Φυσικά, οι συνθήκες της αγοράς είναι ζωτικής σημασίας για τη μελλοντική στρατηγική του κάθε φορέα. Δεν μπορεί κανείς να αναμένει ότι οι τοπικοί βρόχοι θα αναπαραχθούν πλήρως σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές (cave 2014). Με άλλα

λόγια, το μέγεθος της αγοράς και η συγκέντρωση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την επενδυτική απόφαση ενός συμμετέχοντα.

Το πλαίσιο ρύθμισης LoI έχει γίνει κεντρικό δόγμα στην ρυθμιστική πολιτική για τις αγορές τηλεπικοινωνιών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το ισχύον καθεστώς κανονισμού πρόσβασης βασίζεται στην υποστήριξη της εισόδου και της επέκτασης των ευρυζωνικών νεοεισερχόμενων φορέων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Πρόσφατα, το πλαίσιο ρύθμισης LoI εγκρίθηκε από τις αρχές ανταγωνισμού για να περιγράψει το μοντέλο της εισόδου και επέκτασης που παρατηρείται στις ευρυζωνικές αγορές.

Στις σημαντικές υποθέσεις των τελευταίων ετών όπως η υπόθεση COMP / 38.784 σχετικά με την κατάχρηση το 2007 της θέσης που κατείχε στην αγορά η Telefonica στην Ισπανία , η υπόθεση COMP / 39.525 σχετικά το 2011 έναντι της Telekomunikacja Polska καθώς και στην Πολωνία στην υπόθεση COMP / 39.523 το 2014 κατά της Slovak Telekom στη Σλοβακία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή βασίστηκε στην εκτίμηση της επίδρασης της παράτυπης ανταγωνιστικής συμπεριφοράς από την άποψη ότι χωρίς αντίστοιχες συμπεριφορές οι συμμετέχοντες θα είχαν καταφέρει να αναπτυχθούν.

Στην περίπτωση της Telefonica στην Ισπανία, στη παράγραφο 177, η Επιτροπή σημείωσε ότι «κατά την κατασκευή μιας νέας υποδομής από εναλλακτικό φορέα τηλεπικοινωνιών, είναι ζωτικής σημασίας να αποκτήσει ένα ελάχιστο» κρίσιμου μεγέθους του δικτύου », προκειμένου να επωφεληθεί πλήρως από τις επιπτώσεις του δικτύου και των οικονομιών κλίμακας και να είναι σε θέση να προβεί σε περαιτέρω επενδύσεις. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται συνήθως ως «επενδυτική κλίμακα» από τους οικονομολόγους και τις ρυθμιστικές αρχές ". Με τη παράγραφο 604 της υπόθεσης Telekomunikacja Polska, η Επιτροπή διαπίστωσε ότι η άρνηση του κατεστημένου φορέα για την παροχή χονδρικής πρόσβασης στις υποδομές και τις υπηρεσίες του

επιβράδυναν την πρόοδο των εναλλακτικών παρόχων με αποτέλεσμα οι εναλλακτικοί πάροχοι να μην είναι σε θέση να οικοδομήσουν μια πελατειακή βάση αρκετά μεγάλη για να διατηρήσουν σημαντικές επενδύσεις στη δική τους υποδομή κάτι που είχε ως αποτέλεσμα την περιορισμένη ανάπτυξη εναλλακτικών υποδομών.

Παρά τον κεντρικό ρόλο που διαδραματίζει το πλαίσιο ρύθμισης LoI στην κανονιστική πολιτική στην Ευρωπαϊκή Ένωση (και όλο και περισσότερο σε άλλους τομείς, όπως η πολιτική ανταγωνισμού), η εμπειρική βιβλιογραφία σχετικά με την αναγκαιότητά του είναι πολλές φορές αντιφατική.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το πλαίσιο ρύθμισης θα πρέπει να είναι ευέλικτο και προσαρμοσμένο στις εκάστοτε συνθήκες και απαιτήσεις που επικρατούν σε κάθε χώρα προκειμένου στο μέλλον να υπάρχει ανάπτυξη σύγχρονων υποδομών για να επιτευχθεί η μετάβαση σε FTTH σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού.

ΚΕΦ.7: Μελλοντικές στρατηγικές

Η ευρέως αυξανόμενη ζήτηση των ευρυζωνικών δικτύων επόμενης γενιάς NGA θέτει υπό συζήτηση θέματα του ρυθμιστικού κανονιστικού πλαισίου.

Δεν είναι μόνο η αυξανόμενη ζήτηση εύρους ζώνης και η ανάγκη αναβάθμισης των δικτύων που απορρέει από αυτό, αλλά και η παγκόσμια ανταγωνιστικότητα γύρω από αυτό το θέμα που κάνει τις NGA επενδύσεις στόχο προτεραιότητας για χάραξη πολιτικής. Προκειμένου να επιτευχθεί η μετάβαση σε δίκτυα νέας γενιάς NGA τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής ένωσης όσο και εθνικό επίπεδο, πρέπει οι ρυθμιστικές πολιτικές και πολιτικές να αναπτύσσονται με κοινή προοπτική της ενεργοποίησης και ανάπτυξης του FTTH με ένα πιο γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο.

ΚΕΦ.8: Παρόν και προβλέψεις για το μέλλον

Σημαντικές πληροφορίες μπορούμε να εξάγουμε μελετώντας στοιχεία που δίνονται στη δημοσιότητα από τον FTTH Council Europe .

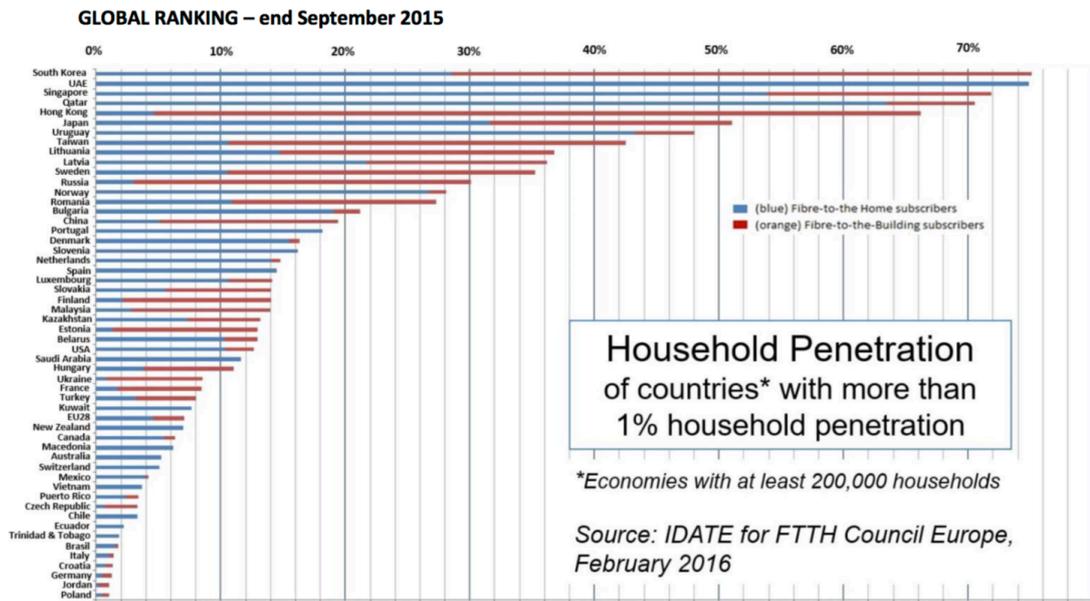
Ο FTTH Council Europe είναι ένας οργανισμός που δημιουργήθηκε το 2004 από πέντε ιδρυτικά μέλη: Alcatel-Lucent, Cisco, η Corning, Emtelle και OFS, ενώ τώρα αριθμεί πάνω από 150 μέλη [43].

Τα μέλη είναι κυρίως οργανισμοί ανάπτυξη FTTH, και οι κατασκευαστές των λύσεων FTTH καθώς και κάποια ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Αποστολή του είναι να επιταχυνθεί η διαθεσιμότητα , τα δίκτυα πρόσβασης υψηλών ταχυτήτων με βάση την οπτική ίνα προς όφελος των καταναλωτών και των επιχειρήσεων.

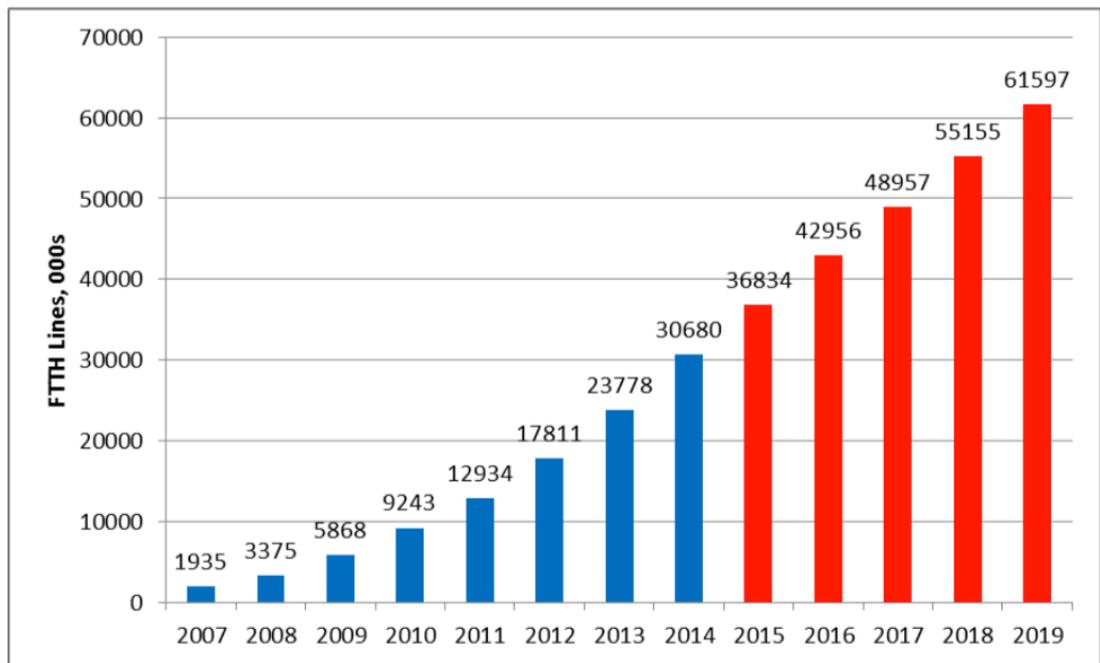
Κάθε χρόνο παρουσιάζει ποσοστά σχετικά με την ανάπτυξη δικτύων υψηλής ταχύτητας ανά την υφήλιο.

Αρχικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε παγκόσμιο επίπεδο γίνεται προσπάθεια για ανάπτυξη δικτύων FTTH/FTTB ενώ ήδη σε κάποιες περιοχές η διείσδυση αυτών των αρχιτεκτονικών προσεγγίζει πολύ μεγάλα ποσοστά όπως η πρωτοπόρος Νότια Κορέα που το ποσοστό ξεπερνάει το 70%. Φυσικά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ακόμα η ανταπόκριση σε παγκόσμιο επίπεδο παραμένει χαμηλή αφού ακόμη και σε ανεπτυγμένες οικονομίες φαίνεται τα ποσοστά να είναι αρκετά χαμηλά. Αυτό δικαιολογείται σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε προηγουμένως σχετικά με την πολιτική ανταγωνισμού και ανάπτυξης που ακολουθείται σε κάθε περίπτωση καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή όπως η τεχνολογική ανάπτυξη , η πληθυσμιακή πυκνότητα και οι υπάρχουσες υποδομές.



Σχήμα 22. Ποσοστό νοικοκυριών με πρόσβαση FTTH/FTTB Σεπτέμβρης 2015 [44]

Σημαντικό είναι να εξετάσουμε την αναλογική αύξηση των υλοποιήσεων FTTB/H στην Ευρώπη. Από το σχεδιάγραμμα του σχήματος 23 παρατηρείται μία σταθερή αύξηση των νοικοκυριών που έχουν πρόσβαση σε δίκτυα υπερ-υψηλών ταχυτήτων από το 2007 και μετά με πρόβλεψη ο αριθμός να φτάσει τα 61.597.000 το 2019. Αυτό δείχνει το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για ανάλογες επενδύσεις και αποτελεί σημαντικό δείγμα για τη μελλοντική πορεία τέτοιων αρχιτεκτονικών. Σύμφωνα με αυτήν την πρόβλεψη τα δίκτυα FTTH/B φαίνεται ότι κερδίζουν συνεχώς έδαφος με αποτέλεσμα να διεκδικούν όλο και μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Κάτι τέτοιο θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οι οικονομίες κλίμακας που θα ευνοούν την ακόμη γρηγορότερη ανάπτυξή τους αφού συνεχώς η κερδοφορία που θα προκύπτει από την υιοθέτηση αυτών των αρχιτεκτονικών σε σχέση με των συμβατικών συνεχώς θα αυξάνεται.



Σχήμα 23. Νοικοκυριά που θα έχουν πρόσβαση μέσω FTTH/B στην Ευρώπη (45)

ΚΕΦ.7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέλιξη στις οπτικές ίνες προβλέπεται ραγδαία τα επόμενα χρόνια. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι ήδη επενδύουν σε χιλιάδες χιλιόμετρα οπτικών ινών προκειμένου να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις νέες απαιτήσεις. Η οπτική ίνα μέχρι το σπίτι θα αναπτυχθεί μέσα στα επόμενα χρόνια σε μεγάλο ποσοστό αλλά ακόμα βλέπουμε ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και οι αρχιτεκτονικές τοπολογίας ποικίλουν και εξελίσσονται. Η αξιολόγηση όλων αυτών των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση FTTH αποτελεί σημείο έρευνας καθώς και η διερεύνηση για την εξέλιξή τους.

Τεχνικές εκπομπής σήματος φωτός και τρόπων μετάδοσής τους αποτελούν ήδη πεδίο έρευνας ενώ η εφαρμογή τους στις υπάρχουσες υλοποιήσεις των τηλεπικοινωνιακών φορέων αποτελεί πρόκληση. Η μελέτη και η εξέλιξη τεχνολογιών όπως η μετάδοση πολλαπλών σημάτων σε PON-WDM δίκτυα ή αρχιτεκτονικές σχετικές με SDM υλοποιήσεις που μπορούν να αυξήσουν την απόδοση μειώνοντας το κόστος που αποτελεί βασικό εμπόδιο στη διάδοση των FTTH δικτύων μπορούν να αποτελέσουν την αρχή για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την επιλογή για την πορεία ανάπτυξης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι το κόστος κατασκευής ή προσαρμογής σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις, το πλαίσιο ρύθμισης που καθορίζει την ελευθερία για επενδύσεις σε κάθε τηλεπικοινωνιακή αγορά καθώς και η δημογραφική ποικιλομορφία σε συνδυασμό με την ανομοιογένεια οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης ανά γεωγραφική περιοχή καθιστά πολύδιάστατη τη λύση για αποδοτική ανάπτυξη οπτικών δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Η. Αβραμόπουλος, “Φωτονική Τεχνολογία για Τηλεπικοινωνίες”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π
- [2] P.E. Green, “Δίκτυα Οπτικών Ινών”, Παπασωτηρίου, 1994.
- [3] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών: Συστήματα Μετάδοσης και Δίκτυα Οπτικών Ινών του Ηρακλή Αβραμόπουλου
- [4] Κ. Γιαννόπουλου, “Κυκλώματα Υπερυψηλών Ταχυτήτων για Ψηφιακά Οπτικά Δίκτυα”, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2004.
- [6] P.E. Green, “Δίκτυα Οπτικών Ινών”, Παπασωτηρίου, 1994.
- [7] Γ. Κανέλλου, “Αμιγώς Οπτική Ανάκτηση Ρολογιού σε Ταχύτητα Μετάδοσης 10 Gbit/sec”, Διπλωματική Εργασία, 2002.
- [8] Yuanqiu Luo - «Activities, Drivers and Benefits of Extending PON over Other Media »
- [9] Weilin Liu, Tong Shao, and Jianping Yao- «Ultra-Wideband and 60-GHz Generation and Transmission Over a Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network»
- [10] Διπλωματική εργασία Σπυρόνης Ιωάννης «Μοντέλο για Τεχνο-οικονομική ανάλυση δικτύων οπτικών ινών»
- [11] D. J. Richardson , J. M. Fini and L E. Nelson - «Space Division Multiplexing in Optical Fibres»
- [12] www.telecables.gr

- [13] Rajiv Ramaswami, Kumar N. Sivarajan, "Optical Networks. A Practical Perspective", Second Edition, Academic Press, 2002.
- [14] G. P. Agrawal, Fiber-optic communication systems, John Wiley & Sons, 2002.
- [15] L.G. Kazovsky, W.-T. Shaw, D. Gutierrez, N. Cheng, S.-W Wong, Next-generation optical access networks, *J. Lightwave Technol.* 25 (11) (2007) 3428–3442.
- [16] J.-I. Kani, Enabling technologies for future scalable and flexible WDM-PON and WDM/TDM-PON systems, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 16 (5) (2010) 1290–1297.
- [17] M. Maier, M. Lévesque, L. Ivanescu, NG-PONs 1&2 and beyond: the dawn of the uber-FiWi network, *IEEE Netw.* 26 (2) (2012) 15–21.
- [18] FTTH Council Europe, FTTH Handbook, 5th edition
- [19] Yu-Li Hsueh, Matthew S. Rogge, Wei-Tao Shaw, Jaedon Kim, Shu Yamamoto, Leonid G. Kazovsky, Smooth upgrade of existing passive optical networks with spectral-shaping line-coding service overlay, *J. Lightwave Technol.* 23 (9) (2005) 2629–2637.
- [20] Yang Lu, Yu Gong, Yizhen Wei, Miao Hu, Xuefang Zhou, Qiliang Li, A Smooth and gradual evolution to next generation PON based on simple line-coding, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 26 (5) (2014) 512–515.
- [21] Y. Lu, X. Hong, J. Liu, L. Xu, C. Guo, S. He, IRZ–Manchester coding for downstream signal modulation in an ONU-source-free WDM-PON, *Opt. Commun.* 284 (5) (2011) 1218–1222.
- [22] Yang Lu, Shenglei Wang, Linghuan Hu, Xuezhi Hong, Xu Lei, Sailing He, Proposal of inverse pulse position modulation for downstream signal in re-modulation PON with PolSK modulated multicast overlay, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 24 (12) (2012) 1012–1014.

- [23]Minghao Li, Wei Hong, Xinliang Zhang, Wei Li, Dexiu Huang, Investigation of a high-speed optical FSK scheme for WDM-PON applications with centralized lightwave source, *Opt. Commun.* 283 (7) (2010) 1251–1260.
- [24] Mozhgan Mahloo ⁿ, Jiajia Chen, Lena Wosinska ,PON versus AON: Which is the best solution to offload core network by peer-to-peer traffic localization , KTH Royal Institute of Technology, School of Information and Communication Technology, Isafjordsgatan 26, Electrum 229, 1573-4277/& 2014 Elsevier B.V
- [25] A. Gladisch, C. Lange, R. Leppla, Power efficiency of optical versus electronic access networks, in: *Proceeding of European Conference on Optical Communication (ECOC)*, 2008.
- [26] B. Skubic, A. Lindstrom, S. Dahlfort, Power efficiency of next- generation optical access architectures, in: *Proceeding of Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)*, 2010.
- [27] C. Lange, A. Gladisch, On the energy consumption of FTTH access networks, in: *Proceeding of Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)*, 2009.
- [28] C. Popp Larsen, A. Gavler, K. Wang, Comparison of active and passive optical access networks, in: *Proceedings of the Conference of Telecommunication, Media and Internet Techno-economics (CTTE)*, 2010.
- [29] K. Wang, C. Popp Larsen, A. Gavler, B. Lannoo, D. Chiaroni, M. Popov, A comparative model and techno-economic analysis of next gen- eration AON Ethernet and TDM PON, in: *Proceeding of SPIE, the International Society For Optical Engineering*, 2011.
- [30] D. Breuer, F. Geilhardt, R. Hülsermann, M. Kind, C. Lange, T. Monath, E. Weis, Opportunities for next generation optical access an opera- tor’s view, *IEEE Commun. Mag.* 49 (2) (2011) 16–24.

- [31] J. Chen, M. Mahloo, L. Wosinska, Reducing the impact of failures in next generation optical access networks, in: Proceeding Communications And Photonics Conference And Exhibition (ACP), 2012.
- [32] C. Mas Machuca, Jiajia Chen, L. Wosinska, M. Mahloo, K. Grobe, Fiber access networks: reliability and power consumption analysis, in: Proceeding of International Conference on Optical Networking Design And Modeling (ONDM), 2011.
- [33] ITU-T, “Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON)”, ITU-T Recommendation G.983.1, January 2005.
- [34] Pesavento G., Kuo J. C., Koyama T., “IEEE Access Standards, 802.3ah GE- PON Status,” ITU-T Workshop IP/Optical, pp. 1-15, Japan, 9 -11 July 2002.
- [35]<http://www.yme.gov.gr/?getwhat=1&oid=1469&id=&tid=1607>
- [36] <https://www.fsan.org>
- [37]http://www.linksa.gr/index.php?option=com_content&view=category&id=149:wdm-pon&layout=blog&Itemid=268
- [38]http://www.linksa.gr/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=145&Itemid=
- [39] Ragheb, A., Fathallah, H., 2012. Candidate modulation schemes for next generation- passive optical networks (NG-PONs). In: Proceedings of the 9th International Conference on High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies ((HONET)), pp. 226–231.
- [40] Olmos, J.J.V., Sugawa, J., Ikeda, H., Sakamoto, K., 2011. GPON and 10G-EPON coexisting systems and filtering issues at the OLT. In: Proceedings of the 16th Optoelectronics and Communications Conference ((OECC)), pp. 828–829.
- [41] Van Veen, D., Suvakovic, D., Man Fai, L., Krimmel, H., de Lind van Wijngaarden, A.J., Galaro, J., Dungee, J., Farah, B., Corteselli, S., Weeber, B., Tebbe, R., Eckard, D.,

Smith, J., Bouchard, J., Kotch, J., Vetter, P., 2011. Demonstration of a symmetrical 10/10 Gbit/s XG-PON2 system. In: Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, pp. 1–3.

[42] Biswas, S., Adak, S., 2010. OFDMA-PON: High Speed PON Access System. International Journal of Soft Computing, vol. 1.

[43] <http://www.ftthcouncil.eu/about-us/about-us>

[44] http://www.ftthcouncil.eu/documents/PressReleases/2016/PR20160217_FTTHranking_panorama_award.pdf

[45] http://www.ftthcouncil.eu/documents/Webinars/2015/Webinar_14April2015.pdf

[46] Olmos, J.J.V., Sugawa, J., Ikeda, H., Sakamoto, K., 2011. GPON and 10G-EPON coexisting systems and filtering issues at the OLT. In: Proceedings of the 16th Optoelectronics and Communications Conference ((OECC)), pp. 828–829.

[47] Cvijetic N, Dayou Q, Junqiang H. 100 Gb/s optical access based on optical orthogonal frequency-division multiplexing. Commun. Mag. IEEE 2010;48:70–7.

[48] Luo Y, Zhou X, Effenberger F, Yan X, Peng G, Qian Y, Ma Y. Time-and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation PON stage 2 (NG-PON2). J. Lightwave Technol. 2013;31:587–93.

[49] Luo, Y., Yan, X., Effenberger, F., 2012. Next generation passive optical network offering 40Gb/s or more bandwidth. In: Asia Communications and Photonics Conference ((ACP)), pp. 1–3.

[50] Orphanoudakis, T., Leligou, H., Angelopoulos, J., 2008. Next generation ethernet access networks: GPON vs. EPON. In: Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Electronics Hardware, Wireless and Optical Communications (EHAC'08).

- [51]Chen, G., 2012. A design method for Ethernet Passive Optical Network 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP), pp. 1000–1003.
- [52]Ricciardi, S., Santos-Boada, G., Careglio, D., Domingo-Pascual, J., 2012. GPON and EP2P: a techno-economic study. In: Proceedings of the 17th European Conference on Networks and Optical Communications (NOC), pp. 1–6.
- [53] Begovic, P., Hadziahmetovic, N., Raca, D., 2011. 10G EPON vs. XG-PON1 efficiency. In: Proceedings of the 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), pp. 1–9.
- [54] Rafael Coomonte , Carmen Lastres, Claudio Feijoo, Angel Martin, A simplified energy consumption model for fiber-based Next Generation Access Networks
- [55] Keymile, 2008. Ethernet point-to-point vs. PON – a comparison of two optical access network technologies and the different impact on operations.
- [56] Cucchietti, F., 2009. Energy Efficiency in TLC Networks: the Operator and the User perspective, Associazione Gruppo Telecomunicazioni e Tecnologie
- [57] Bolla, R., Bruschi, R., Davoli, F., et al. 2011. Energy efficiency in the future internet: a survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures. IEEE Communications Surveys & Tutorial 13 (2), 223–244.
- [58] Keymile, 2011. FTTH/FTTB: point to point vs. PON'', 18.03.2011
- [59] ETSI, 2008a. ETSI TS 102 533 – Environmental Engineering (EE): Measurement methods and limits for Energy consumption in Broadband Telecommunication Networks Equipment.
- [60] Lastres, C., Feijóo, C., Martín, Á., et al. 2010. An Energy Consumption Model for Next Generation Access Networks''. 3rd CMI Conference – “Green ICT – is ICT part of the solution or the problem? Aalborg University Copenhagen.

- [61] NTIA. (1995). Falling through the net: a survey of the “have nots” in rural and urban America. Washington: National Telecommunications and Information Administration, U.S. Department of Commerce
- [62]https://www.itu.int/en/ITUUD/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014_without_Annex_4.pdf
- [63] Dutton, W. H., Gillett, S. E., McKnight, L. W., & Peltu, M. (2004). Bridging broadband Internet divides: reconfiguring access to enhance communicative power. *Journal of Information Technology*, 19(1), 28–38
- [64] Koutroumpis, P. (2009). The economic impact of broadband on growth: a simultaneous approach. *Telecommunications Policy*, 33(9), 471–485
- [65] Prieger, J. E. (2013). The broadband digital divide and the economic benefits of mobile broadband for rural areas. *Telecommunications Policy*, 37(6–7), 483–502
- [66] Gruber, H., Hätönen, J., & Koutroumpis, P. (2014). Broadband access in the EU: an assessment of future economic benefits. *Telecommunications Policy*, 38(11), 1046–1058
- [67] Lee, H., Park, N., & Hwang, Y. (2015). A new dimension of the digital divide: exploring the relationship between broadband connection, smartphone use and communication competence. *Telematics and Informatics*, 32(1), 45–56
- [68] Manyika, J, Chui, M, Brown, B, Bughin, J, Dobbs, R, Roxburgh, C, & Hung Byers, A (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey & Company.
- [69] Hilbert, M. (2016). Big data for development: a review of promises and challenges. *Development Policy Review*, 34, 1.
- [70] FTTH Council - The light Age Communicating at the speed of light February 2015

[71]http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Consultations/telecoms/analysis_agoron/PC_AnalysisAgorwn_062015/MarketAnalysis_Consultation_062015.pdf