

Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Εθνικές και  
Διεθνείς Πολιτικές  
και Στρατηγικές  
για τη Δημιουργία  
Δικτυακών  
Υποδομών FTTH”

ΡΟΚΚΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

A. M. 2023

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
κ. Μιχάλης Παρασκευάς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή  
Αντίρριο, 9/12/2016

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Παρασκευάς Μιχάλης
2. Ασαρίδης Ηλίας
3. Τσακανίκας Βασίλειος

---

## *Ευχαριστίες*

---

Με το πέρας των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του Αντιρρίου, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους για την πολύτιμη βοήθειά τους, που είχε ως αποτέλεσμα να φτάσω μέχρι αυτό το σημείο.

Θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπον καθηγητή μου, κ. Παρασκευά Μιχάλη, για την εποικοδομητική συνεργασία και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα όπως είναι τα δίκτυα οπτικών ινών, αλλά και όλους τους καθηγητές που πίστευαν στις δυνατότητές μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους τεχνικούς του ομίλου τηλεπικοινωνιών Ελλάδος, του τεχνικού διαμερίσματος Ναυπάκτου, για την εξειδικευμένη τεχνογνωσία που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια την πρακτικής μου άσκησης, που θα είναι πολύ σημαντικό εφόδιο στη μετέπειτα πορεία μου, αλλά και που είχε σαν αποτέλεσμα να αποκτήσω γνώσεις για να ολοκληρώσω με όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα την πτυχιακή μου εργασία.

Τέλος, θα ήθελα πάνω απ' όλα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους και για όλα όσα μου παρείχαν μέχρι σήμερα, ώστε να μπορώ να ακολουθώ ανεπηρέαστη τις επιλογές μου και να επιτύχω τους στόχους μου, αλλά και όλους όσους ήταν δίπλα μου σε αυτή την πορεία της ζωής μου.

---

## Περίληψη

---

Η κατασκευή ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών πρόσβασης είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της ανάπτυξης όχι μόνο των σύγχρονων δικτυακών υποδομών, αλλά και των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες. Το υψηλό κόστος επένδυσης για την κατασκευή των υποδομών αυτών καθιστά αναγκαία την διερεύνηση όλων των διαθέσιμων τεχνολογιών και ταυτόχρονα την εξασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας των επενδύσεων αυτών. Τέτοιου είδους καινοτόμες οπτικές υποδομές ονομάζονται FTTN (Fiber To The Neighborhood) και FTTC (Fiber To The Curb) ή γενικότερα FTTx και παρουσιάζουν σημαντικές τεχνολογικές και λειτουργικές διαφορές, αλλά και πολύ μεγάλες διαφορές στο κόστος κατασκευής.

Στο πλαίσιο της εργασίας θα διερευνηθούν ζητήματα, όπως η τοπολογία που θα επιλεγεί και η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την διακλάδωση των ινών, αλλά κυρίως τα επιχειρηματικά μοντέλα που μπορούν να εφαρμοστούν κατά την εκμετάλλευση της οπτικής υποδομής. Επίσης, θα αποτυπωθούν οι αναγκαίες θεσμικές παρεμβάσεις από την πλευρά της Πολιτείας για την καλύτερη υλοποίηση μίας στρατηγικής και για βιωσιμότητα των δικτύων. Η εργασία θα αποτυπώσει την διεθνή και την ελληνική εμπειρία.

---

## *Executive Summary*

---

The construction of broadband infrastructure access networks are the cornerstone of the development not only of modern online infrastructure, but also the services provided to users. The high investment costs for the construction of these infrastructures makes it necessary to investigate all available technologies and simultaneously ensure economic viability of the investments. Such innovation optic infrastructure are called FTTN (Fiber to the Neighborhood) and FTTC (Fiber to the Curb) or more generally FTTx and present significant technological and functional differences, but also very large differences in manufacturing costs.

As part of the project will be explored issues such as the topology to be chosen and the technology to be used for branching of fiber, but mainly business models that can be applied in the holding of the optical instructure. Also, it will reflect the necessary institutional interventions on the side of the state for the best implementation of a strategy for sustainability of networks. The project will imprint international and Greek experience.

---

# Περιεχόμενα

---

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
Executive Summary	4
Περιεχόμενα	5
<b>Κεφάλαιο 1 - Ιστορία Οπτικών Ινών</b>	
1.1 19ος αιώνας	7
1.2 20ος αιώνας	7
<b>Κεφάλαιο 2 - Οπτικές ίνες</b>	
2.1 Δομή Οπτικών Ινών	10
2.2 Τρόπος Λειτουργίας Οπτικών Ινών	11
2.3 Τύποι Οπτικών Ινών	14
2.4 Απώλειες	15
2.4.1 Εξασθένηση	15
2.4.2 Διασπορά	18
2.5 Στοιχεία οπτικού δικτύου	26
2.5.1 Πηγές Φωτός και Ανιχνευτές	26
2.5.2 Αναμεταδότες	27
2.5.3 Οπτικοί Ενισχυτές	27
2.5.4 Οπτικοί Πολυπλέκτες - Αποπολυπλέκτες	29
2.5.5 Συσκευές ενδοσύνδεσης	29
<b>Κεφάλαιο 3 - Ανάλυση Δικτύων FTTx</b>	
3.1 Διαφορές των FTTx	32
3.1.1 Λειτουργικές διαφορές	32
3.1.2 Διαφορές στο κόστος κατασκευής	33
3.2 Οπτικές υποδομές FTTN και FTTC	34
3.3 Τοπολογία διακλάδωσης ινών	37
3.3.1 Active Optical Network (AON)	38
3.3.2 Passive Optical Network (PON)	39
<b>Κεφάλαιο 4 - Επιχειρηματικά Μοντέλα</b>	
4.1 Επίπεδα Επιχειρηματικών Μοντέλων	41
4.2 Διαχείριση Παθητικών Υποδομών	42
4.2.1 Επίπεδο Δήμου	42
	5

4.2.2 Επίπεδο Περιφέρειας	43
4.2.3 Κρατικό Επίπεδο	45
<b>4.3 Ενδεικτικά Επιχειρηματικά Μοντέλα</b>	<b>46</b>
4.3.1 Retailer	46
4.3.2 Capacity Wholesaler	46
4.3.3 Dark Fiber Provider	47
<b>4.4 Οικονομικά Στοιχεία</b>	<b>47</b>
4.4.1 CAPEX	47
4.4.2 OPEX	48
<b>Κεφάλαιο 5 - Θεσμικές Παρεμβάσεις Πολιτείας</b>	
<b>5.1 Ευρώπη</b>	<b>49</b>
5.1.1 Ρωσία	50
5.1.2 Ηνωμένο Βασίλειο	51
5.1.3 Ιταλία	51
5.1.4 Ελβετία	52
5.1.5 Μαυροβούνιο	52
5.1.6 Κροατία	53
5.1.7 Ισπανία	54
5.1.8 Γαλλία	54
5.1.9 Γερμανία	55
5.1.10 Ελλάδα	55
5.1.11 Σουηδία	56
<b>5.2 Άλλες Χώρες</b>	<b>57</b>
5.2.1 Κίνα	57
5.2.2 Ουρουγουάη	58
5.2.3 Κάιρο	58
5.2.4 Η.Π.Α	58
5.2.5 Ιράν	59
5.2.6 Ταϊβάν	59
5.2.7 Βραζιλία	59
<b>5.3 Στρατηγικές για την ανάπτυξη στην Ελλάδα</b>	<b>59</b>
<b>Κεφάλαιο 6 - Εποπτεία Οπτικού Δικτύου</b>	
<b>6.1 OTDR</b>	<b>61</b>
6.1.1 Διαγράμματα από Μετρήσεις OTDR	65
<b>Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα - Σύνοψη</b>	<b>67</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>68</b>

---

## Κεφάλαιο 1 - Ιστορία Οπτικών Ινών

---

### 1.1 19ος αιώνας

Η αρχή της ιστορίας ξεκινάει από τον John Tyndall, με μία υδάτινη φλέβα που έρεε από ένα δοχείο σε ένα άλλο και μία δέσμη φωτός που ανακλάτο στο εσωτερικό, ακολουθώντας την ίδια πορεία. Έτσι ήταν το πρώτο βήμα της έρευνας για την κατευθυνόμενη εκπομπή φωτός.

Ο William Whelling ανέπτυξε τη μέθοδο αυτή, με εφαρμογή σωλήνων “ripping light” καθώς και τη χρήση καθρεπτών για τη μεταφορά σε άλλους χώρους, χωρίς μεγάλη επιτυχία όμως.



Σχήμα 1.1 Πείραμα John Tyndall

Ο Alexander Graham Bell ανέπτυξε το φωτόφωνο, που ήταν σημαντικό για την ανάπτυξη της τεχνολογίας, διότι ήταν η πρώτη οπτική ζεύξη με διαμόρφωση κατά πλάτος (AM - AMPLITUDE MODULATION)

### 1.2 20ος αιώνας

Ο Nairinder Singh Kapany επινόησε τον όρο fiber optics και την χρήση της γυάλινης επένδυσης στην ίνα για να εμποδίσει το φως να διαφύγει έξω από τον πυρήνα με το φαινόμενο της ανάκλασης.

Το ινοσκόπιο καθώς και η τεχνολογία laser ήταν σημαντικό κομμάτι της τεχνολογίας. Η εξασθένιση του σήματος μέσα στην ίνα δυσκόλευε πολύ την ανάπτυξη για μεταφορά. Οι



Drs. Robert Mauer, Donald Keck και Peter Schulz κατασκεύασαν την πρώτη γυάλινη ίνα με εξασθένηση μικρότερη των 20 dB/km ορμώμενοι από άρθρο των Charles Kao και Charles Hockham που εργαζόντουσαν στα εργαστήρια Standard Telecommunication, που συνέβαλε πολύ για το ξεκίνημα της βιομηχανίας των οπτικών ινών.

Ανάπτυξη οπτικών ινών σε διάφορα στάδια:

- **1<sup>ο</sup> παράθυρο**

Περιοχή μήκους κύματος 850 nm με μικρή απώλεια οπτικού σήματος, που βρίσκεται μεταξύ μεγάλων αιχμών απορρόφησης λόγω υγρασίας και σκέδασης Rayleigh και απόσβεση 3 dB/Km.

- **2<sup>ο</sup> παράθυρο**

Περιοχή μήκους κύματος 1300 nm με απόσβεση 1 dB/Km.

- **3<sup>ο</sup> παράθυρο**

Περιοχή μήκους κύματος 1550 nm με απόσβεση 0,2 dB/Km

- **4<sup>ο</sup> παράθυρο**

Ανάπτυξη περιοχή μήκους κύματος 1650 nm με μικρές διαφορές απόσβεσης με το 3<sup>ο</sup> παράθυρο

Υψηλή πλαστικής ίνας από πυρίτιο, πλαστικό (χωρίς ιδιαίτερη ανάπτυξη), γυαλί, καθώς και από βαρέα μέταλλα χωρίς να καταφερθεί το θεωρητικό κομμάτι για απόσβεση κάτω των 0,001 dB/Km.

---

## Κεφάλαιο 2 - Οπτικές ίνες

---

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η μετάδοση γινόταν με καλώδια που είναι κατασκευασμένα από χαλκό και παράγεται σε λίγες χώρες του κόσμου. Έτσι οι υπόλοιπες χώρες εξαρτώντας από αυτές. Γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν εναλλακτικές λύσεις για γρήγορη και αποδοτική μεταφορά δεδομένων. Έτσι αναπτύχθηκαν τα δίκτυα οπτικής ίνας που είναι ταχύτερα και τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται πιο πολύ. Άλλωστε η χρήση του φωτός για μεταφορά δεδομένων δεν είναι κάτι νέο για τον άνθρωπο. Καθώς επίσης φτιάχνονται από γυαλί που σημαίνει από άμμο, άρα από φτηνή πρώτη ύλη που υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες.

Από το 1854 γνωρίζουμε για το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης που είναι και ο λόγος που το φως καθοδηγείται μέσα στις οπτικές ίνες. Επιτρέπει ευκολία για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων λόγω της μετάδοσης με το φως. Αυτή τη στιγμή στη χώρα μας έχουμε δίκτυα οπτικών χωρητικότητας 10 Gbps με δυνατότητα αύξησης και ταχύτητα έως και 1 Gbps.

Οι οπτικές ίνες προσφέρουν, σε σχέση με το χαλκό, έναν τρόπο μετάδοσης που δίνει τη δυνατότητα για καθαρότερες, ταχύτερες, και πιο αποδοτικές επικοινωνίες.

Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών είναι:

- Προστασία από Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και φως.
- Λιγότερο βάρος.
- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης.
- Πιο ποιοτικό σήμα.
- Λιγότερο κόστος.
- Ευκολότερα αναβαθμίσιμες
- Ευκολία στην εγκατάσταση.

Τρία είναι τα βασικά στοιχεία μίας σύνδεσης οπτικών ινών, ο πομπός, ο δέκτης και η οπτική ίνα.



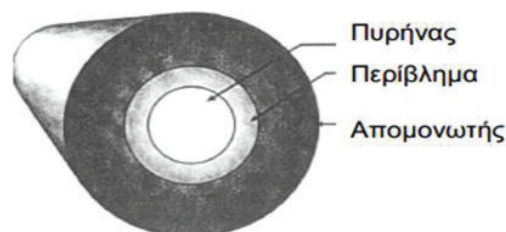
*Σχήμα 2.1* Στοιχεία ενός συστήματος οπτικών ινών.

Υπάρχουν δύο είδη πηγών φωτός που χρησιμοποιούνται στις οπτικές ίνες. Είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) και οι δίοδοι laser. Αντίστοιχα και οι ανιχνευτές μετατρέπουν την οπτική ισχύ σε ηλεκτρικό σήμα. Η φωτοδίοδος PIN και η η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας είναι οι δύο τύποι ανιχνευτών. Ακόμη έχουμε και τις ενδοσυνδέσεις που είναι εξαρτήματα ή τεχνικές που βοηθούν ώστε να γίνει σύνδεση δύο ινών, όπως είναι οι διακόπτες και οι συνδετήρες.

## 2.1 Δομή Οπτικών Ινών

Οπτική ίνα θα λέγαμε ότι είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός αποτελούμενος από υλικό (γυαλί ή πολυμερές) που παρουσιάζει μικρές απώλειες στην ορατή και κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία.

Αποτελείται από τον πυρήνα που είναι από γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης. Γύρω από τον πυρήνα υπάρχει υλικό (συνήθως από γυαλί (cladding)), με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης, ώστε να επιτυγχάνεται η ολική εσωτερική ανάκλαση του φωτός στο εσωτερικό (όπως γνωρίζουμε και από το φαινόμενο της ανάκλασης όταν το φως κινείται από το πιο πυκνό στο πιο αραιό, τότε ανακλάται), και έτσι καταφέρνει η ίνα να εγκλωβίσει τη δέσμη φωτός στο εσωτερικό της και να την οδηγήσει στην άλλη άκρη της. Στο εξωτερικό της ίνας υπάρχει ο μανδύας, όπου περικλείει την ίνα και την μονώνει ώστε να διατηρήσει την αντοχή του γυαλιού στο εσωτερικό, συνήθως υλικό είναι το πλαστικό.



Σχήμα 2.2 Εγκάρσια τομή οπτικής ίνας.

Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν την πληροφορία σε μορφή φωτός. Μετατρέπουν το ηλεκτρονικό σήμα σε φως και περνά μέσα από την οπτική ίνα.

Με τον όρο μήκος κύματος αναφερόμαστε στη μέτρηση της απόστασης που καλύπτει σ' ένα κύκλο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα καθώς ταξιδεύει σ' ένα ολόκληρο κύκλο. Αυτά που χρησιμοποιούνται για τις οπτικές ίνες, χωρίζονται στο κοντινό υπέρυθρο που είναι μεταξύ 700 nm έως 2000 nm και στο ορατό που είναι από 400 nm έως 700 nm.

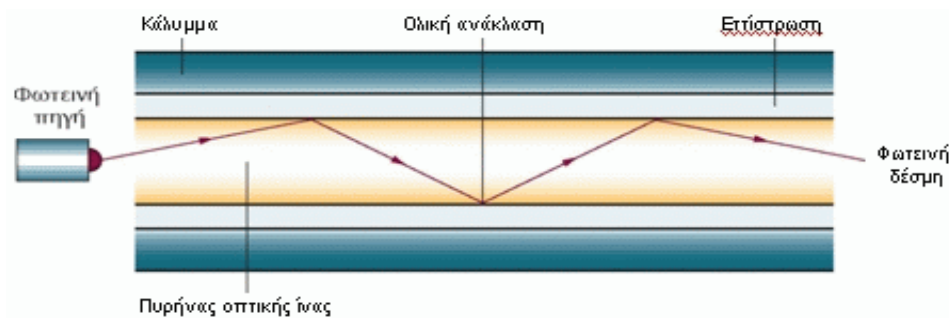
## 2.2 Τρόπος Λειτουργίας Οπτικών Ινών

Στο φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης, στην επιφάνεια που διαχωρίζονται δύο διηλεκτρικά, βασίζεται κατά κύριο λόγο ο τρόπος λειτουργίας των οπτικών ινών. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει διότι η ταχύτητα, όπου το φως ταξιδεύει στα διαφορετικά υλικά, έχει ανόμοιες τιμές. Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε αυτά τα διαφορετικά μέσα όπου το φως μπορεί να ταξιδεύει, χρησιμοποιούμε έναν αδιάστατο αριθμό που λέγεται δείκτη διάθλασης. Ο τύπος που εκφράζει το δείκτη διάθλασης είναι :

$$n=c/v$$

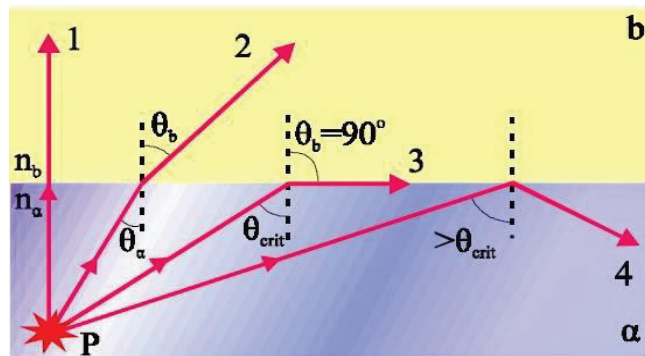
(όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $v$  η ταχύτητα του φωτός στο μέσο).

Η διαφορά του δείκτη διάθλασης του πυρήνα με τον δείκτη διάθλασης του περιβλήματος, αναγκάζει το φως να ανακλάται στα τοιχώματα και να επιστρέφει στον πυρήνα.



Σχήμα 2.3 Φως μέσα σε οπτική ίνα.

Για να επιτευχθεί αυτό στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, θα πρέπει η γωνία που θα έχει το φως κατά την είσοδό του στον πυρήνα να είναι μέχρι και  $\theta_i$ , γιατί αν είναι μεγαλύτερη η γωνία  $\theta_i$  δεν θα μπορέσει να υποστεί, η οπτική ίνα, την εσωτερική ανάκλαση αλλά θα διαθλαστεί στο περίβλημα.



Σχήμα 2.4 Νόμος του Snell.

Έχοντας σαν δεδομένο το Νόμο του Snell και θεωρώντας ως  $n_a$  ο δείκτης διάθλασης της κάτω περιοχής και  $n_b$  της επάνω περιοχής και πώς  $n_a > n_b$ .

Για την 1 δεν υπάρχει προσπίπτουσα γωνία καθώς  $n_a = n_b$ . Δηλαδή το ένα μέσο έχει τον ίδιο δείκτη διάθλασης με το άλλο μέσο έτσι το φως συνεχίζει κάθετα στο άλλο μέσο.

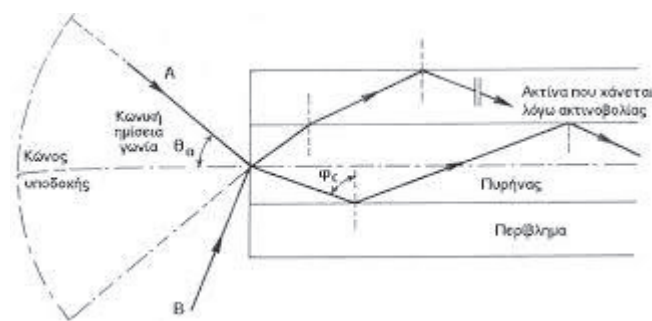
Για την 2 έχουμε την προσπίπτουσα γωνία να είναι μικρότερη από την κρίσιμη γωνία έτσι  $\theta < \theta_{\text{crit}}$ . Αυτό προκύπτει από το ότι το φως περνάει από μέσο με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης σε μέσο με μικρότερο δείκτη διάθλασης έτσι το φως αποκλίνει από την κάθετο. Αν όμως το φως περνάει από μικρότερο δείκτη διάθλασης σε μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης τότε κάμπτεται από την κάθετο. Στην περίπτωση αυτή όπου το ποσό του φωτός κλίνει έχουμε τη σχέση

$$n_a \cdot \sin\theta_a = n_b \cdot \sin\theta_b$$

Για την 3 έχουμε αυξημένη την γωνία πρόσπτωσης και γι' αυτό δημιουργεί μια γωνία διάθλασης 90 μοιρών που λέγεται κρίσιμη γωνία. Έτσι εδώ η μετάδοση της ακτίνας φωτός γίνεται παράλληλα της περιοχής αλληλεπίδρασης άρα  $\theta = \theta_{\text{crit}}$ .

Για την 4 η τιμή της γωνίας πρόσπτωσης είναι αυξημένη κατά πολύ και η τιμή της είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας. Άρα η περιοχή της επιφάνειας αλληλεπίδρασης ανακλά όλο το φως και έτσι έχουμε την ολική εσωτερική ανάκλαση, όπου η γωνία ανάκλασης είναι ίση της γωνίας πρόσπτωσης. Ο τύπος για τον υπολογισμό της κρίσιμης γωνίας είναι

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_b}{n_a}\right)$$



Σχήμα 2.5 Αριθμητικό άνοιγμα.

Η κρίσιμη γωνία καθορίζει ένα φανταστικό κώνο αποδοχής με μια γωνία  $\alpha$ . Αυτό αντιστοιχίζεται με μια παράμετρο που ονομάζεται αριθμητικό άνοιγμα (NA) της ίνας. Το αριθμητικό άνοιγμα (NA) παρουσιάζει την συλλεκτική ικανότητα φωτός της ίνας. Ο τύπος που το περιγράφει είναι

$$NA = \sin a = \sqrt{n_a^2 - n_b^2} \quad a = \sin^{-1}(\sqrt{n_a^2 - n_b^2})$$

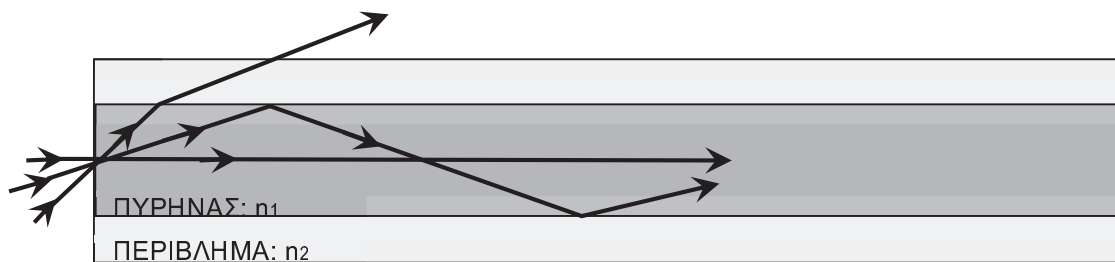
Οι χρόνοι διάδοσης της οπτικής ίνας καθώς και του καλωδίου χαλκού, εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Στη διάδοση των μεταλλικών καλωδίων, οι καθυστερήσεις εξαρτώνται από τα μεγέθη του καλωδίου και από τη συχνότητα. Ενώ στη διάδοση των οπτικών ινών, οι καθυστερήσεις εξαρτώνται από το υλικό. Ο χρόνος διάδοσης μέσα από μια ίνα υπολογίζεται από

$$t = L \cdot \frac{n}{c}$$

όπου  $t$  ο χρόνος διάδοσης σε δευτερόλεπτα,  $L$  το μήκος της ίνας σε μέτρα (καθώς εξαρτάται ελαφρώς από τη θερμοκρασία),  $n$  ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας (περίπου 1.45 και εξαρτάται από το μήκος κύματος) και  $c$  η ταχύτητα του φωτός

$$(2998 \times 10^8 \text{ m/s}).$$

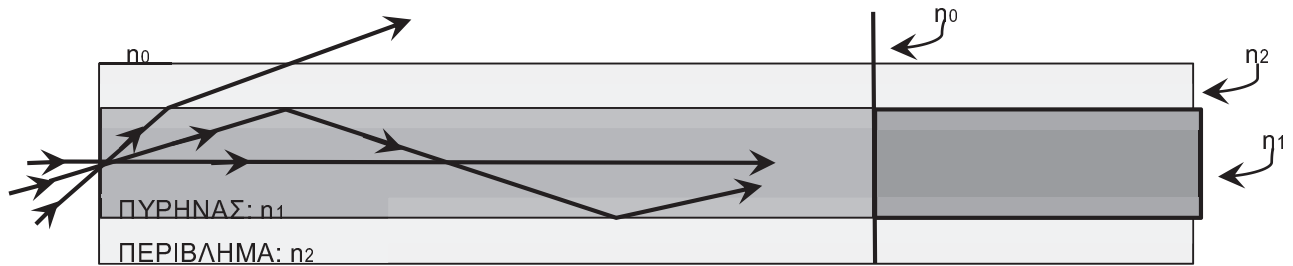
Καθυστερήσεις στο χρόνο υπάρχουν και στις ίνες που είναι βασισμένες στη γεωμετρική οπτική. Δύο είναι τα είδη, οι ίνες κλιμακωτού δείκτη διάθλασης ή αλλιώς βηματικού δείκτη, και οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης ή αλλιώς διαβαθμισμένου δείκτη.



**Σχήμα 2.6** Πολύτροπη ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης.

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 2.6, οι ακτίνες φωτός διαδίδονται μέσα στην ίνα. Η μία διαδίδεται στο κέντρο του πυρήνα, η άλλη κατά τη διάδοση σχηματίζει μια απότομη γωνία όπου επιτυγχάνεται η ολική εσωτερική ανάκλαση και η τελευταία σχηματίζει μια γωνία που υπερβαίνει την κρίσιμη γωνία, με αποτέλεσμα να διαθλάται στο περίβλημα και να χάνεται.

Έτσι προκύπτει πως κάθε μια από τις δύο ακτίνες που θα διαδοθούν τελικά στην ίνα, θα διανύσουν διαφορετικές αποστάσεις, άρα και ο χρόνος που θα χρειαστούν για να φτάσουν θα είναι διαφορετικός, με αποτέλεσμα να έχουμε το φαινόμενο της διασποράς, όπου τελικά στο άκρο λήψης φτάνει ένα πολύπλοκο σήμα.



Σχήμα 2.6 Πολύτροπη ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης.

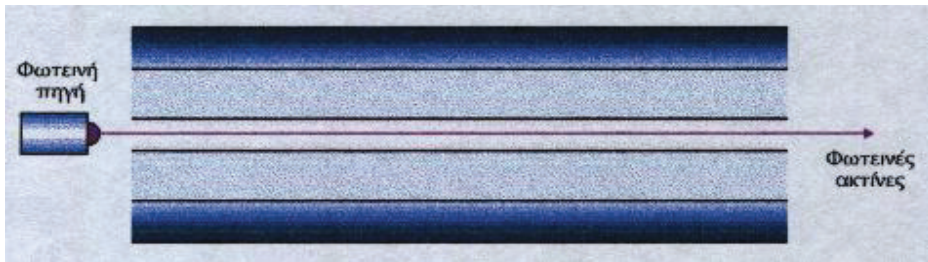
Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος δημιουργήθηκαν οι ίνες διαβαθμισμένου δείκτη, όπου ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα, ελαττώνεται σταδιακά (όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6), άλλα περισσότερο από το δείκτη διάθλασης που υπάρχει στο κέντρο του πυρήνα, με αποτέλεσμα η μεγάλη διάθλαση που προκύπτει στο κέντρο του πυρήνα, να μειώνει την ταχύτητα κάποιων ακτίνων φωτός, με σκοπό όλες οι ακτίνες να φτάσουν στο άκρο λήψης περίπου στον ίδιο χρόνο.

### 2.3 Τύποι Οπτικών Ινών

Οι βασικοί τύποι οπτικών ινών είναι οι πολύτροπες ίνες και οι μονότροπες ίνες. Η πολύτροπη ίνα σε σχέση με την μονότροπη ίνα είναι πολύ μεγαλύτερη και έτσι δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης πολλών ακτίνων φωτός στον πυρήνα της ίνας, ενώ αντίθετα η μονότροπη ίνα έχει έναν πολύ μικρό πυρήνα και μεταδίδει μόνο μια ακτίνα φωτός.

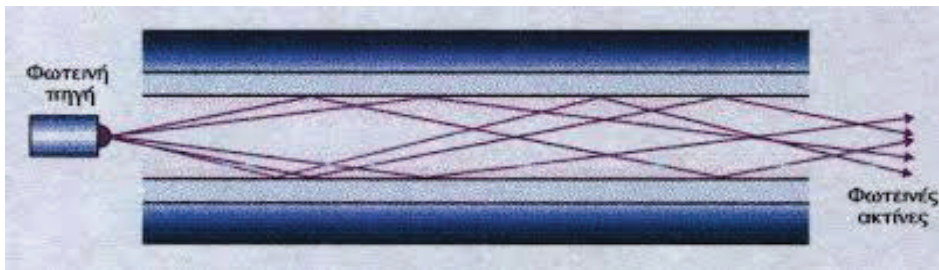
Αυτό εξασφαλίζει στην μονότροπη ίνα την ευθύγραμμη μετάδοση του οπτικού σήματος σε μεγαλύτερη απόσταση καθώς και η χωρητικότητά τους, σε σχέση με τις πολύτροπες, είναι μεγαλύτερη διότι έχουν μια μόνο ακτίνα φωτός να περνά στο εσωτερικό τους, αποφεύγοντας έτσι την μεγάλη διασπορά που προκαλείτε από τις πολλαπλές ακτίνες και κερδίζοντας πληροφορίες στη μονάδα του χρόνου.

Την μονότροπη ίνα μπορούμε να την χαρακτηρίσουμε και ως ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης, που σημαίνει πως ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος του περιβλήματος. Το μειονέκτημα της μονότροπης ίνας όμως είναι πως οι μονότροποι συνδετήρες πρέπει να είναι πιο ανεκτικοί, καθώς υπάρχουν περισσότερες απαιτήσεις λόγω του μικρού μεγέθους του πυρήνα, όπου δυσκολεύει τη σύζευξη του φωτός.



Σχήμα 2.7 Μονότροπη ίνα.

Στις πολύτροπες ίνες όμως ο χαρακτηρισμός τους μπορεί να είναι ως βηματικού και διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης. Καθώς ως πολύτροπη ίνα θεωρείται πως υπάρχουν πολλαπλές ακτίνες φωτός ταυτόχρονα στον αγωγό, είτε αυτές πάνε παράλληλα στον αγωγό, είτε ανακλώνται στο περίβλημα. Η εξασθένηση της ίνας όμως είναι αρκετά μεγάλη.



Σχήμα 2.8 Πολύτροπη ίνα.

## 2.4 Απώλειες

Δύο είναι οι μεγάλες κατηγορίες φαινομένων που επηρεάζουν τη διάδοση του φωτός μέσα στην ίνα. Είναι τα γραμμικά και τα μη γραμμικά φαινόμενα.

Τα γραμμικά φαινόμενα είναι η εξασθένηση του σήματος και η διασπορά των παλμών. Η εξασθένηση επηρεάζει τη μέγιστη απόσταση του σήματος στην ίνα και η διασπορά το μέγιστο ρυθμό πληροφορίας (bit rate) ή αλλιώς το μέγιστο χρήσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) της ίνας που μπορεί να διακινήσει.

Τα μη γραμμικά φαινόμενα επηρεάζουν τη διάδοση FWM, την SRS και SBS, και την SPM/XPM. Παρατηρούνται μόνο όταν η ένταση των φωτεινών παλμών είναι μεγαλύτερη.

### 2.4.1 Εξασθένηση

Η εξασθένηση ενός σήματος είναι μια λογαριθμική σχέση μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης οπτικής ισχύος σε ένα σύστημα οπτικής ίνας. Ουσιαστικά, εξασθένηση, θεωρείται η απώλεια οπτικής ισχύος κατά την διάδοση των παλμών κατά μήκος της ίνας. Αυτή η απώλεια είναι εκθετική και εκφράζεται



$$P(z) = P_0 \cdot e^{-a'z}$$

όπου  $P(z)$  = η οπτική ισχύς σε απόσταση  $z$  από την είσοδο.

$P_0$  = η οπτική ισχύς στην είσοδο της ίνας.

$a'$  = ο συντελεστής εξασθένησης της ίνας.

Συνήθως ο  $a$  εκφράζεται σε μονάδες dB/km από τη σχέση

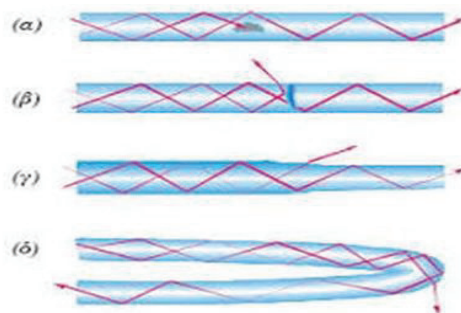
$$a(\text{dB/km}) = \frac{10}{z} \log_{10}\left(\frac{P_z}{P_0}\right) \approx 4.343a'$$

Οι δύο βασικοί λόγοι όπου τα σήματα στην οπτική ίνα μπορεί να εξασθενούν είναι η απορρόφηση υλικού και η σκέδαση Rayleigh.

Η σκέδαση Rayleigh παρουσιάζει τη διάχυση (σκόρπισμα) που μπορεί να υποστεί η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα κατά τη διάδοση στον πυρήνα της ίνας. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας από ξένες προσμίξεις ή ακόμη και από κάποια σημειακή ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης. Η σκέδαση γενικά είναι πολύ μεγαλύτερη στα μικρά μήκη κύματος γιατί ισχύει ότι  $\lambda^{-4}$  είναι η αιτία για τις απώλειες της ίνας καθώς επίσης είναι και δύσκολο να απαλειφθεί.

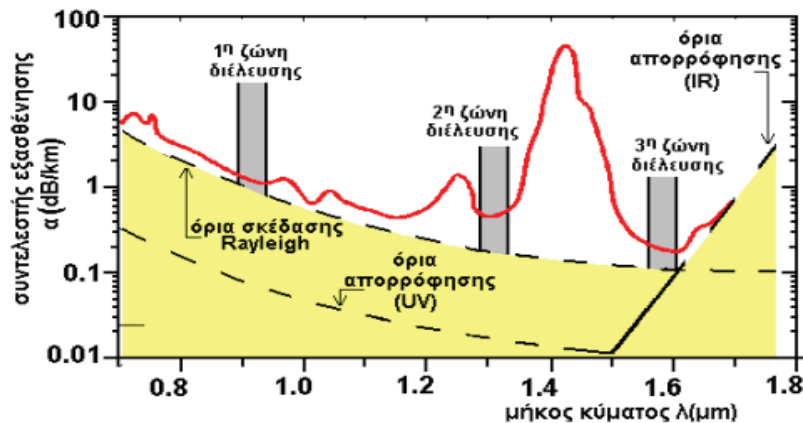
Η απορρόφηση από την άλλη παρουσιάζεται από διάφορες προσμίξεις που προκαλούν την απώλεια της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Όλα τα υλικά παρουσιάζουν απορρόφηση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Στην γυάλινη οπτική ίνα που κατασκευάζεται από πυρίτιο εμφανίζεται η φυσική απορρόφηση του πυριτίου και η απορρόφηση λόγω προσμίξεων π.χ. Fe, Cu αλλά κυρίως λόγω της παρουσίας υδρατμών που προκαλούν τις κορυφές απορρόφησης OH σε μήκη κύματος 1.39  $\mu\text{m}$ , 1.24  $\mu\text{m}$  και 0.95  $\mu\text{m}$ . Το θετικό είναι όμως ότι μπορούμε να την απαλείψουμε ευκολότερα.

Άλλοι πιθανοί παράγοντες που μπορεί να οφείλονται για την εξασθένηση στην ίνα είναι οι εξωτερικοί παράγοντες. Συγκεκριμένα αυτό μπορεί να είναι είτε τάσεις καλωδίων, είτε φυσικές κάμψεις της ίνας (μικροκάμψεις αλλά και μακροκάμψεις), είτε περιβαλλοντικές επιδράσεις, είτε λόγω κακής ποιότητας υλικού για την κατασκευή ίνας, ουσιαστικά δηλαδή κάποιες ατέλειες κυματοδηγού.



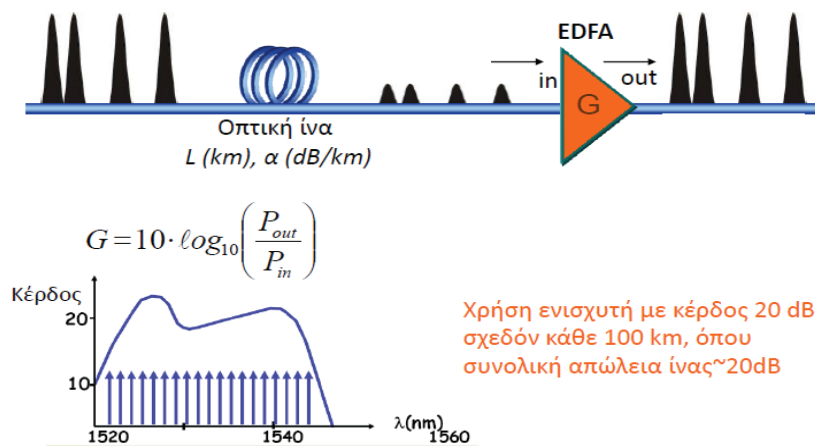
Σχήμα 2.9 Ατέλειες ίνας.

Το πόσο εξασθενεί το σήμα, εξαρτάται πολύ από το μήκος κύματος της διερχόμενης ακτινοβολίας. Τρεις είναι οι ζώνες διέλευσης που παρουσιάζει η καμπύλη του συντελεστή εξασθένησης μιας τυπικής ίνας. Πρώτη ζώνη με μήκος κύματος  $\lambda=0.8\mu\text{m}$ , η δεύτερη ζώνη με μήκος κύματος  $\lambda=1.3\mu\text{m}$  και η τρίτη ζώνη με μήκος κύματος  $\lambda=1.55\mu\text{m}$



Σχήμα 2.10 Συντελεστής εξασθένησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος.

Μετά από κάποια απόσταση η αθροιστική απώλεια της ισχύος του σήματος το κάνει πολύ ασθενές για να είναι ανιχνεύσιμο. Πριν συμβεί αυτό, πρέπει το σήμα να επανέρθει στην αρχική του ισχύ. Αυτό γίνεται με τη χρήση των οπτικών ενισχυτών.



Σχήμα 2.11 Χρήση ενισχυτή για αντιστάθμιση εξασθένησης.

Οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να ενισχύσουν πολλά WDM σήματα.

### 2.4.2 Διασπορά

Με τη έννοια διασπορά χαρακτηρίζουμε τη διερεύνηση των παλμών φωτός κατά τη διάρκεια που ταξιδεύουν στο εσωτερικό της οπτικής ίνας. Για αυτό το λόγο περιορίζει το εύρος ζώνης στην ίνα, μειώνοντας έτσι την ποσότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Ουσιαστικά είναι το φαινόμενο κατά το οποίο αλλοιώνεται η χρονική μορφή του παλμού του σήματος.

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2$$

Ονομάζεται διασπορά γιατί συνήθως ο παλμός διευρύνεται χρονικά (“διασπείρεται”).



**Σχήμα 2.12** Αλλοίωση παλμού ύστερα από χρονική στιγμή.

Τα είδη της διασποράς είναι η διατροπική διασπορά, η ενδοτροπική διασπορά ή χρωματική διασπορά, η διασπορά των τρόπων πόλωσης, η διασπορά από το είδος της πηγής και λόγω Bit Rate της πηγής.

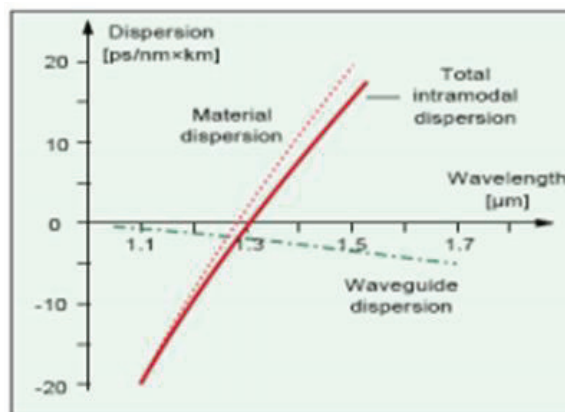
Η διατροπική διασπορά εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες, από την αλληλεπίδραση των ρυθμών που διεγείρονται και προκαλεί μείωση του εύρους μετάδοσης ( Mbit/s ) καθώς και μείωση της απόστασης μετάδοσης.

Για την αντιμετώπιση της διατροπικής διασποράς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ίνα με μικρότερο σε διάμετρο πυρήνα για να μειωθούν έτσι και οι τρόποι μετάδοσης μέσα στην ίνα. Άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διότι χρησιμοποιούν διαφορετικό δείκτη διάθλασης στην ίνα με τη δυνατότητα έτσι να φτάνουν όλοι οι τρόποι στον προορισμό τους. Και ένας ακραίος αλλά σίγουρα αποτελεσματικός είναι η χρήση μονότροπης ίνας.

Τη χρωματική διασπορά τη συναντάμε σε όλους τους τύπους των οπτικών ινών και οφείλεται στο πεπερασμένο εύρος ζώνης της οπτικής πηγής που τροφοδοτεί την ίνα. Επειδή η φωτεινή πηγή δεν εκπέμπει μόνο μια συχνότητα αλλά ομάδα συχνοτήτων πεπερασμένου εύρους, υπάρχουν διαφορετικές καθυστερήσεις στη διάδοση κάθε μιας συχνότητας (ή κάθε μήκος κύματος) αφού αυτές ταξιδεύουν στην οπτική ίνα με διαφορετική ταχύτητα. Οι

χρονικές αυτές καθυστερήσεις μπορεί να οφείλονται σε δύο διαφορετικούς παράγοντες την διασπορά υλικού και τη διασπορά κυματοδηγού.

Η διασπορά υλικού και κυματοδηγού τείνουν να αλληλοαναιρούνται σε μήκη κύματος κοντά στα 1310 nm, όπου η χρωματική διασπορά θεωρείται μηδέν. Για μικρότερα μήκη κύματος η χρωματική διασπορά είναι αρνητική ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος είναι θετική. Ουσιαστικά η χρωματική διασπορά είναι το άθροισμα της διασποράς υλικού και κυματοδηγού.



Σχήμα 2.13 Άθροισμα της διασποράς υλικού και κυματοδηγού.

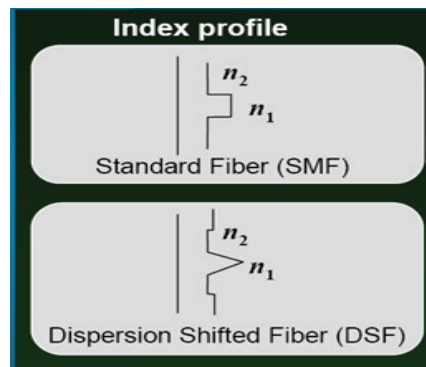
Για την αντιμετώπιση του συνολικού φαινόμενου της χρωματικής (υλικού και κυματοδηγού) διασποράς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι μονότροπων οπτικών ινών. Οι ίνες αυτές έχουν συγκεκριμένο δείκτη διάθλασης με το οποίο επιτυγχάνουν τη ρύθμιση της διασποράς κυματοδηγού και κατ'επέκταση της συνολικής διασποράς. Τρεις είναι οι βασικοί τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διασποράς, η ίνα επίπεδης διασποράς (Dispersion Flattened Fiber - DFF), η ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion Shifted Fiber - DSF) και η ίνα επανόρθωσης της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber-DCF).

Οι ίνες επίπεδης διασποράς DFF, είναι μονότροπες ίνες με πολύ μικρό συντελεστή διασποράς, περίπου 3 psec/nm/km, σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος από τα 1300-1700nm περίπου. Συνήθως, για τις standard μονότροπες ίνες η διασπορά είναι μηδενική στα 1310nm. Σε αυτό το μήκος κύματος η διασπορά κυματοδηγού αντισταθμίζει την διασπορά υλικού και έτσι η συνολική χρωματική διασπορά είναι μηδενική. Σε μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος όμως (850nm ή 1550nm) ο συντελεστής διασποράς παίρνει τιμές από -50 psec/km/nm έως και +20 psec/km/nm.

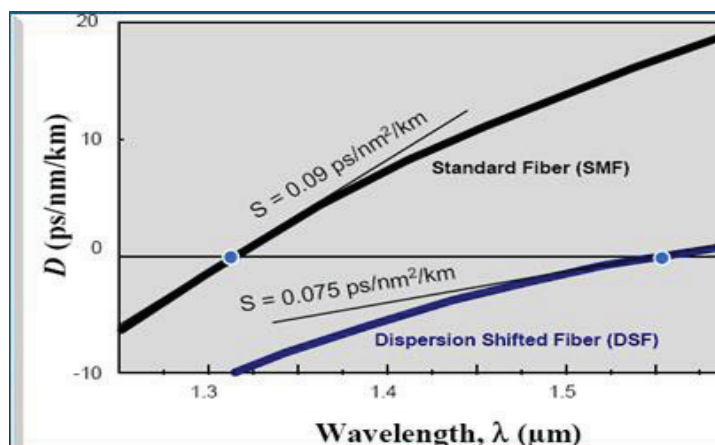
Οι ίνες μετατοπισμένης διασποράς DSF, έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρουσιάζουν μηδενική διασπορά στα 1550nm και όχι στα 1310nm. Η περιοχή των 1550 nm είναι ιδιαίτερα ελκυστική στις οπτικές επικοινωνίες μια και προσφέρει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης εξασθένησης σε σχέση με την περιοχή των 1310nm. Επιπλέον, σ' αυτό το μήκος κύματος μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και οπτικούς ενισχυτές (EDFA) κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για WDM ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.

Οι ίνες επανόρθωσης της διασποράς DCF είναι ίνες με μεγάλη τιμή του συντελεστή διασποράς  $D$  αλλά με αντίθετο πρόσημο σε σχέση με τις standard SMF ώστε να αντισταθμίζουν τη διασπορά που δημιουργείται από πολλά km standard SMF. Σε ζεύξεις μακρινών αποστάσεων ανάμεσα σε μεγάλα τμήματα SMF παρεμβάλλονται μικρά τμήματα DCF τα οποία «μαζεύουν» ξανά τον παλμό που είχε απλώσει εξαιτίας της διάδοσης του στην ίνα.

Η χρωματική διασπορά στην SMF ίνα μηδενίζεται για  $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ . Με ειδική επεξεργασία παράγεται η DSF ίνα όπου η χρωματική διασπορά μηδενίζεται για  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ .



Σχήμα 2.14 SMF και DSF.



**Σχήμα 2.15** Σημεία μηδενισμού SMF και DSF.

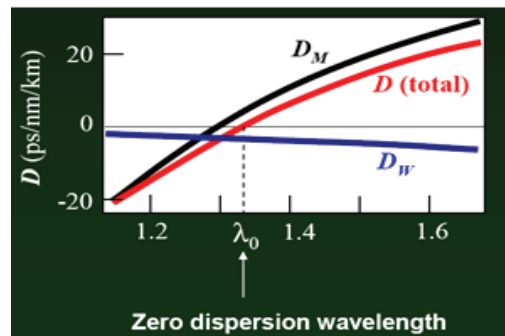
Ο συνδυασμός των δύο αυτών σημάτων έχει ως αποτέλεσμα

$$D = D_M + D_W$$

όπου  $D_M$  είναι η διασπορά του υλικού και  $D_W$  η διασπορά κυματοδηγού.

$$D_M = -\frac{\lambda}{c} \frac{\theta^2 n}{\theta \lambda^2} \quad \text{και} \quad D_W = \frac{\lambda}{2\pi^2 n c} \frac{\theta}{\theta \lambda} \left(\frac{\lambda}{w^2}\right)$$

$$D = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{v_g}\right)$$



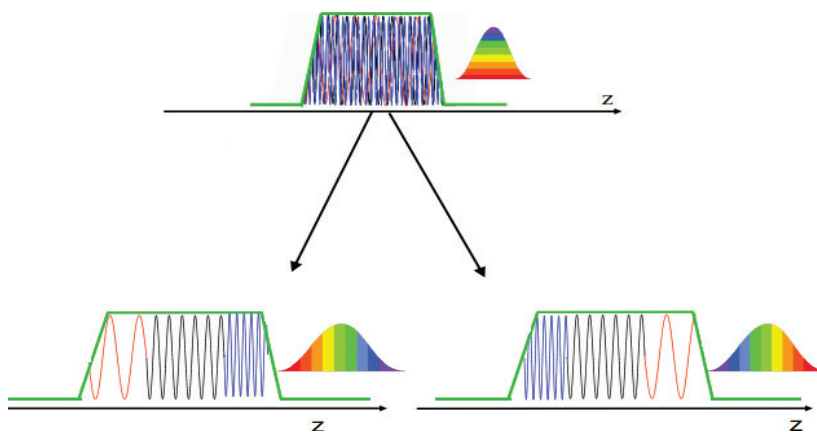
**Σχήμα 2.16** Αποτέλεσμα συνδυασμού διασποράς υλικού και κυματοδηγού.

Ανώμαλη διασπορά:  $D > 0, \beta_2 < 0$

“Γρήγορες” συχνότητες (μπλε) ταξιδεύουν πιο γρήγορα από “αργές” (κόκκινες).

Ομαλή διασπορά:  $D < 0, \beta_2 > 0$

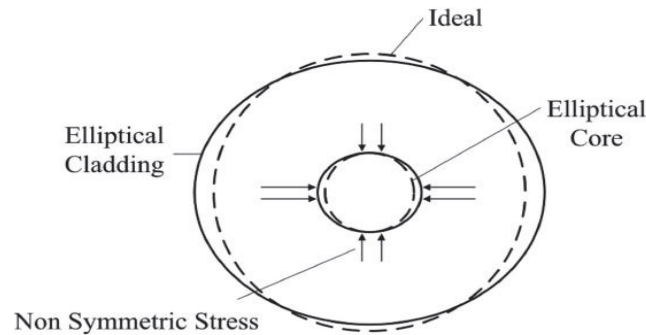
“Γρήγορες” συχνότητες (κόκκινες) ταξιδεύουν πιο γρήγορα από “αργές” (μπλε).



**Σχήμα 2.17** Ομαλή και ανώμαλη διασπορά.

Η διασπορά των τρόπων πόλωσης (Polarization Mode Dispersion - PMD) οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε τρόπος διάδοσης αποτελείται από δύο καταστάσεις πόλωσης κάθετες μεταξύ τους (State Of Polarizations - SOPs). Υπό ιδανικές συνθήκες ο πυρήνας της ίνας είναι

κυκλικός και οι δύο αυτές καταστάσεις πόλωσης διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα. Στην πραγματικότητα όμως λόγω κατασκευής ή λόγω μηχανικών ή ακόμα και θερμικών φορτίων που δέχεται η ίνα, το σχήμα του πυρήνα δεν είναι τέλεια κυκλικό αλλά ελαφρά ελλειπτικό. Έτσι η ίνα να έχει ελάχιστα διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε κατάσταση πόλωσης και η ιδιότητα αυτή λέγεται διπλοθλαστικότητα.



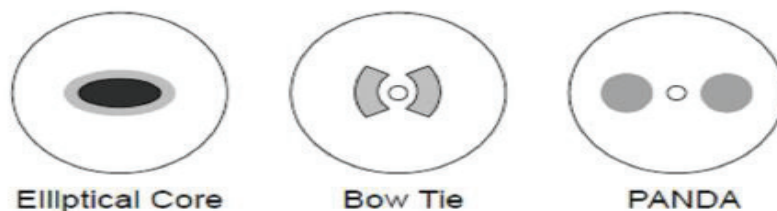
**Σχήμα 2.18** Τρόποι πόλωσης.

Η σχέση που δίνει τη χρονική καθυστέρηση λόγω PMD είναι:

$$\Delta\tau = D_{PMD}\sqrt{L}$$

όπου L το μήκος της ίνας σε km και DPMD ο συντελεστής διασποράς πόλωσης σε τυπικές τιμές.

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού έχουν κατασκευαστεί ίνες με ειδική γεωμετρία (π.χ. ελλειπτικούς πυρήνες) και σύνθεση που διατηρούν την πόλωση σταθερή χωρίς να υπάρχει μεταφορά ενέργειας από τη μια κατάσταση πόλωσης στην άλλη. Είναι οι ίνες Polarization Maintaining Fibers – PMF. Η διατήρηση της SOP πετυχαίνοντάς το συνήθως κάνοντας τις ίνες έντονα διπλοθλαστικές ώστε οι δύο καταστάσεις πόλωσης να έχουν πολύ διαφορετικές ταχύτητες και να απέχουν ικανή απόσταση ώστε να μην μπορεί να γίνει σύζευξη (μεταφορά ενέργειας) μεταξύ τους.

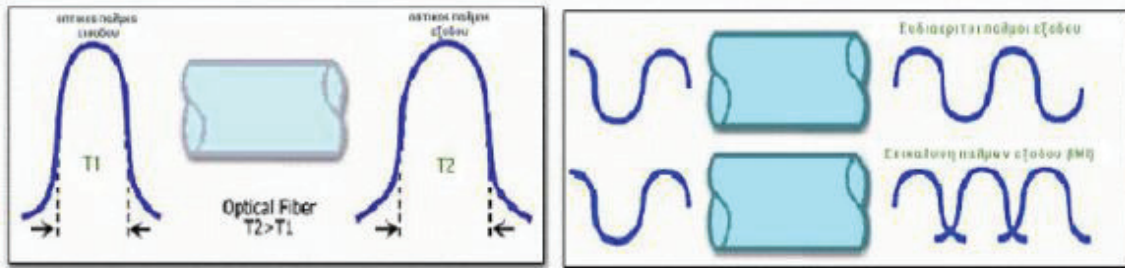


**Σχήμα 2.19** Τύποι ινών με κατάσταση πόλωσης φωτός ίδια με την είσοδο στην ίνα.

Η διασπορά από το είδος πηγής είναι αποτέλεσμα από το ότι οι πηγές, που μπορεί να είναι οπτική πηγή laser συνεχούς εκπομπής και φωτοдиодοι (LED), δεν εκπέμπουν μόνο μια συχνότητα αλλά ομάδα συχνοτήτων πεπερασμένου εύρους, όπου υπάρχουν διαφορετικές

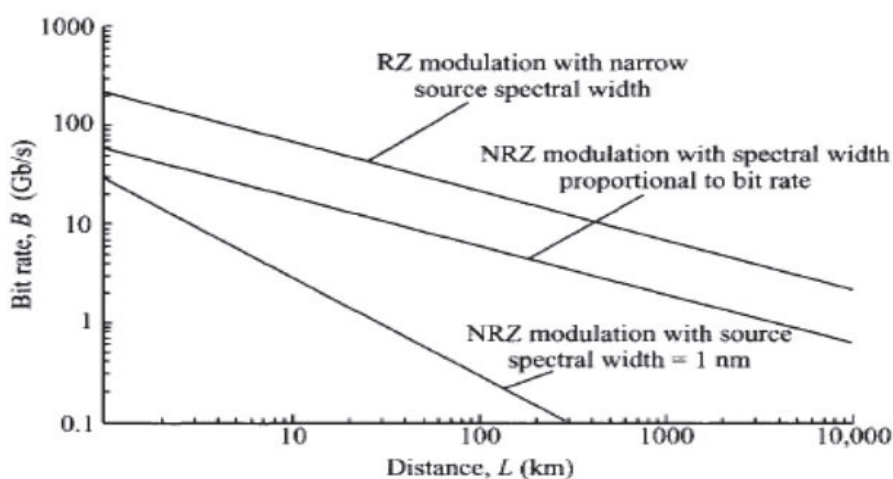
καθυστερήσεις στη διάδοση κάθε μιας συχνότητας αφού αυτές ταξιδεύουν στην οπτική ίνα με διαφορετική ταχύτητα.

Η διασπορά των παλμών του σήματος περιορίζει το ρυθμό διακίνησης πληροφορίας (Bit Rate) στην οπτική ίνα, δηλαδή το εύρος ζώνης της ίνας που μπορεί να αξιοποιηθεί. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται γιατί καθώς διευρύνεται το πλάτος ενός παλμού, κάποια στιγμή αλληλοεπικαλύπτεται με γειτονικούς παλμούς και γίνεται δυσδιάκριτος στο δέκτη (Intersymbol Interference). Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση του ρυθμού των λαθών.



Σχήμα 2.20 Αύξηση του ρυθμού των λαθών.

Η επίδραση της διασποράς (όλων των ειδών) στην ψηφιακή μετάδοση οδηγεί σε λάθος απόφαση του δέκτη για την αξία του bit. Και τα τέσσερα είδη διασποράς οδηγούν σε διεύρυνση των παλμών, που μειώνει το δυνατό ρυθμό μετάδοσης. Κοιτώντας διαμήκη τομή της ίνας στο ισημερινό της επίπεδο η διασπορά οδηγεί σε διασυμβολική παρεμβολή (ISI) που οδηγεί έτσι σε λάθος απόφαση του δέκτη για την αξία του bit. Για να μη γίνεται αυτό, πρέπει η διάρκεια του bit ( $T_b$ ) να μεγαλώσει που σημαίνει μείωση του ρυθμού μετάδοσης.

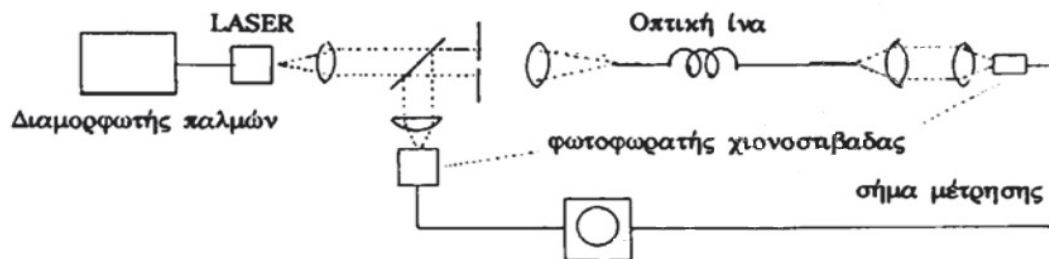


Σχήμα 2.21 Εξαρτήσεις και περιορισμοί ζεύξης, τρεις περιπτώσεις σημάτων.

Για τη μέτρηση της διασποράς στις οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι που βασίζονται στην απόκριση στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Η πηγή Laser



διαμορφώνεται από έναν γρήγορο διαμορφωτή. Η διάρκεια των εκπεμπόμενων παλμών είναι 100-400 ps. Το παλμικό οπτικό σήμα διαιρείται σε δύο δέσμες. Η μία δέσμη ανιχνεύεται από ένα φωτοανιχνευτή χιονοστιβάδας.



Σχήμα 2.22 Διάταξη στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

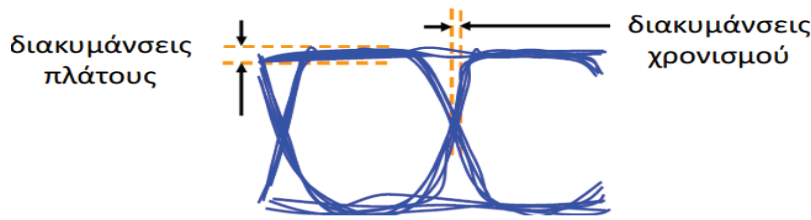
Μπορούμε επίσης και με το διάγραμμα οφθαλμού να βγάλουμε συμπεράσματα για την διασπορά και την εξασθένηση.

Το διάγραμμα οφθαλμού είναι μια εποπτική μέθοδος διάγνωσης προβλημάτων σε συστήματα μετάδοσης δεδομένων. Το διάγραμμα οφθαλμού προκύπτει όταν συνδέσουμε έναν παλμογράφο στο σημείο εκείνο του δέκτη όπου τα δεδομένα έχουν φιλτραριστεί και αποδιαμορφωθεί αλλά δεν έχουν αναγνωριστεί και μετατραπεί σε δυαδικά ψηφία. Τα σφάλματα στα bits είναι αποτέλεσμα λανθασμένων αποφάσεων του δέκτη για το αν το bit είναι '1' ή '0'.



Σχήμα 2.23 Ακολουθία bits λαμβανόμενου σήματος.

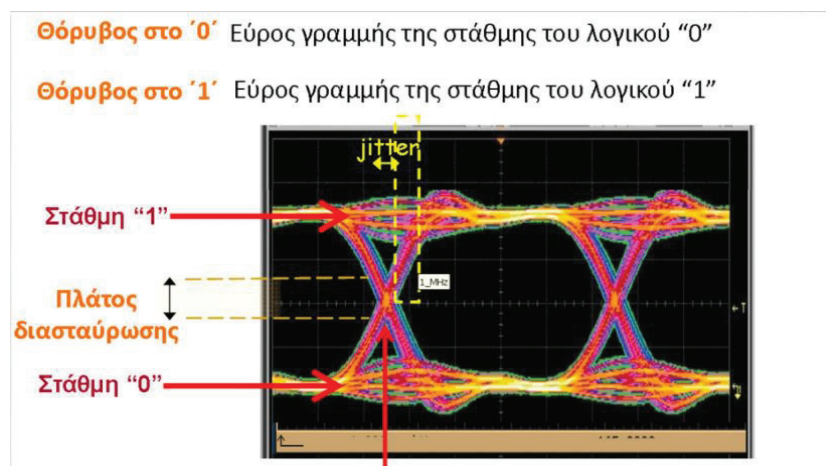
Ο παλμογράφος σκανδαλίζεται επαναληπτικά σε κάθε περίοδο συμβόλου ή σε καθορισμένο πολλαπλάσιο της περιόδου του συμβόλου, ανακτώντας το σήμα χρονισμού συμβόλων από τη λαμβανόμενη κυματομορφή. Βασιζόμενοι στην αδράνεια οπτικής απεικόνισης του παλμογράφου, το αποτέλεσμα είναι η υπέρθεση μιας επικαλυπτόμενης ακολουθίας συμβολικών καταστάσεων που οδηγεί στη σύνθεση του διαγράμματος οφθαλμού.



Σχήμα 2.24 Υπερτιθέμενα bits και δημιουργία διαγράμματος ματιού.

Τα διαγράμματα οφθαλμού αποτελούν ένα εξαιρετικό διαγνωστικό εργαλείο για την ανίχνευση αιτιών υποβάθμισης της ποιότητας μιας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης. Μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για την εξασθένηση και τη διασπορά.

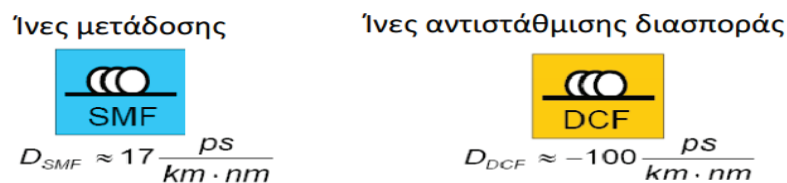
Όταν έχουμε μεγάλη διασπορά το μάτι δεν είναι ευανάγνωστο. Όσο μεγαλύτερο το μάτι όμως τόσο καλύτερη η ανίχνευση.



Σχήμα 2.25 Διάγραμμα οφθαλμού.

Μπορούμε να δούμε την εξασθένηση στο πάνω μέρος του οφθαλμού καθώς και τη διασπορά από την ένωση των οφθαλμών, καθώς επίσης και το άνοιγμα του "ματιού" είναι ενδεικτικό της ποιότητας του σήματος.

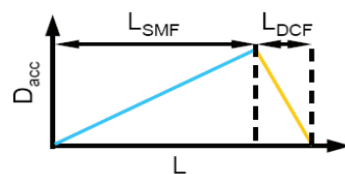
Η χρωματική διασπορά αποτελεί γραμμικό και ντετερμινιστικό φαινόμενο και επομένως μπορεί να αντιστραφεί. Η κυριότερη οπτική λύση που χρησιμοποιείται στα οπτικά συστήματα μετάδοσης είναι η χρήση ινών αντιστάθμισης διασποράς (DCF).



Σχήμα 2.26 Ίνα μετάδοσης και ίνα αντιστάθμισης.

Η DCF παρέχει εξουδετέρωση ανά ίνα, δηλαδή ότι κάθε ίνα είναι εφοδιασμένη με έναν παράγοντα αντίθετο με την ίνα. Μερικές φορές είναι αδύνατο να βρεθεί ένα κομμάτι DCF που να εξουδετερώνει ακριβώς τη χρωματική διασπορά που εισέρχεται στην ίνα. Αυτές οι επιδράσεις εισάγουν αυτό που είναι γνωστό ως υπόλοιπο (residual) χρωματικής διασποράς. Το υπόλοιπο χρωματικής διασποράς έχει να κάνει με τη συχνότητα του μήκους κύματος. Για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μπορεί να χρειάζεται στο δέκτη η δυναμική αντιστάθμιση διασποράς για να μπορέσει να εξαλείψει οποιοδήποτε υπόλοιπο διασποράς. Για την πλήρη αντιστάθμιση πρέπει

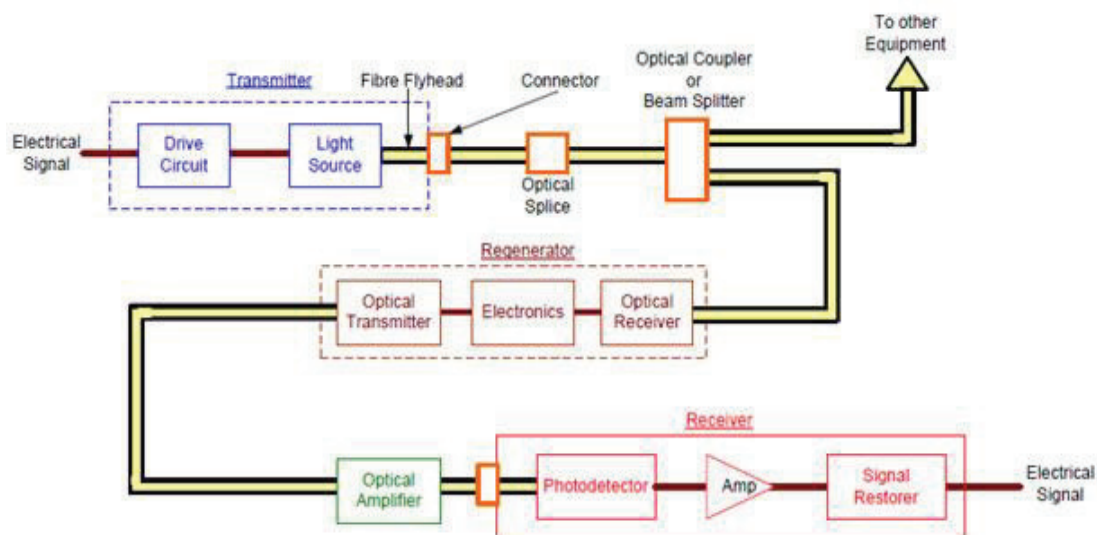
$$L_{SMF}D_{SMF} = -L_{DCF}D_{DCF}$$



Σχήμα 2.27 Αντιστάθμιση ίνας.

## 2.5 Στοιχεία οπτικού δικτύου

Τα οπτικά δίκτυα είναι δίκτυα τα οποία αποτελούνται από οπτικά στοιχεία όπως καλώδια, κοννέκτορες, πάνελ διανομής οπτικές πηγές φωτοανιχνευτές κ. α.



Σχήμα 2.28 Οπτικά επικοινωνιακό σύστημα.

### 2.5.1 Πηγές Φωτός και Ανιχνευτές

Οι πηγές φωτός και οι συσκευές φωτοανίχνευσης (Light Sources and Detectors) βρίσκονται στα άκρα ενός συστήματος οπτικής εκπομπής. Οι πηγές/πομποί οπτικών σημάτων

εξασφαλίζουν τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε παλμούς φωτός. Αυτό το πετυχαίνουμε με εξωτερική διαμόρφωση ενός συνεχούς οπτικού σήματος ή με τη χρήση κατάλληλης συσκευής που παράγει άμεσα διαμορφωμένους παλμούς φωτός.

Δύο είναι οι γενικοί τύποι συσκευών εκπομπής φωτός, οι δίοδοι φωτοεκπομπής (LED's) και οι δίοδοι ακτινών laser. Οι δίοδοι φωτοεκπομπής (LED's) αποτελούν συσκευές χαμηλών ταχυτήτων, κατάλληλες για εφαρμογές με ταχύτητες χαμηλότερες από 1 Gbps, ενώ παράγουν ακτινοβολία σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε πολύτροπες ινών. Οι laser (semiconductor lasers) διαθέτουν χαρακτηριστικά για μονότροπη οπτική ίνα.

Οι συσκευές φωτοανίχνευσης είναι διαθέσιμες σε δύο γενικούς τύπους, τις φωτοδιόδους PIN (Positive Intrinsic Negative) και τις φωτοδιόδους χιονοστιβάδας APD των LED's, μετατρέποντας τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρόνια. Τα πλεονεκτήματα των PIN φωτοδίοδων είναι ότι έχουν χαμηλό κόστος και είναι αξιόπιστοι, ενώ οι APD φωτοδιόδους έχουν μεγαλύτερο κόστος, υψηλότερη ακρίβεια αλλά και ευαισθησία.

### 2.5.2 Αναμεταδότες

Ο ρόλος των αναμεταδοτών (Transponders) είναι η δημιουργία οπτικών σημάτων συμβατών με την τεχνολογία WDM. Τα οπτικά σήματα που τροφοδοτούν τους αναμεταδότες προέρχονται από άλλα ινοοπτικά δίκτυα και δεν ικανοποιούν κατ' ανάγκη τις απαιτήσεις των συστημάτων WDM. Ο κάθε αναμεταδότης λαμβάνει ένα οπτικό σήμα, εξάγει (μέσω ηλεκτροοπτικής αποδιαμόρφωσης) το αντίστοιχο ψηφιακό σήμα πληροφορίας και με αυτό το σήμα ένα laser διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά, του οποίου είναι προκαθορισμένα και συμβατά με τις απαιτήσεις της τεχνολογίας WDM. Αυτό το laser είναι υψηλών επιδόσεων (DFB) και κατασκευασμένο έτσι ώστε να εκπέμπει σε μία από τις προκαθορισμένες (για τη ζεύξη WDM) περιοχές μήκους κύματος. Στις εξόδους των αναμεταδοτών, μπορούν να τοποθετηθούν εξασθενητές για να προσαρμόζεται η οπτική ισχύ στις απαιτήσεις του πολυπλέκτη και των οπτικών ενισχυτών.

### 2.5.3 Οπτικοί Ενισχυτές

Οι συσκευές ενίσχυσης οπτικού σήματος είναι απαραίτητες λόγω της εξασθένησης του σήματος. Η μόνη λύση που υπήρχε ήταν μέσω ηλεκτρικής αναγέννησης, δηλαδή να μετατραπεί το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, να ενισχυθεί, να μετατραπεί πάλι σε οπτικό και

μετά να μεταδοθεί όπου δεν βόλευε διότι απαιτούσε μία ξεχωριστή συσκευή (regenerator - αναγεννητή) για κάθε μήκος κύματος. Ενώ ο οπτικός ενισχυτής μπορεί και ενισχύσει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα. Έτσι, το κόστος τώρα είναι ανάλογο αλλά και επειδή είναι οπτικές συσκευές, είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλο και ρυθμό μετάδοσης. Είναι μικρές συσκευές και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ.

Οι οπτικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα συγκεκριμένο οπτικό ενισχυτή είναι το κέρδος, το κέρδος του εύρους ζώνης, η ισχύς του σήματος εξόδου και ο συντελεστής θορύβου.

Το κέρδος δηλώνει τη διαφορά σε dB της ισχύος του σήματος εισόδου με τη ισχύ του σήματος εξόδου. Κατά τον υπολογισμό του κέρδους υπολογίζονται και οι απώλειες από τον απομονωτή αλλά όχι από την κόλληση του ενισχυτή στη γραμμή μετάδοσης του συστήματος.

Στο κέρδος εύρους ζώνης η πιο σημαντική πληροφορία που παίρνουμε είναι η μέγιστη απόκλιση από το κέρδος του ενισχυτή μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα μηκών κύματος.

Όταν η ισχύς εισόδου ξεπερνά κάποια συγκεκριμένη τιμή, το κέρδος μειώνεται, λόγω φαινομένων κορεσμού. Ο ενισχυτής δεν είναι πια ενεργός και λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού καθώς είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το ποσό της ισχύος σήματος που μπορούμε να πάρουμε.

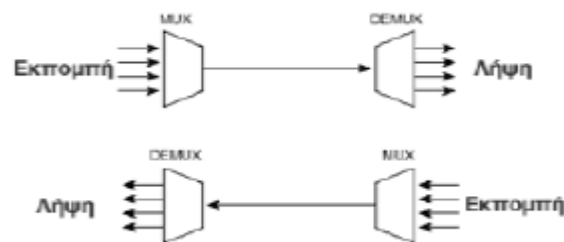
Ο συντελεστής θορύβου δίνει τη μεταβολή του θορύβου κατά μήκος της ίνας. Καθώς ο ενισχυτής εισάγει πάντα πρόσθετο θόρυβο, είναι αναμενόμενο ότι η ίνα δε μπορεί να βελτιώσει το SNR του σήματος. Μπορεί να δείχτεί ότι για υψηλό σήμα εισόδου, η μεγαλύτερη πηγή θορύβου προκύπτει από την αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας του ενισχυτή. Τότε  $N_f = 2n_{sp}$ , όπου  $n_{sp}$  είναι ο συντελεστής αυθόρμητης εκπομπής. Για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου, υπάρχει ένα βέλτιστο ζεύγος (μήκος ίνας, ισχύς άντλησης) για το οποίο ο συντελεστής θορύβου παίρνει την ελάχιστη τιμή του. Αυξάνοντας το μήκος της ίνας και την ισχύ άντλησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ASE (ενισχυμένη αυθόρμητη εκπομπή) προς την αντίθετη κατεύθυνση και τον κορεσμό του κέρδους στο μπροστινό μέρος όπου το σήμα είναι χαμηλό.

$$N_f = \frac{S/N_{without\ amplifier}}{S/N_{with\ amplifier}}$$

### 2.5.4 Οπτικοί Πολυπλέκτες - Αποπολυπλέκτες

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό των σημάτων (σημείο λήψης) αντίστοιχα.

Αυτές οι λειτουργίες τις περισσότερες φορές μπορούν να πραγματοποιηθούν σε μία συσκευή. Πολλές συσκευές πολύπλεξης–αποπολύπλεξης λειτουργούν χωρίς ρεύμα και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα μήκη κύματος του οπτικού σήματος. Τις περισσότερες φορές λειτουργούν κανονικά και όταν αντιστραφεί η φορά του οπτικού σήματος.



Σχήμα 2.29 Εκπομπή/λήψη σε διαφορετικές οπτικές ίνες.



Σχήμα 2.30 Εκπομπή/λήψη στην ίδια οπτική ίνα.

### 2.5.5 Συσκευές ενδοσύνδεσης

Οποιοσδήποτε μηχανισμός ή τεχνική που χρησιμοποιείται για να συνδεθεί μια οπτική ίνα ονομάζεται μηχανισμός ενδοσύνδεσης. Ο πιο κοινός μηχανισμός είναι οι συνδετήρας όπου είναι σοβαρές και αξιόπιστες συσκευές.

Οι συνδετήρες τρίτης γενιάς είναι τύποι ώθησης - απώθησης που έτσι επιτυγχάνεται να είναι γρηγορότερος ο χρόνο σύνδεσης και μειώνεται η εισαγόμενη απώλεια.



**Σχήμα 2.31** Οπτικοί συνδετήρες.

Μερικοί τύποι συνδετήρων είναι:

- Ευθύς άνευ επαφής (Air Gap/straight)

Τα άκρα των ινών είναι κάθετα μεταξύ τους και παρεμβάλλεται διάκενο αέρα. Από την κατασκευή υπάρχει ανάκλαση περίπου 4% ή απώλεια επιστροφής μόνο 14,6db και χρησιμοποιείται σε πολύτροπες ίνες.

- Φυσικής επαφής (Physical Contact/straight)

Τα άκρα των ινών είναι κάθετα μεταξύ τους και έχουν φυσική επαφή και ονομάζονται "PC" πχ. FC/PC, SC/PC. Παρουσιάζουν απώλεια επιστροφής >30db που είναι ικανοποιητική για ζεύξεις μονότροπων ινών.

- Γωνιακής επαφής (Angle Physical Contact)

Τα άκρα των ινών παρουσιάζουν γωνία  $8^{\circ}$  από την κατακόρυφη και έχουν φυσική επαφή. Αυτοί οι συνδετήρες έχουν πολύ υψηλές τιμές απώλειας επιστροφής που μπορούν να υπερβούν τα 60db και ονομάζονται "APC" και είναι FC/APC, SC/APC, DIN/APC. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας και σε ζεύξεις καλωδιακής τηλεόρασης.

## Κεφάλαιο 3 - Ανάλυση Δικτύων FTTx

Η χρήση οπτικής ίνας στην κατασκευή δικτύων πρόσβασης μας δίνει τη δυνατότητα για γρήγορη παροχή υπηρεσιών όπως τηλεφωνία και video, παρέχει μειωμένα κόστη που οδηγούν σε οικονομικά υλοποιήσιμα δίκτυα καθώς επίσης υπάρχει καλύτερος ανταγωνισμός στην αγορά (λόγω της κατάργησης μονοπωλίων).

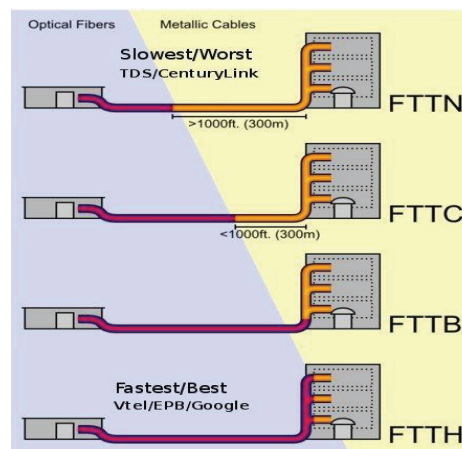
Τα FTTx δίκτυα παρέχουν πρόσβαση σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες ουσιαστικά ο όρος Fiber to the X είναι ένας γενικός όρος ο οποίος αναφέρεται σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική δικτύου χρησιμοποιεί οπτική ίνα για να αντικαταστήσει, μέρος ή όλο το μεταλλικό κύκλωμα που χρησιμοποιούνταν στο τελευταίο στάδιο του δικτύου έως το χρήστη (last mile telecommunication). Με τον όρο x στο FTTx δίκτυο προσδιορίζουμε την τοποθεσία που καταλήγει το άκρο της οπτικής ίνας. Το σημείο αυτό αποτελεί την οπτικοηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται μέσα στην Οπτική Μονάδα Δικτύου (ONU). Ο όρος FTTx συμπεριλαμβάνει τις τεχνολογίες FTTH, FTTB, FTTN, FTTC.

FTTN, fiber to the node/neighborhood, χρήση οπτικής ίνας μέχρι το καφάο της γειτονιάς.

FTTC, fiber to the curb, ίνα μέχρι έξω από το κτίριο (στο πεζοδρόμιο).

FTTH, fiber to the home, η ίνα να φτάνει μέχρι να τροφοδοτήσει εξοπλισμό μέσα στο σπίτι του χρήστη.

FTTB, fiber to the building, τροφοδότηση του κτιρίου με ίνα.



Σχήμα 3.1 Συνδυασμός οπτικής ίνας και χαλκού σε τεχνολογία FTTx.



### 3.1 Διαφορές των FTTx

Η τεχνολογία που κάνει χρήση οπτικής ίνας μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου πρόσβασης ονομάζεται FTTx (Fiber To The x). Με το σημείο “x” μπορεί να αναφερόμαστε στη γειτονιά ή στο κράσπεδο του πεζοδρομίου οπότε έχουμε αντίστοιχα FTTN (Fiber To The Neighborhood) και FTTC (Fiber To The Curb), στο κτίριο άρα έχουμε την περίπτωση FTTB (Fiber To The Building), ή στο σπίτι με το FTTH (Fiber To The Home). Όλα τα FTTx δίκτυα βασίζονται στις αρχές των PONs (Passive Optical Networks). Το PON βοηθάει στην κατανομή των πόρων με την προϋπόθεση ότι οι χρήστες δεν χρησιμοποιούν μεγάλο όγκο δεδομένων.

Οι τεχνολογίες αυτές όμως έχουν κάποιες εμφανείς διαφορές που τις κάνουν άλλωστε πιο εφικτές και άλλωστε πιο ανέφικτες. Οι διαφορές αυτές είναι λειτουργικές διαφορές της κάθε τεχνολογίας αλλά και κοστολογικές διαφορές για την δημιουργία και χρήση της κάθε μίας αντίστοιχα.

#### 3.1.1 Λειτουργικές διαφορές

##### **Fiber to the node/neighborhood**

FTTN όπου είναι μία αρχιτεκτονική δικτύου τηλεπικοινωνιών που βασίζεται σε καλώδια οπτικών ινών και εξυπηρετούν μία γειτονιά. Η ίνα τερματίζεται σε μια υπαίθρια καμπίνα, που μπορεί να έχει μεγάλη απόσταση από τις κεντρικές εγκατάστασης. Από την καμπίνα μέχρι και την οικία του συνδρομητή το δίκτυο παραμένει χάλκινο.

##### **Fiber to the curb**

FTTC είναι η «ίνα μέχρι την καμπίνα», και αποτελεί υποπερίπτωση του FTTN όπου η οπτική ίνα χρησιμοποιείται μέχρι μία υπαίθρια καμπίνα ONU, που είναι τοποθετημένη στο πεζοδρόμιο και χρησιμοποιεί χάλκινα καλώδια προς τον πελάτη για τα τελευταία 300 μέτρα. Δίνει τη δυνατότητα για ευρυζωνικές υπηρεσίες και γρήγορο internet.

##### **Fiber to the building**

FTTB είναι η ίνα που τερματίζει σε κατάλληλο χώρο κοντά στην είσοδο κτιρίων ONT και από εκεί χρησιμοποιείται η εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου όπου ταυτόχρονα παρέχει και την ηλεκτρική τροφοδοσία.

### **Fiber to the home**

FTTH είναι το οπτικό δίκτυο που φτάνει έως το χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη, δηλαδή που χρησιμοποιεί οπτικό μέσο σε όλη τη διάρκεια χωρίς να υπάρχει χαλκός. Λόγω του ότι χρησιμοποιεί 100% οπτική ίνα, μπορεί να πετύχει πάρα πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων αφού σε όλες τις αρχιτεκτονικές εκτός της FTTH, χρησιμοποιείται ως υλικό ο χαλκός, ο οποίος περιορίζει τις δυνατότητες του δικτύου. Εμφανές είναι το μεγάλο εύρος ζώνης που διαθέτει, το οποίο ξεπερνά τα 10 THz καθώς έχει μηδενικές παρεμβολές από γειτονικές πηγές αλλά και ελάχιστες απώλειες κατά την μετάδοση αφού . Θα λέγαμε ότι παρέχει μεγάλη ασφάλεια σήματος. Η ίνα τερματίζεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο κοντά στην είσοδο του κτιρίου και είναι προστατευμένη από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές επιδράσεις ενώ παρέχεται ηλεκτρική τροφοδοσία από το κτίριο.

### **3.1.2 Διαφορές στο κόστος κατασκευής**

#### **Fiber to the node/neighborhood**

Η τεχνική FTTN φαίνεται σαν οικονομικότερη επιλογή διότι αντικαθιστά με οπτική ίνα μόνο το κύριο δίκτυο, αφού χρησιμοποιεί όλο το υπάρχον απερχόμενο δίκτυο με τον χαλκό. Πρέπει όμως να προσθέσουμε στο κόστος και τους παράγοντες για την εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού, δηλαδή ενός μικρού ψηφιακού κέντρου στο εσωτερικό της ONU, επιβαρύνοντας έτσι την επιλογή της FTTN. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι κατάλληλες καμπίνες εξωτερικού χώρου για πλήρη προστασία, η απαίτηση για ηλεκτρική τροφοδοσία καθώς και η ανάγκη για συντήρηση των εξωτερικών μονάδων.

#### **Fiber to the curb**

Η τεχνική FTTC φαίνεται να είναι οικονομική αφού χρησιμοποιεί μικρό τμήμα από το υπάρχον δίκτυο. Αλλά το τμήμα του χάλκινου δικτύου φαίνεται να είναι μικρότερο από την τεχνική του FTTN αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μικρό τμήμα έως 300 μέτρα. Άρα μεγάλο τμήμα από το υπάρχον δίκτυο δεν χρησιμοποιείται και είναι ανεκμετάλλευτο. Καθώς επίσης υπολογίζουμε και τους παράγοντες για την εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού.

### Fiber to the building

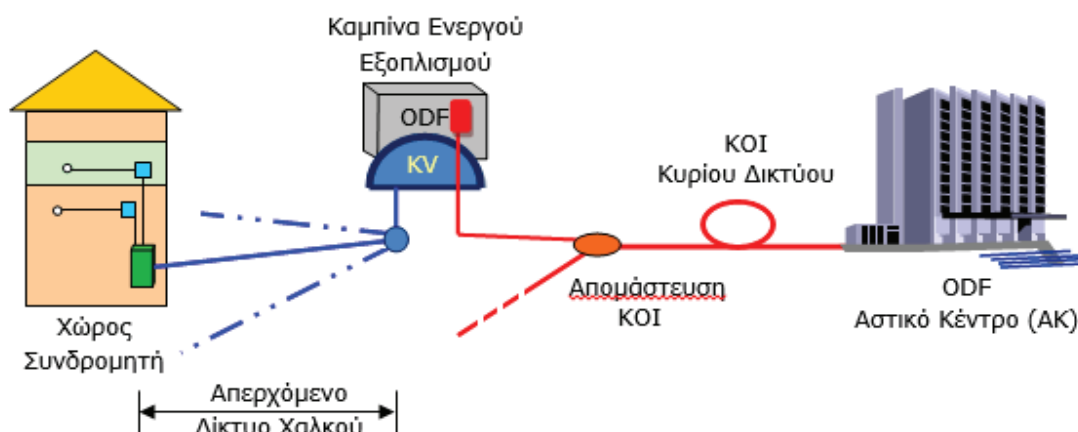
Η τεχνική FTTB φαίνεται να είναι συνολικά οικονομικότερη αφού οι παράγοντες για την εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού πλέον μειώνονται, αφού είναι προστατευμένη από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές επιδράσεις ενώ παρέχεται ηλεκτρική τροφοδοσία από το κτίριο.

### Fiber to the home

Η τεχνική FTTH είναι, και απ' ό τι φαίνεται θα παραμείνει, ιδιαίτερα ακριβή. Βασικότερο ίσως μειονέκτημα είναι η ύπαρξη της εγκατάστασης χαλκού στη συντριπτική πλειοψηφία των κατασκευασμένων κτιρίων, όπου το κόστος της αλλαγής της δικτυακής υποδομής και η τοποθέτηση οπτικών ινών θα είναι πολύ μεγάλο. Γι' αυτό το εύρος ζώνης της σύνδεσης θα περιορίζεται πάντα από τον περιορισμό της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Αλλά υπάρχει και το αυξανόμενο κόστος του εξοπλισμού που θα συνοδεύει την εγκατάσταση οπτικών ινών, αφού αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους εγκατάστασης.

## 3.2 Οπτικές υποδομές FTTN και FTTC

Με τις καινοτόμες υποδομές FTTN (Fiber To The Neighborhood) και FTTC (Fiber To The Curb) αναπτύχθηκε, για την εκμετάλλευσή τους, η τεχνολογία VDSL. Αναφερόμαστε σε μία υποδομή που στόχο έχει να εξοπλίσει με οπτικές ίνες υψηλής χωρητικότητας τις γειτονιές χρηστών, ώστε να μεταδίδουν σήματα σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς σφάλματα.



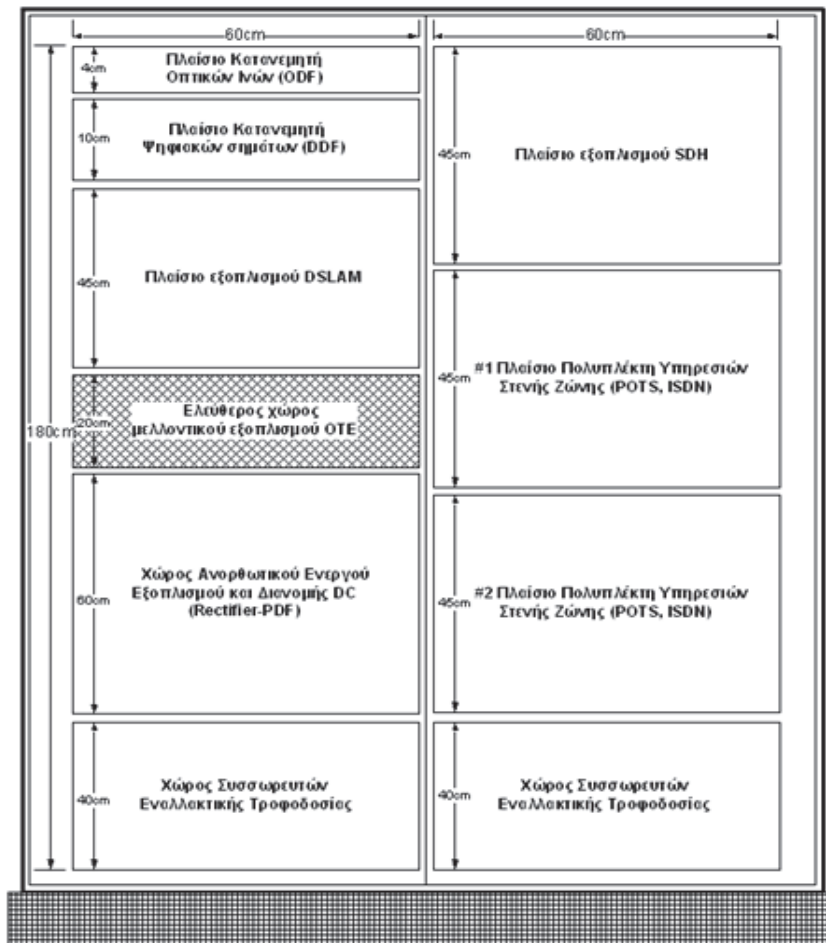
**Σχήμα 3.2** Σχηματική απεικόνιση δικτύου FTTC και FTTN με υπαίθρια καμπίνα ενεργού εξοπλισμού σε θέση υφιστάμενου KV.

Η ανάπτυξη ενός δικτύου FTTC και FTTN προϋποθέτει την εγκατάσταση υπαίθριας καμπίνας για τη στέγαση του ενεργού εξοπλισμού. Η καμπίνα πρέπει να έχει το σωστό μέγεθος ώστε να προστατεύει τον ενεργό εξοπλισμό από το εξωτερικό περιβάλλον όπου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι κλιματικές συνθήκες περιβάλλοντος (θερμότητα, ψύχος, υγρασία, σκόνη κλπ) όσο και η πιθανότητα μηχανικών καταπονήσεων (ατυχήματα, βανδαλισμός κλπ), εξασφαλίζοντας έτσι τη σωστή λειτουργία. Ο ενεργός εξοπλισμός, θα πρέπει να καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις του συνόλου των συνδρομητών σε υπηρεσίες POTS, VoIP, ISDN, DSL (Fast Internet, IPTV, VoD), μισθωμένα κυκλώματα κλπ.

Η σωστή διαρρύθμιση που πρέπει να έχει μια υπαίθρια καμπίνα ώστε να στεγάσει αυτή την τεχνολογία πρέπει να έχει ενεργό εξοπλισμό, όπου θα παρέχει πολυπλέκτη TDM για παροχή POTS και ISDN καθώς και DSLAM για παροχή xDSL, αλλά πιθανώς σε ορισμένες περιπτώσεις να υπάρχει ενιαίο πλαίσιο γνωστό ως MSAN, που εξοικονομεί χώρο και ισχύ λειτουργίας και παρέχει υπηρεσίες στενής και ευρείας ζώνης. Σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει και η εγκατάσταση ενός μεταγωγέα Ethernet για την συγκέντρωση κίνησης από DSLAM που παρέχονται σε πελάτες FTTB/H.

Βέβαια χρειάζεται να υπάρχει και ο εξοπλισμός μετάδοσης για όλα τα είδη πλαισίων. Για τα πλαίσια DSLAM και MSAN, μεταγωγέα ή ONU/ONT υπάρχει συνήθως σύνδεση Ethernet προς τον μεταγωγέα πρόσβασης ενώ για τους πολυπλέκτες TDM υπάρχει σύνδεση στο αστικό κέντρο με NxE1 σε κεντρική μονάδα OLT, αλλά για να συνδεθούν χρειάζεται να υπάρχει στην καμπίνα οπτικό modem widelink.

Η μονάδα ηλεκτρικής τροφοδοσίας, κατάλληλης ισχύος, είναι επίσης σημαντικό κομμάτι για την λειτουργία του ενεργού εξοπλισμού. Η επιλογή τοπικής ή απομακρυσμένης τροφοδοσίας έχει να κάνει από τις απαιτήσεις ισχύος του ενεργού εξοπλισμού, το κόστος, την διαθεσιμότητα και τους περιορισμούς ασφαλείας κάθε χώρας. Στο εσωτερικό της καμπίνας τοποθετείται επίσης πλαίσιο κατανεμητή ισχύος PDU με διακόπτες ασφαλείας για να συνδεθεί ο ενεργός εξοπλισμός με την ηλεκτρική τροφοδοσία.

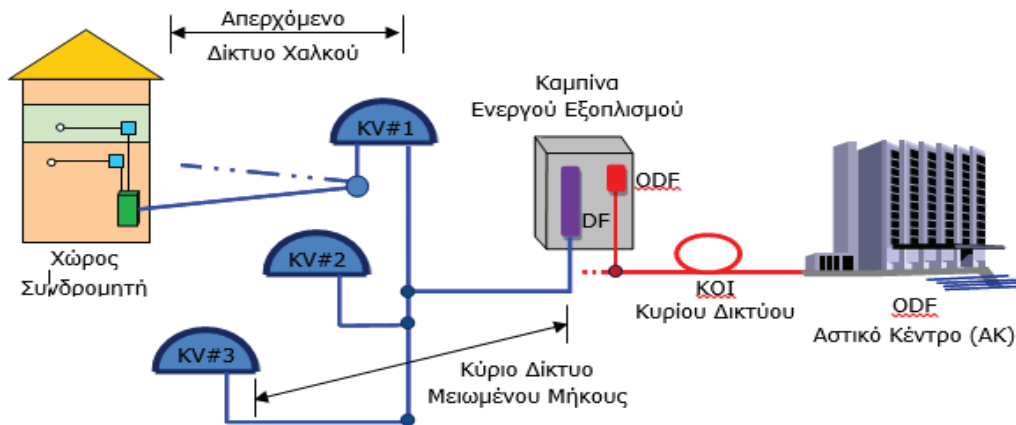


Σχήμα 3.3 Απεικόνιση κεντρικού διαμερίσματος καμπίνας τυπικής διάταξης.

Αντίστοιχα πάλι, το πλαίσιο του τοπικού κατανομητή καλωδίων (LDF) συνεχίζει να χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών (ευρείας και στενής ζώνης), μέσω του υπάρχον χάλκινου δικτύου διανομής για λόγους οικονομίας, αφού δεν χρειάζεται γεφύρωση του υπάρχον δικτύου διανομής στην καμπίνα αλλά απλά την ενσωμάτωσή του στη δομή της καμπίνας.

Απαιτείται ακόμη το πλαίσιο οπτικού κατανομητή (ODF) όπου θα τερματίζονται τα καλώδια οπτικών ινών, που ξεκινούν από αστικό κέντρο αλλά και μονάδα που θα ελέγχει τη θερμοκρασία του ενεργού εξοπλισμού. Καθώς επίσης σημαντικό είναι και ένα ενοποιημένο σύστημα διαχείρισης όπου ελέγχει τις συνθήκες λειτουργίας της καμπίνας.

Στην ανάπτυξη των NGA δικτύων υπάρχει πιθανότητα να υλοποιούνται περισσότερες υπηρεσίες σε μία καμπίνα, ομαδοποιώντας περισσότερα από ένα KV με έναν ενεργό εξοπλισμό εξοικονομώντας έτσι την ανάπτυξη περισσότερων καμπίνων.



**Σχήμα 3.4** Σχηματική απεικόνιση δικτύου FTTC και FTTN με υπαίθρια καμπίνα που εξυπηρετεί περισσότερα από ένα KV.

Βέβαια σε αυτή την διαφορετική προσέγγιση θα υπάρχουν κάποιες μικρές εναλλαγές στη διαρρύθμιση για τη σωστή λειτουργία της καμπίνας. Μερικές από αυτές τις αλλαγές είναι η χωρητικότητα της καμπίνας, καθώς έχει να στεγάσει τον αυξημένου μεγέθους εξοπλισμό, την μεγαλύτερη ισχύ κατανάλωσης που απαιτείται για την τροφοδοσία του ενεργού εξοπλισμού αλλά και σύνδεση που πρέπει να γίνει των δικτύων διανομής των ομαδοποιημένων KV με την υπαίθρια καμπίνα.

Οι πολλές καμπίνες με ενεργό εξοπλισμό όμως έχουν επίπτωση στο λειτουργικό κόστος (OPEX), για την παροχή υπηρεσιών αλλά και για την συντήρηση του εξοπλισμού.

### 3.3 Τοπολογία διακλάδωσης ινών

Οι οπτικές ίνες είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει πολλά δεδομένα με υψηλό ρυθμό. Ο συνδυασμός υποδομών οπτικών ινών με άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες είναι κάτι λογικό με τα δεδομένα αυτά, όπου η υποδομή οπτικών ινών δημιουργείται και φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης για να φτάσει το δίκτυο μέχρι το χώρο του χρήστη.

Το Μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών (MAN), σημειώνεται ότι αποτελείται από τρία επίπεδα : το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης.

Το δίκτυο κορμού αποτελείται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους. Το δίκτυο διανομής, παρέχει Point-To-Multipoint μεταξύ των κυρίων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Στους κόμβους διανομής μπορεί να τοποθετηθεί ενεργός ή παθητικός

εξοπλισμός για το διαχωρισμό του σήματος, δηλαδή Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (AON, Active Optical Network) ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (PON, Passive Optical Network).

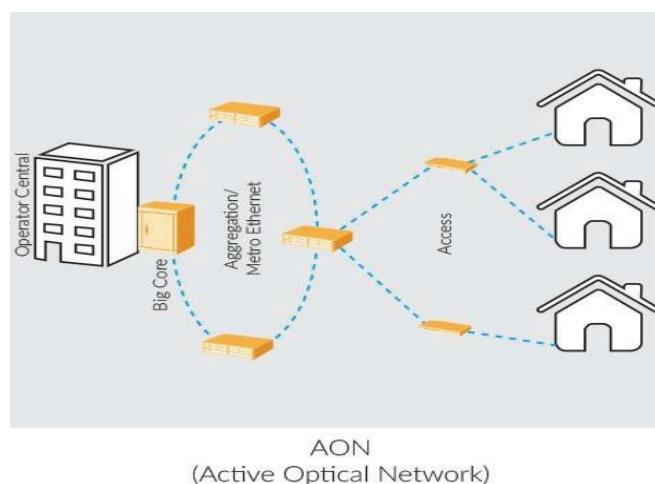
Και το δίκτυο πρόσβασης, διανέμει το οπτικό σήμα ή αποτελεί τον οπτικό τερματισμό του, που δηλαδή το οπτικό σήμα πλέον γίνεται ηλεκτρικό και μεταφέρεται στο δίκτυο του χαλκού ή ακόμη και να παραμείνει οπτικό και να μεταφέρεται στην ίνα, μέχρι να φτάσει στο χρήστη.

Η τοπολογία που θα επιλεγεί (Point-To-Point ή Point-To-Multipoint) και η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για τη διακλάδωση των ινών (PON ή AON) επηρεάζουν σημαντικά τη δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών συμμετρικής ή ασύμμετρης κίνησης.

### 3.3.1 Active Optical Network (AON)

Στους κόμβους διανομής η τεχνολογία AON χρησιμοποιεί διατάξεις ενεργού εξοπλισμού δηλαδή εξοπλισμό που χρειάζεται ηλεκτρική τροφοδοσία και εκτελεί εργασίες δρομολόγησης δεδομένων. Με αυτό τον εξοπλισμό το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μετά πάλι σε οπτικό, επιτυγχάνοντας έτσι την εξάλειψη της εξασθένησης που πιθανώς υπάρχει στο οπτικό σήμα.

Με την AON μπορεί και επιτυγχάνεται, με τον κατάλληλο εξοπλισμό, οπτικός δακτύλιος που μπορεί να προστατέψει το δίκτυο από τυχόν βλάβη στη μία διαδρομή, δίνοντάς του τη δυνατότητα να προωθηθεί στην άλλη διαδρομή του οπτικού δακτυλίου και να μην υπάρξει πρόβλημα στην μεταφορά των δεδομένων.



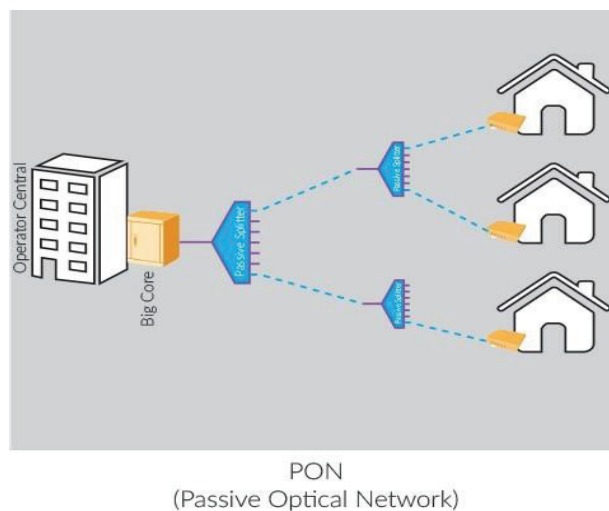
**Σχήμα 3.5** Δίκτυο AON.

### 3.3.2 Passive Optical Network (PON)

Στους κόμβους διανομής η τεχνολογία PON χρησιμοποιεί διατάξεις παθητικού εξοπλισμού που δηλαδή κάνουν χρήση διαχωριστών για να επιτυγχάνεται η πολλαπλή μετάδοση του σήματος αντίστοιχα σε πολλές οπτικές μονάδες δικτύου. Ένας OLT ( Optical Line Termination ) στο γραφείο του φορέα και μία ONU πλησίον των χρηστών, είναι ο εξοπλισμός που απαιτείται. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται εξοπλισμός κύριου καταναμητή καθώς και οπτικής ίνας, που χρησιμοποιούν p2p συνδέσεις.

Η τοπολογία που χρησιμοποιούνται στα PON είναι του δέντρου, όπου καλύπτει μεγαλύτερο μέρος με τη βοήθεια διαχωριστών και μικραίνει η απώλεια στην οπτική ισχύ χωρίς να έχει ενισχυτή ή αναγεννητή.

Η διαφορά της τεχνολογίας AON από την PON βρίσκεται κατά κύριο λόγο στον τρόπο υλοποίησης της διάταξης που γίνεται ο τερματισμός του δικτύου διανομής και απ' όπου ξεκινούν οι υψηλού εύρους ζώνης συνδέσεις και φτάνουν μέχρι το συνδρομητή.



**Σχήμα 3.6** Δίκτυο PON.

Άρα για την AON χρησιμοποιείται ενεργός εξοπλισμός στα σημεία που διακλαδώνονται οι οπτικές ίνες, δηλαδή ένας δρομολογητής (Router) ή ένας διακόπτης δικτύου (Switch). Και για την PON χρησιμοποιείται παθητικός εξοπλισμός στα σημεία διακλάδωσης, όπως οπτικοί διαχωριστές.

Πέρα από την απλή έκδοση PON υπάρχουν και άλλες τυποποιημένες εκδόσεις όπως η Ethernet PON (EPON), η ATM PON και Broadband PON (APON - BPON), και Gigabit PON (GPON). Οι τυποποιημένες αυτές εκδόσεις χρησιμοποιούν δύο μήκη κύματος, όπου μοιράζονται χρονικά μεταξύ των χρηστών με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDMA -



PONs). Για μετάδοση αναλογικής τηλεόρασης (RF) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ελάχιστες περιπτώσεις ένα τρίτο μήκος κύματος καθώς επίσης μπορούμε να επιτύχουμε αύξηση της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου που θέλουμε χρησιμοποιώντας στα PON πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM).

### **BPON και GPON**

Λόγω της ATM - ενθυλάκωσης ονομάστηκε ATM PON (APON) αλλά στη συνέχεια μετονομάστηκε σε Broadband PON (BPON) με ταχύτητα 622 Mbit/s προς τα κάτω και 155 Mbit/s προς τα πάνω. Καθώς όλο αυτό δεν ήταν το κατάλληλο για τη λειτουργία που χρειαζόταν, λόγω το ότι χρειαζόταν ένα πιο ευέλικτο πρότυπο, έτσι δημιουργήθηκε το GPON (Gigabit PON) όπου κάνει χρήση του πρωτοκόλλου Generic Framic Protocol. Δίνει προτεραιότητα σε δεδομένα που είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση (φωνή, βίντεο) ενώ τα υπόλοιπα ενεργούν με Quality of Service (QoS) καθώς χρησιμοποιεί πακέτα με μεγαλύτερο μεταβλητό μήκος.

### **EPON**

Στην προσπάθεια απλούστερης και πιο φτηνής τεχνολογίας έκαναν χρήση της Ethernet υποδομής, αλλά με πρόβλημα στις υπηρεσίες σταθερού ρυθμού και στην πολυπλεξία TDM, αφού η συγκεκριμένη υποδομή είναι κατασκευασμένη για εκρηκτικού ρυθμού υπηρεσίες.

### **WDM - PON**

Ο ακριβός εξοπλισμός, η μεγάλη απόσταση δίκτυα αλλά και το κόσμος που μοιράζεται σε μικρό πλήθος χρηστών, είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του WDM - PON. Βέβαια όμως οι υπηρεσίες που παρέχουν είναι υψηλότερης ποιότητας από της TDM - PON.

### **Υβριδικά TDM/WDM - PONs**

Παρέχουν μια ομαλή μετάβαση από τις υλοποιήσεις TDM στις WDM-PON. Αυτό επιτυγχάνεται με συγκρίσιμο εύρος ζώνης με το WDM - PON και με μικρό κόστος, καταργώντας τα laser στο χώρο των συνδρομητών και τοποθετώντας τους στους κύριους καταναμητές, έτσι η εγκατάσταση γίνεται πολύ πιο φθηνή αφού μειώνονται συσκευές που πρέπει να τοποθετηθούν στο σύστημα.

---

## Κεφάλαιο 4 - Επιχειρηματικά Μοντέλα

---

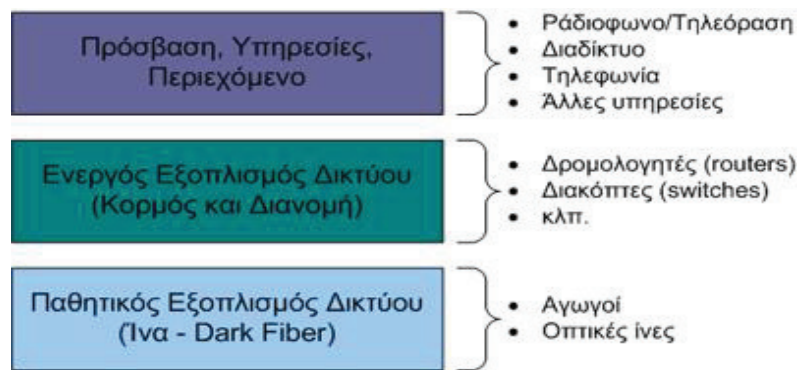
Η επιλογή του μοντέλου απέναντι σε ένα άλλο έχει να κάνει από το πόσο εμπλέκεται στη λειτουργία του δικτύου και ύστερα στην κατασκευή. Όσο η διαφορά βέβαια δεν είναι υψηλή και όσο πιο πολύ εμπλέκεται, τόσο περισσότερο κατασκευαστικό έργο επιτυγχάνεται. Η διαφορά είναι στην λειτουργία και στην διαχείριση του δικτύου. Η εμπειρία είναι ο παράγοντας που χρειάζεται για να εμπλακεί κανείς, καθώς με τον τρόπο αυτό εμφανίζονται πιο πολλά διαχειριστικά και λειτουργικά θέματα. Το επιχειρηματικό μοντέλο έχει ως στόχο να εξασφαλίσει την βιωσιμότητα της μητροπολιτικής κοινότητας που ανήκει το αντίστοιχο οπτικό δίκτυο και να εξασφαλίσει τους πόρους για τη διατήρηση και επέκτασή του, καθώς στόχος του είναι να προωθήσει τον ανταγωνισμό για την προσφορά καλύτερων και φθηνότερων υπηρεσιών προς τον πολίτη.

Αναθέτοντας διαφορετικούς αρμοδίους σε κάθε ένα από τα επίπεδα του επιχειρηματικού μοντέλου αναπτύσσονται διάφορα σενάρια επιχειρηματικών μοντέλων που δείχνουν το πώς οι δημόσιοι οργανισμοί και οι πάροχοι υποδομών, εξοπλισμού και υπηρεσιών μπορούν να συνεργαστούν προς όφελος του καταναλωτή.

### 4.1 Επίπεδα Επιχειρηματικών Μοντέλων

Τρία είναι τα βασικά επίπεδα ενός επιχειρηματικού μοντέλου.

- Το πρώτο επίπεδο καθορίζει το ποιος (ιδιωτική ή δημόσια επιχείρηση, κ.λπ.) εκμεταλλεύεται το δίκτυο του παθητικού εξοπλισμού (κανάλια, οπτικές ίνες, κ.λπ.).
- Το δεύτερο επίπεδο καθορίζει ποιος παρέχει και εκμεταλλεύεται τον ενεργό εξοπλισμό του δικτύου (routers κ.λπ.).
- Το τρίτο επίπεδο καθορίζει το ποιος προσφέρει πρόσβαση στο δίκτυο, στις υπηρεσίες και στο περιεχόμενο.



**Σχήμα 4.1** Βασικά επίπεδα ενός επιχειρηματικού μοντέλου.

## 4.2 Διαχείριση Παθητικών Υποδομών

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές λύσεις σχετικά με το ποιος θα διαχειριστεί, τη διατήρηση, την αξιοποίηση και την επέκταση των παθητικών υποδομών:

1. Δημοτικές επιχειρήσεις (όπου το επιχειρηματικό μοντέλο θα εφαρμοστεί σε επίπεδο Δήμου / Κοινότητας).
2. Επιχειρήσεις ανά περιφέρεια (όπου το επιχειρηματικό μοντέλο θα εφαρμοστεί σε επίπεδο περιφέρειας).
3. Κρατική επιχείρηση (όταν το επιχειρηματικό μοντέλο εφαρμοστεί σε ολόκληρη τη χώρα).

### 4.2.1 Επίπεδο Δήμου

Στο συγκεκριμένο επίπεδο ο Δήμος της κάθε περιοχής είναι υπεύθυνος για την δημιουργία, την εκμετάλλευση, την συντήρηση και την επέκταση των ευρυζωνικών υποδομών. Μετά το σχεδιασμό και την υλοποίηση των αντίστοιχων υποδομών στον κάθε Δήμο, θα ξεκινήσει η επέκταση του δικτύου ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερες γεωγραφικές εκτάσεις και πληθυσμούς εντός οικονομικών ορίων.

Ένα βιώσιμο επιχειρηματικό μοντέλο για την δημιουργία και εκμετάλλευση ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών σε επίπεδο Δήμων θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Στο πρώτο επίπεδο μια δημοτική επιχείρηση κοινής ωφέλειας θα διαχειρίζεται τον παθητικό εξοπλισμό του δικτύου, καθώς θα έχει ευθύνη για τη συντήρηση, επέκταση και την εκμετάλλευσή του.
- Στο δεύτερο επίπεδο οι ιδιωτικές επιχειρήσεις και τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι και λίγο η ΔΕΕ ΑΕ, δηλαδή ως Δημόσια - Ιδιωτική Κοινοπραξία αναλαμβάνει

τον ενεργό εξοπλισμό του δικτύου και θα πουλά εύρος ζώνης στους παρόχους υπηρεσιών.

- Στο τρίτο επίπεδο δραστηριοποιούνται πολλοί πάροχοι υπηρεσιών που ανταγωνίζονται, προσφέροντας ανεξάρτητα ευρυζωνικές υπηρεσίες στους χρήστες.



**Σχήμα 4.2** Επιχειρηματικό μοντέλο σε επίπεδο Δήμου.

Η διαχείριση όμως του υπάρχοντος ενεργού εξοπλισμού είναι ευθύνη της ΔΕΕ Α.Ε. όπου μπορεί αναθέτει σε φορέα τη διαχείριση λόγω μη εξειδικευμένου προσωπικού της ίδιας.

Μειονέκτημα της λύσης αυτής είναι η δυσκολία των επιμέρους δημοτικών δικτύων για διασύνδεση. Ο κάθε Δήμος είναι υπεύθυνος για το δικό του δίκτυο με αποτέλεσμα να μην ακολουθούν την ίδια πολιτική για όλα τα δημοτικά δίκτυα στη χώρα άρα δεν θα υπάρξει κανένας σχεδιασμός για τη διασύνδεσή τους αλλά ούτε και μέριμνα για διασύνδεση με άλλα ευρυζωνικά δίκτυα. Καθώς ακόμη οι μη ανταγωνιστικοί δήμοι μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα στην απόσβεση του έργου έως και το μοντέλο να εξελιχθεί σε μη βιώσιμο.

#### 4.2.2 Επίπεδο Περιφέρειας

Στο συγκεκριμένο επίπεδο η Περιφέρεια της κάθε περιοχής είναι υπεύθυνος για την εκμετάλλευση, την συντήρηση και την επέκταση των ευρυζωνικών υποδομών όπου θα πρέπει να συσταθεί μια εταιρεία, που σκοπό θα έχει την επέκταση των επιμέρους δημοτικών δικτύων, εντός των ορίων των δήμων της Περιφέρειας, τη διασύνδεση των δημοτικών δικτύων μεταξύ τους καθώς και τη διασύνδεση των δικτύων με άλλα ευρυζωνικά δίκτυα. Στο συγκεκριμένο επίπεδο είναι επιθυμητό να γίνεται χρήση MANs και όχι του κυρίαρχου

δικτύου του παρόχου, και με αυτό τον τρόπο τα τοπικά δίκτυα διατηρούν την αυτονομία τους.

Στο παρόν έργο εντάσσονται και απομακρυσμένες περιοχές με δύσκολη μορφολογία με αποτέλεσμα οικονομικά ασύμφορο το οπτικό δίκτυο. Για την περίπτωση αυτή μία λύση μπορεί να αποτελέσει η ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία

Το επιχειρηματικό μοντέλο για την επέκταση και εκμετάλλευση ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών σε επίπεδο Περιφέρειας θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Στο πρώτο επίπεδο μια περιφερειακή εταιρεία κοινής ωφέλειας θα έχει ευθύνη για την υλοποίηση, τη συντήρηση, την επέκταση και την εκμετάλλευσή του παθητικού εξοπλισμού.
- Στο δεύτερο επίπεδο οι πάροχοι που εκμισθώνουν το παθητικό τμήμα του δικτύου τοποθετούν το δικό τους ενεργό εξοπλισμό και πουλούν ύστερα εύρος ζώνης σε παρόχους υπηρεσιών.
- Στο τρίτο επίπεδο ανταγωνίζονται μεταξύ τους πολλοί πάροχοι υπηρεσιών που προσφέρουν τις ευρυζωνικές υπηρεσίες τους στους χρήστες.



**Σχήμα 4.3** Επιχειρηματικό μοντέλο σε επίπεδο Περιφέρειας.

Αυτή η λύση είναι καλύτερη από την άλλη στο ότι μπορεί να σχεδιαστεί η διασύνδεση των δικτύων στην περιφέρεια, παρόλα αυτά το πρόβλημα μεταξύ των περιφερειών συνεχίζει να υπάρχει αφού κάθε περιφέρεια εφαρμόζει τη δική της στρατηγική ανάπτυξης και εκμετάλλευσης.

### 4.2.3 Κρατικό Επίπεδο

Στο επίπεδο αυτό μία κρατική εταιρεία αναλαμβάνει την εκμετάλλευση, συντήρηση και επέκταση των ευρυζωνικών υποδομών σε κρατικό επίπεδο. Η εταιρεία αυτή θα εξετάζει και θα υλοποιεί την επέκταση των δικτύων για αύξηση των χρηστών, την διασύνδεση των δικτύων σε κρατικό επίπεδο και τη διασύνδεση των δικτύων με άλλα ευρυζωνικά δίκτυα. Στο κρατικό επίπεδο όπως και στο επίπεδο Δήμου, είναι επιθυμητό να γίνεται χρήση MANs, ώστε τα τοπικά δίκτυα διατηρούν την αυτονομία τους.

Το επιχειρηματικό μοντέλο για την εκμετάλλευση του παθητικού μέρους στο δίκτυο σε κρατικό επίπεδο θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Στο πρώτο επίπεδο μια εταιρεία κοινής ωφέλειας υλοποιεί, συντηρεί, επεκτείνει και εκμεταλλεύεται τον παθητικό εξοπλισμό του δικτύου
- Στο δεύτερο επίπεδο πολλοί πάροχοι εγκαθιστούν ο καθένας το δικό του ενεργό εξοπλισμό και ανταγωνίζονται τις υποδομές τους στους παρόχους υπηρεσιών.
- Στο τρίτο επίπεδο πολλοί πάροχοι υπηρεσιών ανταγωνίζονται και προσφέρουν υπηρεσίες στους χρήστες.



Σχήμα 4.4 Επιχειρηματικό μοντέλο σε Κρατικό επίπεδο.

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι σίγουρα περισσότερα αφού αναφερόμαστε στην εκμετάλλευση και επέκταση των ευρυζωνικών δικτύων σε όλη τη χώρα. Αφού η διαχείριση πλέον γίνεται κεντρικά, οι δήμοι είναι λιγότερο ανταγωνιστικοί μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να αναπτύσσουν τα δικά τους στηρίζοντάς τα πάνω στις κρατικές επιχειρήσεις. Η κοστολόγηση θα είναι πολύ απλή αφού οι πάροχοι θα νοικιάζουν το δίκτυο από την κρατική εταιρεία έτσι και και ο συνδρομητής θα είναι ικανοποιημένος με το κόστος

και την ποιότητα. Καθώς επίσης και ο ανταγωνισμός μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών εξασφαλίζεται διότι έχουν τη δυνατότητα επιλογής των παρόχων για τις υπηρεσίες τους.

### 4.3 Ενδεικτικά Επιχειρηματικά Μοντέλα

#### 4.3.1 Retailer

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, την ιδιοκτησία του παθητικού στρώματος υποδομής, του ενεργού δικτύου καθώς και τις υπηρεσίες λιανικής, τις έχει ένας πάροχος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει ανταγωνισμός άρα αν θελήσει κάποιος να ανταγωνιστεί το συγκεκριμένο πάροχο, θα πρέπει να φτιάξει δικό του δίκτυο, που σημαίνει κόστος, αλλά να βρει αντίστοιχα και πελάτες, που σημαίνει προσέγγιση πελατών του παρόχου .

Ενοικιάζοντας βέβαια τάφρους από τον πάροχο διευκολύνετε η διαδικασία, καθώς δεν χρειάζεται η διαδικασία του νέου δικτύου, χωρίς όμως να χάνει κάτι ο πάροχος, αφού μόνο κέρδος έχει με αυτή την ενοικίαση αφού το δίκτυο είναι δικό του. Γι' αυτό άλλωστε κανένας πάροχος με Retailer μοντέλο δεν δημιουργεί νέο δίκτυο. Το καλύτερο είναι το οπτικό δίκτυο της κρατικής ιδιοκτησίας να μην το έχει στην ιδιοκτησία του ο πάροχος για λόγους αυξημένου και υγιούς ανταγωνισμού.

#### 4.3.2 Capacity Wholesaler

Ο πάροχος εδώ έχει στην ιδιοκτησία του το παθητικό στρώμα υποδομής και το ενεργό δίκτυο, χωρίς όμως να παρέχει υπηρεσίες, αυτή την ιδιότητα την έχουν άλλοι πάροχοι όπου πληρώνουν το αντίστοιχο ποσό ενοικίου για τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Κύριο δεδομένο, η διασύνδεση των παρόχων μεταξύ τους σε σημείο φυσικής σύνδεσης ή στο MPoP ή ακόμη και στο backbone κομμάτι.

Εδώ το δίκτυο του ιδιοκτήτη φτάνει έως ένα συγκεκριμένο σημείο, της διασύνδεσης, καθώς αν έχουμε και τηλεφωνία τότε χρειάζεται και το σημείο ανταλλαγής τηλεφωνικής κίνησης, χωρίς όμως να μπορεί να διαχειριστεί υπηρεσίες όπως IPTV ή VoD.

Γενικότερα το σημείο διασύνδεσης είναι προτιμότερο να είναι στο δίκτυο πυρήνα για να μην χρειαστεί να φτάσει ο πάροχος μέχρι τα MPoP του ιδιοκτήτη.

### 4.3.3 Dark Fiber Provider

Στο Dark Fiber Provider ο πάροχος έχει μόνο το παθητικό στρώμα υποδομής και οι άλλοι πάροχοι έχουν κατά την αρμοδιότητά τους όλα τα υπόλοιπα, δηλαδή την κατασκευή του ενεργού δικτύου αλλά και την παροχή υπηρεσιών, όπου είτε τα διαχειρίζεται ένας πάροχος είτε διαφορετικοί. Επιτυγχάνοντας έτσι ανοιχτό δίκτυο με αυξημένο ανταγωνισμό. Συνήθως το active sharing, δηλαδή το να τα διαχειρίζεται ένας πάροχος, είναι επικρατέστερο αφού το full separation, δηλαδή ο διαχωρισμός των αρμοδιοτήτων σε παρόχους, είναι αρκετά πολύπλοκο. Άρα είναι εμφανές πως η αδεσμοποίηση τοπικού βρόχου (Hu - local loop unbundling) ευνόησε τον ανταγωνισμό καθώς ωφέλησε και τους καταναλωτές. Αν μάλιστα ο ιδιοκτήτης είναι ουδέτερος οργανισμός τότε οι υπόλοιποι πάροχοι θα ίσο ανταγωνισμό.

Το Dark Fiber Provider δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα PON δίκτυα και αυτός είναι ο λόγος επιλογής του από τα πρώην κρατικά μονοπώλια καθώς δεν θα υπάρχει η επικράτηση του πλήρους ανταγωνισμού για τις αντίστοιχες θέσεις.

Ο κάθε πάροχος αντίστοιχα όμως θα πρέπει να έχει και τον δικό του εξοπλισμό στο CO του ιδιοκτήτη. Αν όμως όλοι αυτοί είναι ένα πλήθος που δεν θα χωράει ο εξοπλισμός τους εντός του CO τότε είτε θα γίνει επέκταση του CO είτε θα υπάρξει απομακρυσμένη συνεγκατάσταση όπου είναι και το πιο κοινό των Hu.

## 4.4 Οικονομικά Στοιχεία

Το κόστος ενός ευρυζωνικού δικτύου, χωρίζεται σε δύο μέρη, το κόστος κατασκευής του ευρυζωνικού δικτύου (CAPEX) και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του ευρυζωνικού δικτύου (OPEX).

### 4.4.1 CAPEX

Οι δαπάνες καθώς και τα κόστη που έχουν να κάνουν με την κατασκευή ή την ανάπτυξη των σταθερών πόρων, δηλαδή του δικτύου, ονομάζονται CAPEX (Capital Expenditure - Δαπάνες Κεφαλαίου).

Με το CAPEX δημιουργούνται ή βελτιώνονται υπηρεσίες για να αναβαθμιστούν δραστηριότητες διαφόρων εταιριών όπου βασίζεται σε φυσικές και λογικές απαιτήσεις σε πόρους.

Το CAPEX αποτελείται από:



- Παθητικό εξοπλισμό (σωληνώσεις, μικρο-σωληνώσεις, φρεάτια, οπτικές ίνες, κατανεμητές, κ.λπ.). *f*
- Ενεργό εξοπλισμό (μεταγωγής, δρομολογητές, transceivers κ.λπ.). *f*
- Εργασίες (εκσκαφές, συγκολλήσεις, αποκαταστάσεις κ.λπ.).

Τα τελευταία χρόνια το κόστος υλοποίησης των ευρυζωνικών δικτύων έχει μειωθεί κατά πολύ και οι λόγοι που έχει επιτευχθεί αυτό είναι η συνεγκατάσταση με άλλες δημόσιες υποδομές που μειώνεται το κόστος εγκατάσταση καθώς και συσκευές διασύνδεσης νέας γενιάς υψηλής χωρητικότητας.

Για να μείνει χαμηλά το CAPEX θα πρέπει να γίνεται σχεδιασμός του δικτύου με προσοχή, τα απαιτούμενα υλικά σχετικά με το σχεδιασμό να εκτελούνται προσεκτικά, να γίνεται χρήση ευέλικτων τεχνικών καθώς και ισχυρή διείσδυση του δικτύου.

#### 4.4.2 OPEX

Οι δαπάνες και τα κόστη που είναι απαραίτητα για τον εξοπλισμό και τη διεύθυνση μίας επιχείρησης, όπου είναι πολύ σημαντικά την εξασφάλιση της ενεργής υπηρεσίας, ονομάζεται OPEX (Operational Expenditure - Έξοδα Λειτουργίας).

Θα λέγαμε πως ότι δεν θεωρείτε ως δαπάνη CAPEX τότε είναι έξοδα OPEX. Βέβαια το σημείο τομής μεταξύ των δύο αυτών εννοιών δεν είναι ξεκάθαρο αφού ορισμένες δαπάνες συσχετίζονται και με το ένα και με το άλλο. Όπως η αγορά υλικού και λογισμικού θα το θεωρούσαμε CAPEX αλλά τα έξοδα για το εργατικό δυναμικό, για τις άδειες, για τη λειτουργία καθώς και τη συντήρηση θα το θεωρούσαμε OPEX.

Άρα το OPEX αποτελείται από:

- Κόστη του χρήστη (κεντρική προετοιμασία, εγκατάσταση εξοπλισμού, χρέωση, κέντρο λειτουργίας δικτύου κ.λπ.)
- Κόστη εξοπλισμού (προληπτική συντήρηση, αντιμετώπιση λαθών και προβλημάτων, κατανάλωση ενέργειας, κόστος χρήσης χώρων κ.λπ.)

Για να μείνει χαμηλά το OPEX θα πρέπει να γίνεται χρήση self service portals, να επικρατεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, να γίνεται χρήση outsourcing για ότι έχει σχέση με το περιεχόμενο, να γίνεται χρήση «ασφαλών» πολιτικών στην εγκατάσταση οπτικών ινών, να χρησιμοποιούνται εξοπλισμοί με μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς και ισχυρή διείσδυση του δικτύου.

---

## Κεφάλαιο 5 - Θεσμικές Παρεμβάσεις Πολιτείας

---

Η ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας τα τελευταία χρόνια είναι σε μεγάλη άνοδο. Διεθνείς εξειδικευμένοι φορείς και οργανισμοί όπως ο Ο.Ο.Σ.Α ( Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης ) αναφέρουν πως τα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών (FTTX) είναι το μέλλον.

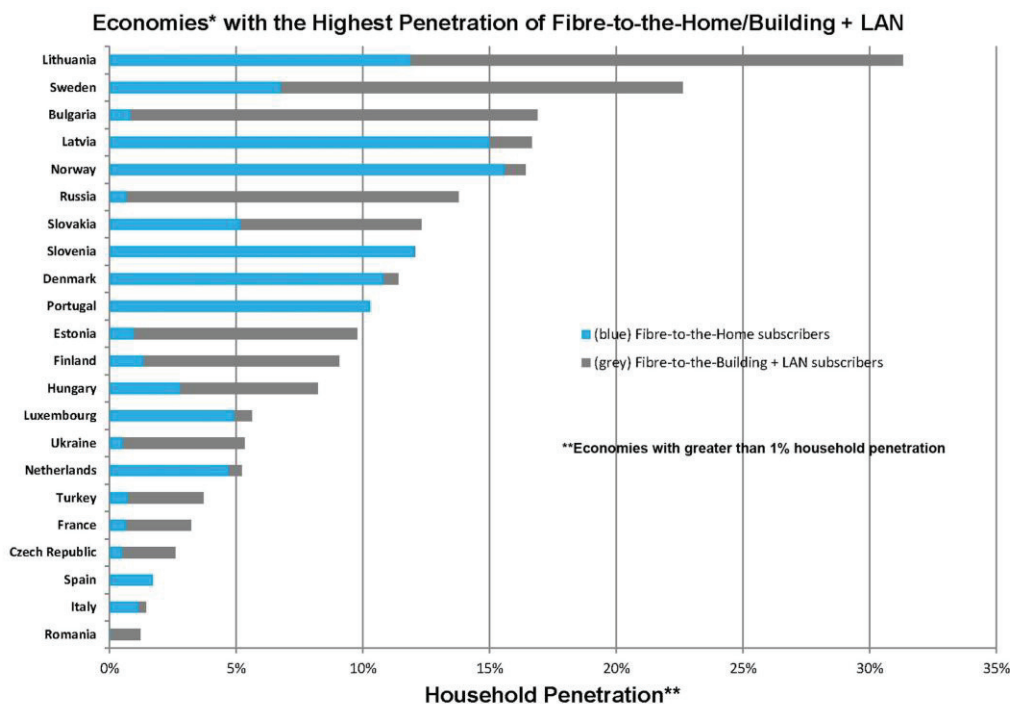
Οι αναπτυσσόμενες όσο και οι ανεπτυγμένες χώρες αναγνωρίζουν ότι οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) δίνουν τη δυνατότητα για βελτίωση των επιπέδων διαβίωσης μέσω της αύξησης παραγωγικότητας. Τα κράτη πρέπει να βρίσκονται συνεχώς σε εγρήγορση ώστε να βελτιώνουν τις καινοτομίες στις ΤΠΕ και πάνω απ' όλα την ευρυζωνικότητα. Σημαντικός παράγοντας στην βελτίωση αυτή είναι η χρήση στρατηγικών και πρακτικών.

Η FTTH τεχνολογία ξεκίνησε το 1995 αν και με μεγάλο κόστος και δύσκολη εγκατάσταση. Έως το τέλος του 2006 ο συνολικός αριθμός των συνδρομητών γραμμών FTTx σε παγκόσμιο επίπεδο έφθανε τα 30 εκατομμύρια, σημειώνοντας ετήσια αύξηση 54.8%.

Στην συνέντευξη τύπου (press conference) του FTTH Council Europe που πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο στις 20 Φεβρουαρίου 2013 παρουσιάστηκαν στοιχεία για την διείσδυση των FTTH/B παγκοσμίως αλλά και στην Ευρώπη περί τα τέλη του 2012, όπου υπήρχαν περισσότεροι από 107.6 εκατομμύρια FTTx συνδρομητές σε όλο τον κόσμο.

### 5.1 Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση πιστεύει πως τα δίκτυα επόμενης γενιάς (NGN - Next Generation Networks) είναι τα ενσύρματα δίκτυα που αποτελούνται από οπτικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες πρόσβασης με υψηλά χαρακτηριστικά.



December 2012 European Ranking  
Source: IDATE and FITH Council Europe  
February 2013

\*Economies with at least  
200,000 households

**Σχήμα 5.1** Διείσδυση οπτικών ινών στην Ευρώπη κατά τα έτη 2011 και 2016.

Στις μέρες μας προβλέπεται πως μέχρι το 2020 το σύνολο των νοικοκυριών στα κράτη - μέλη θα πρέπει να διαθέτουν συνδέσεις άνω των 30 Mbps και το 50% να έχει πρόσβαση σε ταχύτητες άνω των 100 Mbps. Η Ε.Ε. εμφανίζεται να προετοιμάζεται για να προτείνει στόχο για ταχύτητα 100 Mbps στο σύνολο των νοικοκυριών μέχρι 2025.

Τον Οκτώβριο του 2016 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε επιστολή, προκειμένου να εντάξουν στην εθνική νομοθεσία τους κανόνες για τη μείωση του κόστους, ούτως ώστε να συμβάλουν στην ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων.

### 5.1.1 Ρωσία

Ο εθνικός τηλεπικοινωνιακός πάροχος της Ρωσίας Rostelecom αναφέρει ότι το ευρυζωνικό δίκτυο οπτικών ινών βασισμένο στην τεχνολογία PON/FTTx έφτασε σε κάλυψη τα 30 εκατομμύρια νοικοκυριά κατά το 2015, παρουσιάζοντας αύξηση κατά πέντε εκατομμύρια νοικοκυριά σε ένα χρόνο. Ο Διευθυντής του τηλεπικοινωνιακού παρόχου, Sergei Kalugin, η Rostelecom σκοπεύει να αναβαθμίσει τις υπηρεσίες της προσφέροντας ταχύτητες έως 1Gbps.

Όπως δήλωσε το 2013, ο Ρώσος επιστήμονας Γεβγκένι Ντιανόφ, ο οποίος είναι επικεφαλής του ινστιτούτου οπτικών ινών στη Ρωσική Ακαδημία Επιστημών, τα δίκτυα οπτικών ινών του (κοντινού) μέλλοντος θα είναι τουλάχιστον 100 φορές ταχύτερα από τα σημερινά δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν καλώδια με οπτικές ίνες από γυαλί χαλαζία.

Μέσα στην επόμενη δεκαετία τα δίκτυα οπτικών ινών θα είναι σε θέση να μεταφέρουν δεδομένα με ταχύτητες που θα φτάνουν το ένα petabit (1.000.000.000.000.000 bits) το δευτερόλεπτο, όπως αναφέρουν επιστήμονες και ερευνητές από τη Ρωσική Ακαδημία.

### 5.1.2 Ηνωμένο Βασίλειο

Τον Δεκέμβριο του 2010 αναπτύχθηκε το σχέδιο “Britain’s Superfast Broadband Future” από διάφορους φορείς. Το σχέδιο ανέφερε πως το Ηνωμένο Βασίλειο θα πρέπει να έχει το καλύτερο ευρυζωνικό δίκτυο στην Ευρώπη έως το 2015, καθώς η κυβέρνηση βοήθησε στον εξοπλισμό και στην εγκατάσταση αυτή, με αποτέλεσμα ταχύτητα λήψης 2Mbps και με πρόσβαση 90% των πολιτών.

Τον Ιούνιο του 2013 η κυβέρνηση προχώρησε σε επενδύσεις για επέκταση πιο γρήγορων ευρυζωνικών υπηρεσιών στο 95% των χώρων του Ηνωμένου Βασιλείου μέχρι το 2017 και τουλάχιστον 99% μέχρι το 2018. Αυτό επετεύχθη επεκτείνοντας τα σχέδια κάλυψης, καθώς και την ασύρματη επέκταση.

Σύμφωνα με έρευνα του Quantum-Web, το Ηνωμένο Βασίλειο το 2015 ξεκίνησε να κερδίζει έδαφος στο FTTx και θα ξεπεράσει το καλωδιακό μόντεμ σε συνδρομητές μέχρι τα μέσα του 2020. Η συνολική βάση ευρυζωνικών συνδρομητών στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι εφικτό να αυξηθεί, με βάση το xDSL που αρχίζει να πέφτει το 2017, αλλά παραμένει κυρίαρχο για τα επόμενα πέντε χρόνια. Κατά την Quantum-Web, το Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να είναι η κορυφαία αγορά για υψηλής ταχύτητας καινοτόμες ευρυζωνικές υπηρεσίες, με το ποσοστό ανάπτυξης από την αγορά να βρίσκεται στο 19%.

### 5.1.3 Ιταλία

Ο ιταλικός πάροχος υπηρεσιών Διαδικτύου (ISP), FastWeb, δημοσίευσε τα σχέδια του για το δίκτυο fibre-to-the-x (FTTx) σε 100 νέες πόλεις μέχρι τα τέλη του 2016. Το νέο πρόγραμμα εγκατάστασης περιλαμβάνει την επέκταση υπηρεσιών fibre-to-the-cabinet (FTTC) σε

περίπου 5,5 εκατομμύρια νοικοκυριά, με δίκτυο fibre-to-the-home (FTTH) του τηλεπικοινωνιακού παρόχου να φτάνει σε επιπλέον 2 εκατομμύρια νοικοκυριά.

Η Telecom Italia είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από το εθνικό πρόγραμμα ανάπτυξης υποδομών για την ευρεία ζώνη. Το 2015, ξεκίνησαν τα έργα τοποθέτησης καλωδίων οπτικών ινών σε 125 πόλεις της Ιταλίας, που καλύπτουν περίπου 8 εκατομμύρια σπίτια ή το 35% του πληθυσμού. Οι ταχύτητες σύνδεσης θα φτάσουν μέχρι και 30 Mbps, σύμφωνα με τις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Ψηφιακής Ατζέντας, η οποία έχει θέσει ως στόχο της την πραγματοποίηση αυτής της ικανότητας σύνδεσης, που θα διατίθενται στο σύνολο του πληθυσμού έως το 2020.

Το ψηφιακό θεματολόγιο Ιταλίας έχει ως στόχο να καταστήσει μια σημαντική συμβολή στην επιτάχυνση της διαδικασίας της ανάπτυξης και της ψηφιοποίησης των ιταλικών εταιρειών, με σκοπό την ανάκαμψη της οικονομίας της χώρας.

#### 5.1.4 Ελβετία

Ο πάροχος σταθερών γραμμών, Swisscom, ανακοίνωσε ότι συνέδεσε περισσότερα από ένα εκατομμύρια νοικοκυριά σε δίκτυα οπτικών ινών (FTTx) το 2014. Το δίκτυο της Swisscom συνδυάζει τις τεχνολογίες fibre-to-the-home (FTTH), fibre-to-the-building (FTTB), fibre-to-the-street (FTTS) και VDSL Vectoring ώστε να προσφέρει στους συνδρομητές ταχύτητες downlink έως 1Gbps.

Δέκα δήμοι έχουν καλυφθεί με τεχνολογία FTTS καθώς ο πάροχος αναπτύσσει μια πλατφόρμα σε επιπλέον 100 δήμους, ενώ περισσότερα από 800.000 σπίτια και επιχειρήσεις έχουν συνδεθεί με το δίκτυο FTTH της Swisscom, σε περισσότερες από 60 πόλεις και κωμοπόλεις. Ο πάροχος διάθεσε ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας σε 2,3 εκατομμύρια σπίτια και επιχειρήσεις στα τέλη του 2015 και στοχεύει να διπλασιάσει το ποσοστό αυτό μέχρι το 2020.

#### 5.1.5 Μαυροβούνιο

Σύμφωνα με το Agency for Electronic Communications, ο αριθμός των ευρυζωνικών συνδέσεων το 2013 στο Μαυροβούνιο, έφτασε τις 89.428. Οι συνδέσεις ADSL έφτασαν τις 68.089, ο αριθμός των συνδέσεων FTTx ήταν 5.083 και οι καλωδιακές συνδέσεις συνολικά ήταν 4.834.

Το 2016 ο πάροχος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών του Μαυροβουνίου Crnogorski Telekom συνεχίζει τις επενδύσεις της για την επέκταση της υποδομής δικτύου οπτικών ινών στη χώρα. Μέσω ευρυζωνικών πρόγραμμα οπτικών ινών "Fiber to the Home" επεκτείνει την εμβέλεια του, με τα δίκτυα επόμενης γενιάς, σε πάνω από 46.000 νοικοκυριά. Μια προσέγγιση 25% του συνόλου των νοικοκυριών της χώρας έχουν τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες οπτικών ινών από τον πάροχο.

Η Crnogorski Telekom έχει καλύψει έντεκα δήμους στο Μαυροβούνιο μέσω επιτυχημένες συνεργασίες με τις τοπικές κοινότητες. Επικεντρώθηκε στην εξάπλωση των οπτικών ινών στις γειτονιές που δεν είχαν την ικανότητα να χρησιμοποιούν ευρυζωνικές υπηρεσίες. Καλώδια οπτικών ινών επιτρέπουν υψηλής ποιότητας υπηρεσιών με τον πιο σύγχρονο τρόπο μεταφοράς δεδομένων και πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα στο internet. Η Crnogorski Telekom δήλωσε ότι θα συνεχίσει να επενδύει στην "τεχνολογία του μέλλοντος", προκειμένου να παρέχει στους χρήστες της την καλύτερη δυνατή εμπειρία.

### 5.1.6 Κροατία

Η T-Hrvatski Telekom (T-HT) το 2009 ξεκίνησε το πρόγραμμα επέκτασης του δικτύου ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο, που σήμαινε αύξηση των επενδύσεων σε fibre-to-the-building (FTTB) και fibre-to-the-home (FTTH) για την παροχή υψηλότερων ταχυτήτων πρόσβασης, μεγαλύτερη χωρητικότητα μετάδοσης στο δίκτυο και μεγαλύτερη σταθερότητα δικτύου.

Οι απευθείας βασισμένες σε οπτική ίνα υπηρεσίες triple-play της T-HT, οι υπηρεσίες VoIP, ADSL και IPTV χρησιμοποιούνται από 200 δοκιμαστικούς πελάτες σε τέσσερις κύριες πόλεις, και σύμφωνα με τα σχέδια του παρόχου, περίπου 50.000 πελάτες ήταν συνδεδεμένοι σε εμπορικές FTTH ή FTTB υπηρεσίες μέχρι το τέλος του 2009. Η T-HT, η οποία πρόσφερε υπηρεσίες οπτικής ίνας και ευρυζωνικές υπηρεσίες κάτω από τη φήμα της T-Com, σκόπευε να επενδύσει περισσότερα από 1 δισεκατομμύριο Κούνα Κροατίας (176 εκατομμύρια δολάρια) στην ανάπτυξη σταθερής υποδομής μέσα στο 2009, κυρίως για την επέκταση των οπτικών δικτύων πρόσβασης και την μετάβαση σε μία IP πλατφόρμα. Η ADSL υπηρεσία της T-Com με την ονομασία MAXadsl, είχε προσελκύσει πάνω από 470.000 πελάτες. Η T-HT είχε δηλώσει ότι στόχος της ήταν να παρέχει «τις τεχνικές συνθήκες για ευρυζωνική πρόσβαση σε ένα εκατομμύριο πελάτες μέχρι το τέλος του 2009.»

Σύμφωνα με τις στατιστικές ευρείας ζώνης του Quantum-Web και τις προβλέψεις των υπηρεσιών, στο τέλος του 2015 υπήρχαν 163 εκατομμύρια συνδρομητές ευρυζωνικών συνδέσεων και ο αριθμός αυτός θα υπερβεί τα 192 εκατομμύρια έως το 2025.

### 5.1.7 Ισπανία

Η κυβέρνηση της Μαδρίτης, σε συνεργασία με τηλεπικοινωνιακούς παρόχους της πόλης, ανέπτυξε το 2009 ένα σχέδιο τηλεπικοινωνιακής υποδομής, Telecommunications Infrastructure Master Plan. Σκοπός ήταν η ανάπτυξη ενός δικτύου οπτικών ινών για την κάλυψη της πρωτεύουσας, επιτρέποντας σε όλους τους κατοίκους να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 100 Mbps καθώς επίσης και σε υπηρεσίες καλωδιακής τηλεόρασης.

Το 2016, τελικά, οι αρχές της Ισπανίας ενέκριναν τους νέους κανονισμούς για να ενεργοποιήσει ο φορέας το δίκτυο fibre-to-the-home (FTTH) με τους ανταγωνιστές. Η χώρα θα έχει μετατρέψει το δίκτυο της σε FTTH έως το 2020 αφού είδη μέχρι σήμερα έχει πάνω από 10 εκατομμύρια σπίτια με FTTH.

Το δίκτυο έχει αρχιτεκτονική ανοικτής πρόσβασης FTTH δικτύου, που επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να επιλέξουν από διάφορους παρόχους υπηρεσιών.

### 5.1.8 Γαλλία

Το 2013 ο Γάλλος πρόεδρος ανακοίνωσε το “France Très Haut Debit” όπου είναι ένα εθνικό σχέδιο για τη δημιουργία ενός γρήγορου ευρυζωνικού δικτύου σε όλη τη Γαλλία. Το σχέδιο αυτό έχει στόχο να παρέχει μια νέα ψηφιακή υποδομή, φτάνοντας έτσι, οι δημόσιοι φορείς σε περιοχές που ο ιδιωτικός τομέας φοβάται να επενδύσει, καθώς θέτει πως το 80% των νοικοκυριών έως το 2022 θα έχουν κάλυψη FTTH.

Σε μια περιοχή που έχει το 57% του πληθυσμού, οι φορείς εκμετάλλευσης αναπτύσσουν δίκτυα οπτικών ινών FTTH και ονομάζονται "conventionnées" (στο πλαίσιο της συμφωνίας) περιοχές. Για την υπόλοιπη επικράτεια, το 43% του πληθυσμού, οι τοπικές κυβερνήσεις δημιουργούν δημόσια δίκτυα ανοικτά σε όλους τους φορείς, με την τεχνική και οικονομική υποστήριξη από την πολιτεία.

Επιλέξιμες τεχνολογίες κατά την ανάπτυξη, θα είναι FTTB / H, αλλά επίσης και η αναβάθμιση των υπάρχοντων δικτύων χαλκού. Καθώς σύμφωνα με την ARCEP, οι FTTH

συνδρομές αυξήθηκαν κατά 50.000 τον Μάρτιο του 2013 και ανήλθε σε 365.000, μια αναφερόμενη ετήσιος ρυθμός αύξησης 70%.

Στις 30 Ιουνίου, του 2016, πάνω από 6,5 εκατομμύρια σπίτια είχαν συνδεθεί με οπτική ίνα μέχρι το σπίτι (FTTH). Η ανάπτυξη της οπτικής ίνας ήταν ιδιαίτερα προνομιακή σε πολύ πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές όπως το Παρίσι, καθώς και σε μεγάλες επαρχιακές πρωτεύουσες.

### 5.1.9 Γερμανία

Τον Φεβρουάριο του 2009 ξεκίνησε το πρόγραμμα "Breitbandstrategie" από την κυβέρνηση της Γερμανίας, όπου αναφέρει πως μέχρι το τέλος του 2010 θα παρείχαν ευρυζωνικές συνδέσεις από 1 Mbps σε εθνικό επίπεδο αλλά και μέχρι το 2014 το 75% των νοικοκυριών να έχουν τουλάχιστον 50 Mbps.

Η Deutsche Telekom ξεκίνησε να προσφέρει FTTH / FTTB σε επιλεγμένες περιοχές το 2011. Από τον Ιανουάριο του 2014, η Deutsche Telekom FTTH ήταν διαθέσιμα σε 884.000 νοικοκυριά. Από τον Αύγουστο του 2014 η Deutsche Telekom παρείχε υπηρεσίες VDSL2 με ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 100 Mbit/s downlink και 40 Mbit/s uplink, καθώς έως το τέλος του 2016 στόχος της ήταν να αναπτύξει VDSL2 σε μεγάλες πόλεις. Η Deutsche Telekom σχεδιάζει να εισαγάγει υπηρεσίες 500 Mbit/s χρησιμοποιώντας G.fast τεχνολογία από το 2017.

### 5.1.10 Ελλάδα

Στις 29 Μαΐου του 2008, πραγματοποιήθηκε στο ξενοδοχείο President Hotel η πρώτη συνάντηση της Ομάδας εργασίας Ιδ3, για τις προοπτικές του FTTx στην Ελλάδα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, η Ελλάδα μοιράζεται την προτελευταία θέση με άλλες 2 χώρες της ΕΕ (Λιθουανία, Ρουμανία), όσον αφορά την πρόσβαση των νοικοκυριών στο διαδίκτυο, καθώς το 68% του συνολικού αριθμού νοικοκυριών έχει σύνδεση στο διαδίκτυο. Ακολουθεί η Βουλγαρία με 59%, ενώ ο αντίστοιχος Ευρωπαϊκός μέσος όρος είναι στο 85%. Όσον αφορά την ικανότητα χρήσης του διαδικτύου η Ελλάδα κατέχει το ίδιο ποσοστό. Επίσης, οι επιχειρήσεις στην Ελλάδα που έχουν πρόσβαση στο ίντερνετ αγγίζουν το 85%, ενώ ο Ευρωπαϊκός μέσος όρος είναι το 95%.



Τέλος, εκτός των Σκανδιναβικών κρατών, σχεδόν ο ένας στους 2 Ευρωπαίους διευθετεί τις υποχρεώσεις του με τις δημόσιες υπηρεσίες (46%), μέσω του διαδικτύου, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται ακριβώς στο ίδιο επίπεδο.

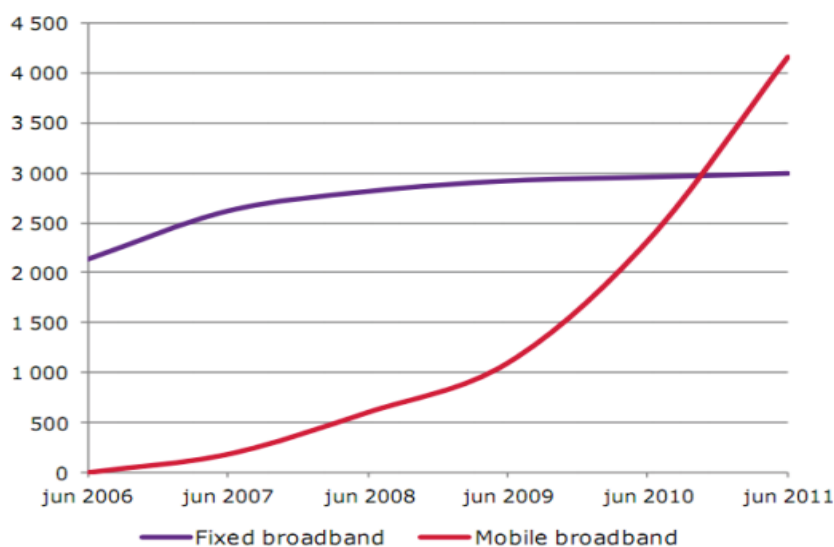
Το 2010 η Ελληνική κυβέρνηση κάνοντας έναν ενδεικτικό προϋπολογισμό για το πρόγραμμα FTTH, κατέληξε στο στόχο για υλοποίηση της επέκτασης της άμεσης οπτικής ίνας σε δισεκατομμύρια σπίτια παρέχοντας ταχύτητες 100 Mbps.

Βασιζόμενη στην τεχνολογία VoIP (Voice Over IP) και σε κεντροποιημένη αρχιτεκτονική προσφέρει από το 2016, προηγμένες υπηρεσίες φωνής ακόμη και σε οικιακούς πελάτες.

Στα πλαίσια της συνεχούς αναβάθμισης και αναδιάρθρωσης του δικτύου πρόσβασης, έχει ξεκινήσει στη χώρα η εγκατάσταση των οπτικών ινών μέχρι τα κτίρια (Fiber To The Building ή FTTB) και μέχρι τον χώρο του πελάτη (Fiber To The Home ή FTTH). Το νέο Δίκτυο Πρόσβασης ακολουθεί την αρχιτεκτονική point-to multipoint, και είναι συμβατή με την τεχνολογία Gigabit Passive Optical Network (GPON), με την δυνατότητα να παρέχει ταχύτητες πρόσβασης άνω των 100 Mbps και έως 1Gbps καθώς ξεκίνησε η αναβάθμιση του δικτύου VDSL2/ FTTC), που θα επιτρέψει ταχύτητες πρόσβασης έως και 100 Mbps από τις υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές χαλκού.

### 5.1.11 Σουηδία

Η Σουηδία φαίνεται να έχει ραγδαία ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας από το 2006 έως το 2011.



Σχήμα 5.2 Η ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας στη Σουηδία μέχρι το 2011.

Η ειλικρίνεια, οι τεχνολογικές δεξιότητες και η άποψη των σουηδικών λαών για την τεχνολογία αλλά και για το διαδίκτυο είναι οι βασικοί λόγοι που κάνουν τη Σουηδία να είναι τόσο ανεπτυγμένη στην ευρυζωνικότητα. Οι ίνες στη χώρα είναι από τις πιο ανεπτυγμένες στον κόσμο με αποτέλεσμα να έχει η Σουηδία τις περισσότερες συνδέσεις ινών.

Ύστερα από μελέτη που πραγματοποίησε το Onum για το FTTH Council Europe και για την ποσότητα του οφέλους, η Σουηδία επωφελήθηκε την τεχνολογία και επένδυσε στην ευρυζωνικότητα και στο FTTH.

## 5.2 Άλλες Χώρες

Κρατικοί φορείς διεθνώς ανέπτυξαν ένα κατάλληλο πλαίσιο που θα αντιμετωπίζει όλες τις παραμέτρους (κοινωνικό - οικονομικές, γεωγραφική κατανομή πληθυσμού, ιδιαιτερότητες περιοχών) και θα λαμβάνει υπόψη του την τρέχουσα τεχνολογική υποδομή και εξέλιξη.

Με διάφορες ενέργειες εκτιμάται ότι εκτός από την οικονομική αναβάθμιση της αγοράς, που οφείλεται στη χρήση ευρυζωνικών υπηρεσιών, θα διασφαλιστεί και η παροχή τους στις απομακρυσμένες περιοχές.

Στα τέλη του 2012 υπήρχαν περισσότεροι από 107.6 εκατομμύρια FTTx συνδρομητές σε όλο τον κόσμο με την Ασία να κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό διείσδυσης με σχεδόν 80 εκατομμύρια συνδρομητές

### 5.2.1 Κίνα

Με το ρυθμό της ανάπτυξης κατά το 2011, οι συνδέσεις FTTx αυξήθηκαν από 20,2% έναντι όλων των ευρυζωνικών συνδέσεων, στο 43,4% το 2015. Μέσα σε αυτό, το FTTH έφτασε από 2,7% σε 11,6%. Αν και η ζήτηση για υψηλή ταχύτητα στην Κίνα δεν υπήρχε τότε αλλά περιμένανε ότι θα εξαπλωθεί σαν πυρκαγιά.

Η Κίνα αναπτύχθηκε πολύ το 2008, όταν ξεπέρασε τις ΗΠΑ ως η μεγαλύτερη αγορά ευρυζωνικών συνδέσεων στον κόσμο σε συνδρομητές, καθώς και από τα τέλη του 2010, έφθασε στην κορυφή, όταν έγινε η μεγαλύτερη FTTx (FTTH και FTTB) της αγοράς στην περιοχή, ξεπερνώντας την Ιαπωνία.

Η αγορά FTTx της Κίνας το 2011 ήταν αυξημένη στο FTTB επειδή η ζήτηση για εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας δίκτυα δεν είχε κερδίσει ακόμα την αγορά και επίσης το κόστος της ανάπτυξης FTTB ήταν μικρότερο από το 50% του κόστους για FTTH. Για αυτό,

το FTTH είχε κάτω από 10% στην αγορά. Ωστόσο, καθώς μεγάλωνε η ζήτηση για εύρος ζώνης στα μέσα ενημέρωσης για λήψεις και για gaming, οι πάροχοι άρχισαν τότε να επενδύουν στην ανάπτυξη FTTH.

### 5.2.2 Ουρουγουάη

Ο κινεζικός πάροχος τεχνολογίας ZTE Corporation επιλέχθηκε από την τηλεπικοινωνιακό πάροχο της Ουρουγουάης, Administracion Nacional de Telecomunicaciones (Antel), για την παρουσίαση δικτύου οπτικών ινών βασισμένο στην τεχνολογία Gigabit Passive Optical Network (GPON), σχεδιασμένο να εξυπηρετεί 300.000 ευρυζωνικούς συνδρομητές κατά μήκος της χώρας με ταχύτητες πρόσβασης έως 100Mbps. Το δίκτυο GPON υποστηρίζει ευρυζωνική πρόσβαση μέσω δικτύων fibre-to-the-home (FTTH) και fibre-to-the-building (FTTB) καθώς επίσης επιχειρηματικά δίκτυα και δίκτυα κορμού υψηλής ταχύτητας.

### 5.2.3 Κάιρο

Η Telecom Egypt (TE) παρουσίασε το 2009, την πρώτη υλοποίηση fibre-to-the-home (FTTH) στην Αίγυπτο. Η TE δήλωσε ότι υιοθέτησε μια νέα στρατηγική για την παρουσίαση δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών με υψηλής ταχύτητας ευρυζωνική πρόσβαση που έφτανε τα 70 Mbps. Ο πάροχος ξεκίνησε την υλοποίηση δικτύων πρόσβασης FTTx σε προάστια γύρω από το Κάιρο και την Αλεξάνδρεια και η περιοχή Qatamiya ήταν η πρώτη στην οποία παρέχονταν πρόσβαση σε υπηρεσίες triple-play μέσω του νέου δικτύου.

Ανάμεσα στο 2009 και στο 2016, οι επενδύσεις αναμένονταν να φτάσουν τα 4 δισεκατομμύρια ευρώ, να συμπληρωθούν οι επεκτάσεις των κινητών και ευρυζωνικών δικτύων, να εισαχθεί η καλωδιακή τεχνολογία Docsis 3.0 και να ξεκινήσει η ανάπτυξη των δικτύων FTTx. Ανάμεσα στο 2012 και στο 2016, σχεδόν 600 εκατομμύρια ευρώ κάθε χρόνο αναμένονταν να επενδυθούν στην ανάπτυξη δικτύων FTTx.

### 5.2.4 Η.Π.Α

Οι τρεις μεγαλύτερες τηλεπικοινωνιακές εταιρείες της Αμερικής το 2006, είχαν καταθέσει σχέδια ανάπτυξης δικτύων οπτικών ινών που θα έφταναν σε επίπεδο σπιτιού (FTTH), ωστόσο η κατάσταση στην Αμερική έδειχνε να μην είναι σταθερή, όσον αφορά την δημιουργία τέτοιων δικτύων καθώς και η ανησυχία για την εξέλιξη των FTTH δικτύων μέσα στο 2006 ήταν μεγάλη.

Οι ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας και της ζήτησης ολοένα περισσότερου εύρους ζώνης, οδήγησαν τους κατασκευαστές δικτυακού εξοπλισμού πίσω, στο στάδιο σχεδίασης, προκειμένου να δημιουργούν προϊόντα που θα ακολουθούν την τεχνολογία. Ακόμα και αν είχαν ξοδευτεί δισεκατομμύρια δολάρια για την τεχνολογία FTTH, οι μεγαλύτεροι πάροχοι της Αμερικής ήταν πολύ διστακτικοί και δεν προχωρούσαν στην εγκατάσταση τέτοιου είδους δικτύων.

### 5.2.5 Ιράν

Ακόμη και μη ανεπτυγμένη τεχνολογικά χώρα όπως το Ιράν, σημείωσε ανάπτυξη στο ευρυζωνικό δίκτυο. Οι πάροχοι υπηρεσιών internet, (ISP), του Ιράν, Iranian Net Company, αναπτύσσει ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών FTTx σε επτά από τις μεγαλύτερες πόλεις, προσφέροντας ταχύτητες download έως 20Mbps. Το πρακτορείο Cihan ανακοίνωσε ότι στις πόλεις αυτές θα υπάρχουν 500 σημεία πρόσβασης καθώς το έργο θα διαρκέσει μέχρι το 2017.

### 5.2.6 Ταϊβάν

Ο πάροχος της Ταϊβάν, Chunghwa Telecom (CHT), παρουσίασε τα δίκτυα fibre-to-the-x (FTTx) από 70% του πληθυσμού όπου η πρόσβαση έφτασε στο τέλος του 2013 στο 85%. Σύμφωνα με το Digitimes, ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος μέσω περαιτέρω ενίσχυσης, κάλυψε το 97% του πληθυσμού το 2015.

### 5.2.7 Βραζιλία

Ο βραζιλιάνικος τηλεπικοινωνιακός πάροχος TIM Participacoes (TIM Brasil), μέλος του ομίλου Telecom Italia, διέθεσε στην αγορά υπηρεσίες fibre-to-the-curb / fibre-to-the-building (FTTC/FTTB) με την ονομασία Live και σκοπεύει να συγκεντρώσει 1 εκατομμύριο συνδρομητές έως το 2016.

## 5.3 Στρατηγικές για την ανάπτυξη στην Ελλάδα

Η Ελλάδα θα πρέπει να βάλει στόχους για την ανάπτυξη της χώρας στις ευρυζωνικές υπηρεσίες και να καθορίσουν που χρειάζεται ανάπτυξη των υποδομών για να ελαττωθεί το ψηφιακό χάσμα. Ο καθορισμός των απαραίτητων υπηρεσιών για την ανάπτυξη και τον

ορισμό των ταχυτήτων πρόσβασης είναι αρμοδιότητα της πολιτείας, και πρέπει να παραδειγματισθεί από τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες με αποτέλεσμα να καθορίσει τη δική της εθνική στρατηγική.

Ωστόσο, αφού το έργο είναι με χρηματοδότηση της πολιτείας, θα πρέπει να καλυφθούν περιοχές που δεν υπάρχουν ιδιώτες που σημαίνει πως σίγουρα θα την καλύψουν αυτοί την περιοχή.

---

## Κεφάλαιο 6 - Εποπτεία Οπτικού Δικτύου

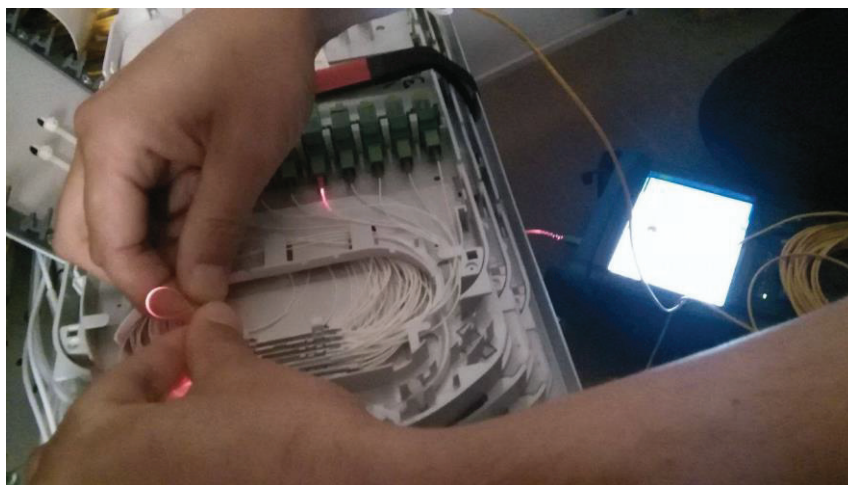
---

Όπως το χάλκινο δίκτυο έχει τη δυνατότητα της εποπτείας αλλά και της μέτρησης των ταχυτήτων του xDSL για παράδειγμα με το όργανο ARGUS, έτσι και το οπτικό δίκτυο έχει τη δυνατότητα να ελεγχθεί από ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση οπτικών καλωδίων.

### 6.1 OTDR

Η ονομασία O.T.D.R προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Optical Time Domain Reflectometer. Το OTDR ως όργανο κάνει μετρήσεις αποστάσεων, εξασθένησης και ανακλάσεων αλλά ανιχνεύει και τοπικές διαταραχές εξασθένησης. Η λειτουργία του στηρίζεται στη διάδοση του φωτός στην οπτική ίνα, από μία γεννήτρια ηλεκτρικών παλμών μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Με το O.T.D.R μπορούμε να κάνουμε εργασίες όπως τον εντοπισμό της θέσης κάποιας διακοπής σε μία ζεύξη KOI, τη μέτρηση της εξασθένισης της ίνας σε μία ζεύξη (db/km), τη μέτρηση της απώλειας σε συμβάν (πχ έντονη κάμψη ίνας, συγκόλληση), τη μέτρηση της ανάκλασης ή απώλειας επιστροφής σε συμβάν (πχ οπτικός κατανεμητής) και τη μέτρηση της απώλειας απ' άκρο σ' άκρο της ίνας ή μεταξύ δύο σημείων αυτής (db).



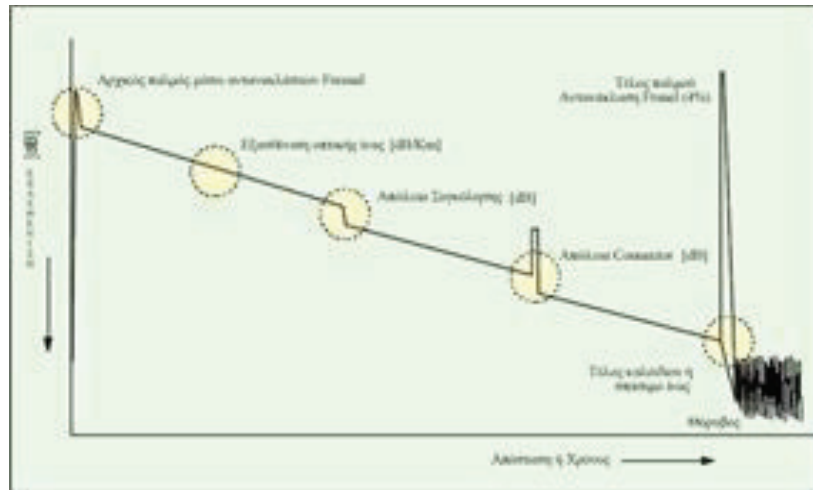
**Σχήμα 6.1** Διάδοση του φωτός με OTDR σε ενεργή οπτική ίνα.

Ένας κατευθυντικός συζευκτής είναι ο αρμόδιος που αναλαμβάνει να μεταφέρει την παραγόμενη, από την διοδική πηγή laser, διαμορφωμένη δέσμη φωτός μέσω των παλμών αυτών. Οι ανωμαλίες της ίνας και οι ασυνέχειες της προκαλούν επιστροφή μερικού φωτός στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων, οπισθοσκέδαση δηλαδή. Ο δέκτης του οργάνου είναι πολύ ευαίσθητος ώστε να ανιχνεύει αυτό το πολύ ασθενές σήμα. που είναι 40 έως 80 db χαμηλότερο σε ισχύ απ' αυτό που στέλνει το O.T.D.R. Αυτή η δέσμη φωτός ανιχνεύεται από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD) που θα το μετατρέψει σε ηλεκτρικό σήμα, και ύστερα ο ενισχυτής θα το ενισχύσει ώστε ένας εσωτερικός μικροϋπολογιστής να το επεξεργαστεί. Τα αποτελέσματα που θα εμφανιστούν στην οθόνη θα έχουν υποστεί στατική επεξεργασία που προκύπτει από την συνεχή επανάληψη της διαδικασίας.



**Σχήμα 6.2** Οθόνη εσωτερικού μικροϋπολογιστή.

Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης, στον οριζόντιο άξονα. Αυτά τα δύο μαζί σχηματίζουν στην οθόνη ένα σύστημα συντεταγμένων αλλά και κάποια άλλα χρήσιμα στοιχεία.



Σχήμα 6.3 Απλοποιημένο διάγραμμα από OTDR.

Με το όργανο αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μήκος μίας οπτικής ζεύξης με ακρίβεια. Αυτό το στοιχείο βοηθάει στην εύρεση σημείου διακοπής μίας ζεύξης, ή εισαγωγής υψηλής εξασθένησης. Ο τύπος που το χαρακτηρίζει είναι:

$$L = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n}$$

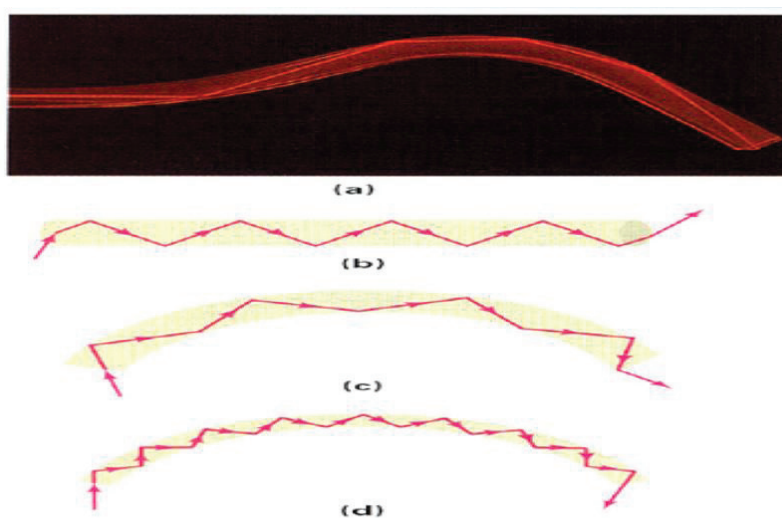
όπου  $v$  = η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα.

$t$  = ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο.

$L$  = το μήκος της οπτικής ίνας.

$c$  = η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

$n$  = ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας.



Σχήμα 6.3 Το “ταξίδι” του φωτός μέσα στην οπτική ίνα.



Η τιμή του δείκτη διάθλασης είναι βασικό στοιχείο για τον ακριβή υπολογισμό δείκτη διάθλασης δημιουργεί απόκλιση μήκους σε όλα τα συμβάντα κατά 0,1% ή 1 μέτρου σε κάθε χιλιόμετρο.

Οι συγκολλήσεις ινών και οι κάμψεις με μικρή καμπύλη, προκαλούν απώλεια (απόσβεση) αλλά δεν προκαλούν ανάκλαση, καθώς στην οθόνη του O.T.D.R εμφανίζονται σαν μια ξαφνική πτώση στην στάθμη οπισθοσκέδασης («σκαλοπάτια»). Η κάθετη πτώση απεικονίζει την απόσβεση που εισάγει το συμβάν. Ενώ οι συνδετήρες όλων των τύπων, οι μηχανικοί σύνδεσμοι ινών (όχι συγκόλληση) και οι μικρορωγμές σε ίνα προκαλούν απώλεια και ανάκλαση ταυτόχρονα, καθώς στην οθόνη του O.T.D.R, το μέγεθος της ανάκλασης φαίνεται από το πλάτος του παλμού που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη οπισθοσκέδασης.

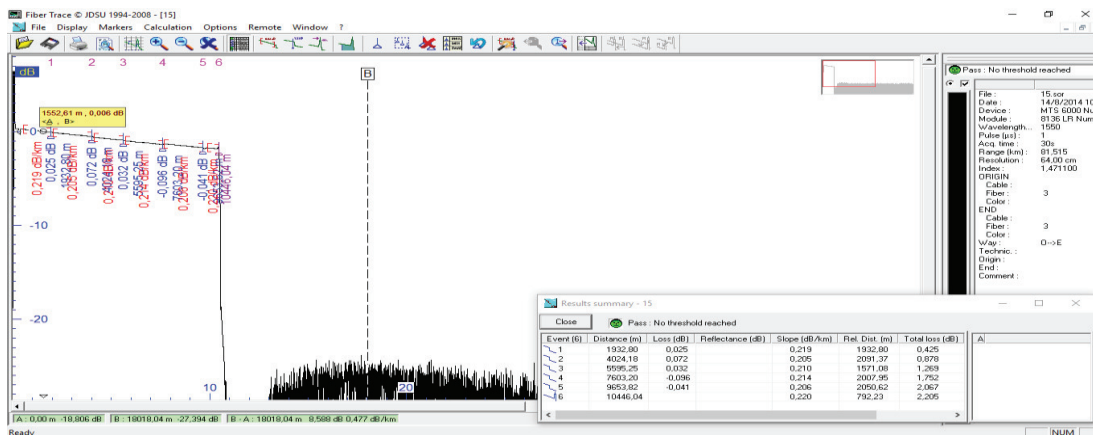
Όταν στην οθόνη του O.T.D.R εμφανίζεται μια απότομη πτώση από τη γραμμή οπισθοσκέδασης προς το κατώφλι θορύβου, σημαίνει ότι ένα σπασμένο άκρο ίνας διαχέει το φως λόγω του ακανόνιστου σχήματος και δεν προκαλεί πάντα ανάκλαση. Καθώς επίσης από τον ορισμό γνωρίζουμε πως κάθετα κομμένο άκρο ίνας ή άκρο ίνας συνδεδεμένο σε συνδετήρα προκαλούν ανάκλαση που είναι γνωστή ως ανάκλαση Fresnel.

Για να επιτευχθεί η μέτρηση της απώλειας επαφής και επιστροφής από τον κοντινότερο συνδετήρα προς το OTDR, πρέπει απλά να προστεθεί ένα κομμάτι ίνας μέσα στο όργανο ή εξωτερικά και να έχει μήκος μεγαλύτερο από τη νεκρή ζώνη του συνδετήρα. Καθώς πρέπει επίσης να έχει καθαριστεί καλά ο συνδετήρας για να μην εισαχθούν απώλειες επαφής και δημιουργηθούν μεγάλες ανακλάσεις, που στη νεκρή ζώνη θα αυξηθούν. Η απώλεια επαφής σε μια σύνδεση με κατανεμητή, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,5db αλλά και η απώλεια λόγω επιστροφής δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 55db για συνδετήρες SC/APC.



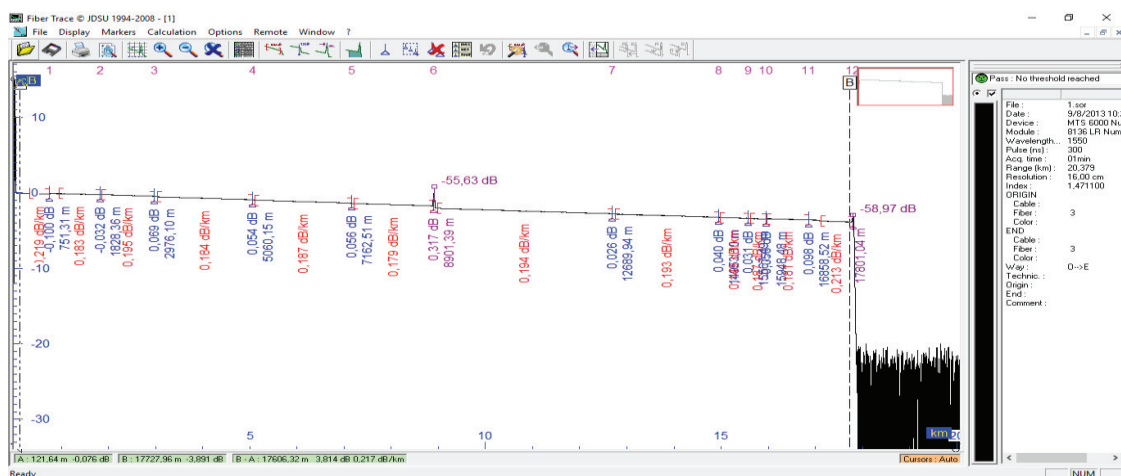
**Σχήμα 6.4** Κομμάτι ίνας εξωτερικά του OTDR.

### 6.1.1 Διαγράμματα από Μετρήσεις OTDR



Σχήμα 6.5 Διάγραμμα OTDR 1.

Στο παραπάνω διάγραμμα κάνουμε μέτρηση ενός δικτύου οπτικής ίνας 10 χιλιομέτρων. Το μήκος κύματος που χρησιμοποιήσαμε είναι 1550 nm και το μέγεθος παλμού 1000 ns. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται τα χιλιόμετρα του δικτύου και στον κάθετο άξονα τα επίπεδα ισχύος σε dB. Επίσης παρατηρούνται στο σχήμα 2 κάθετοι (μαύροι) άξονες ο A και B αντίστοιχα. Οι άξονες χρησιμοποιούνται λίγο μετά την αρχή της μέτρησης (A) και λίγο πριν κοπεί η σύνδεση (B) για να μετρήσουμε τις απώλειες του συγκεκριμένου δικτύου. Έτσι στο συγκεκριμένο δίκτυο έχουμε απώλεια 0,830 dB/km. Μετά το σύνδεσμο δεν υπάρχει οπτική ίνα και το δίκτυο “κόβεται”. Με βάση τα πρότυπα ένα καλώδιο οπτικής ίνας στα 1550 nm πρέπει να έχει απώλειες μέχρι 0,22 dB/km . Συμπερασματικά το δίκτυο δεν πληροί τις προϋποθέσεις για να τεθεί σε λειτουργία λόγω των πολλών απωλειών.



Σχήμα 6.6 Διάγραμμα OTDR 2.

Στο παραπάνω διάγραμμα κάνουμε μέτρηση ενός δικτύου οπτικής ίνας 17,7 χιλιομέτρων που το έχουμε θέσει εκτός λειτουργίας για να το αναλύσουμε. Το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται είναι 1550 nm και το μέγεθος παλμού 300 ns. Οι απώλειες στο συγκεκριμένο δίκτυο είναι 0,217 dB/km. Το επιτρεπτό όριο απωλειών στα 1550 nm με βάση τα πρότυπα είναι 0,22 dB/χλμ πράγμα που σημαίνει ότι το δίκτυο πληροί τις προδιαγραφές για χρήση. Επίσης το συγκεκριμένο δίκτυο που ελέγχουμε ξεκινάει από ένα κόμβο και καταλήγει σε άλλο κόμβο.

---

## Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα - Σύνοψη

---

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας, έχουν να κάνουν με την αναγκαιότητα των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών υποδομών για τις οπτικές ίνες, που προκύπτουν από τις ανάγκες του τελικού χρήστη. Σκοπός λοιπόν είναι η οπτική ίνα να φτάσει όσο πιο κοντά γίνεται στο χρήστη για καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών αλλά και για μεγαλύτερο εύρος ζώνης κάλυψης.

Η υλοποίηση του οπτικού δικτύου πρέπει να περάσει από πολλά στάδια για να είναι ορθή και αποτελεσματική, καθώς απαιτείται αρκετή μελέτη για την εύρεση του κατάλληλου επιχειρηματικού μοντέλου, διερεύνηση των οικονομικών στοιχείων αλλά και ανάγκη για σωστή διαχείριση των παθητικών υποδομών. Πέρα από την υλοποίηση, σημαντικό είναι να υπάρχει η συντήρηση, για να διασφαλίζεται ότι με το πέρασμα του χρόνου η λειτουργία θα είναι εφικτή και σωστή αλλά και η εποπτεία για τυχόν φθορές του οπτικού δικτύου και την άμεση αποκατάστασή τους.

Διεθνείς εξειδικευμένοι φορείς και οργανισμοί αναφέρουν πως τα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών (FTTX) είναι το μέλλον και με τις θεσμικές παρεμβάσεις των κρατών αναπτύσσονται εθνικές στρατηγικές.

---

## Βιβλιογραφία

---

- 1) Εναλλακτικές αρχιτεκτονικές κατασκευής οπτικών δικτύων FTTx (Παρασκευάς Μιχαήλ) Εκδόσεις Κάλλιπος (2015)
- 2) Μητροπολιτικά Δίκτυα Οπτικών Ινών: Τεχνολογίες και Επιχειρηματικά Μοντέλα (Χρήστος Μπούρας)
- 3) Αξιολόγηση Τμήματος Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών Πελοποννήσου , Μοντελοποίηση και Προτάσεις για Τυχόν Βελτιώσεις του (Γκότσης Σταύρος , Πουλόπουλος Γιάννης)
- 4) Μελέτη Σύγχρονης Τεχνολογίας VDSL (Ζέρβα Αλεξάνδρα)
- 5) "Μελέτη Δικτύων Πρόσβασης FTTx" (Γεώργιος Κορόλης, Άγγελος Σημάτης) 2016
- 6) «Βέλτιστες Πρακτικές Πολιτικές Και Στρατηγικές Για Την Ανάπτυξη Ευρυζωνικών Δικτύων Και Δικτύων Νέας Γενιάς» (Οικονομάκου Ευθυμία) Πάτρα 2012
- 7) "Μοντέλο για Τεχνο-οικονομική ανάλυση Δικτύων Οπτικών Ινών (Αθανασοπούλου Αλεξία)
- 8) Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα Οπτικών Ινών (Ηρακλής Αβραμόπουλος) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 9) Τι είναι οι οπτικές ίνες και πως λειτουργούν; - coolweb.gr - Άρθρο
- 10) ICT plus - Συνεντεύξεις – Απόψεις - Συνέντευξη στον Παναγιώτη Χαλαβαζή – <http://www.ictplus.gr/default.asp?pid=29&la=1&op=32>
- 11) Τηλεματική - Συστήματα Οπτικών Τηλεπικοινωνιών (Ιωάννης Δ. Τσαλαμάνης) Καβάλας 2011

- 12) Σύζευξη Οπτικών Ινών Σύστημα Πολλαπλής Ακτινοβολίας Για Τη Φωτοδυναμική Κυκλοκαταστροφή (Αντώνης Τσιριτάς) – Ηράκλειο 2005
- 13) Ανάλυση Και Ανάπτυξη Μεθόδων Σχεδίασης Οπτικών Ευρυζωνικών Δικτύων Νέας Γενιάς (Νικόλαος Γαλανάκης) - Αθήνα, Ιούνιος 2008
- 14) Τεχνοοικονομική Σύγκριση Οπτικής Δικτύωσης Έναντι ADSL Δικτύου (Κυριάκου Κυριακού του Γαβριήλ) Ιούλιος 2009
- 15) Δίκτυα Οπτικών Ινών (Τάτσης Βασίλειος) Άρτα Φεβρουάριος 2015
- 16) Άρθρο - Ευρυζωνικές συνδέσεις, οπτικές ίνες και ψηφιακή οικονομία - Περιφέρεια Αιγαιοπελαγίτικη Ενημέρωση – Αύγουστος 2016
- 17) Βικιπαίδεια - [https://el.m.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://el.m.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x)
- 18) Ευρυζωνικά δίκτυα υποδομές και υπηρεσίες - Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Αθήνα 2010
- 19) Οικονομική Μελέτη Και Ανάλυση Επιχειρηματικών Μοντέλων Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης (Αναστάσιος Γ. Καματερός) Αθήνα Ιούλιος 2012
- 20) Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς (Βασιλόπουλος, Κωτούλας, Ξενικός, Βούδδας, Χελιώτης, Αγαπίου, Δούκογλου) Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- 21) Επιχειρηματικά Μοντέλα Για Την Ανάπτυξη Ευρυζωνικών Υποδομών Συμβολή Ευρυζωνικότητας Στην Τοπική Ανάπτυξη (Γιάννης Καλογήρου, Θόδωρος Καρούνος, Παναγιώτης Παναγιωτόπουλος) Ιούνιος 2009
- 22) «Τεχνική Υποστήριξη Για Την Κατασκευή Μητροπολιτικών Ευρυζωνικών Δικτύων Οπτικών Ινών Στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας» - Ερευνητικό Ακαδημαϊκό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών- ΙΤΥ - Πάτρα 2007

- 23) <<Fiber To The Home Technology: Στρατηγικές Ανάπτυξης Για Την Ελλάδα>>  
(Ειρήνη Β. Μιχοπάνου) Δεκέμβριος 2012
- 24) Ευρυζωνικά Επιχειρηματικά Μοντέλα Αξιοποίησης Οπτικών Δικτυακών Υποδομών  
(Ιωάννη Παπαγιαννοπούλου)
- 25) «Μελέτη Βέλτιστων Πρακτικών Και Στρατηγικών Για Την Ανάπτυξη Δικτύων  
Πρόσβασης Νέας Γενιάς Και Προτάσεις Για Εφαρμογή Τους Στη Χώρα Μας»  
(Μαρία Ν. Ανδρεοπούλου) Πάτρα 2014
- 26) Άρθρο - Business Models for Broadband Municipal Optical Networks: A Proposed  
Model for the Greek Case (Christos Bouras, Apostolos Gkamas, John  
Paragiannopoulos, George Theophilopoulos, Thrasyvoulos Tsiatsos)
- 27) Πρόταση για μοντέλα Ανάπτυξης & Αξιοποίησης Ευρυζωνικών Υποδομών και για  
μοντέλα Παροχής Ευρυζωνικών Υπηρεσιών από MME- ευριζωνικότητα
- 28) Άρθρο -infocome.gr- Πιέζει ασφυκτικά ο χρόνος για τις επενδύσεις σε NGA – προς  
αλλαγή στην ΕΕ ο στόχος για την ταχύτητα σύνδεσης (Τέτη Ηγουμενίδη) 2016
- 29) Οπτικά δίκτυα (Κωνσταντίνος Σ. Χειλάς)
- 30) Άρθρο - «Διαστημικές» ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέσω οπτικών ινών  
προβλέπουν Ρώσοι επιστήμονες- PRO NEWS 2013
- 31) Άρθρο -EurActiv.gr- Καθυστερούν τα μέτρα για την ευρυζωνικότητα σε 19 κράτη  
μέλη (Ρωμανός Αντωνόπουλος) 2016
- 32) Άρθρο - Broadband Subscribers Forecast In The EU 28 - quantum-web 2016
- 33) Άρθρο - Ultra Internet in your home - tim il futuro firmato telecom italia
- 34) Άρθρο - Fibre optique : tout savoir sur le très haut-débit - François Le Gall - arise.com  
2016

- 35) Άρθρο - Crnogorski Telecom Continues Investment In FTTH Networks - Fiber Optic Social Network 2016
- 36) Άρθρο - Υποδομή - Όμιλος Εταιρειών ΟΤΕ
- 37) Άρθρο - Greece reviews national FTTHproject – TeleGeography 2010
- 38) Άρθρο - Sweden: a showcase for rural FTTH - Nadia Babaali - FTTH Council Europe 2013
- 39) “Θεωρητική ανάλυση των φυσικών διαδικασιών απωλειών ισχύος εντός οπτικών ινών και πειραματική επιβεβαίωση του φαινομένου” (Μαργαρίτης Αλέξανδρος) Ναύπακτος 2011
- 40) «Επιχειρηματικά Μοντέλα Αξιοποίησης Δικτυακών Υποδομών: Η Περίπτωση Της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας (Αλκαίος Κ. Τσιλιμάντος) Πάτρα 2005
- 41) Οπτικές Ίνες -Τεχνολογίες FTTx (Αδαμοπούλου Λαμπρινή, Τσιλιγρήστου Ευανθία) Πάτρα 2007
- 42) Μελέτη Βιωσιμότητας για τη Διαδημοτική Εταιρία Ευρυζωνικών Δικτύων Νοτιοδυτικής Ελλάδος (Χρήστος Μπούρας) 2009
- 43) Δίκτυα Οπτικών Ινών στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον (Χρήστος Μπούρας)
- 44) Οδηγός για επενδύσεις σε ευρυζωνικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας - European Commission Μάϊος 2015
- 45) Άρθρο - The energy and carbon footprint of the ICT and E&M sector in Sweden 1990-2015 and beyond - Jens Malmodin, Dag Lundén
- 46) Βέλτιστες Πρακτικές για δίκτυα οπτικών ινών (Χρήστος Μπούρας)



- 47) Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες (Χρήστος Ευθυμίου) Σέρρες 2011
- 48) Εθνικό Σχέδιο Ευρυζωνικής Πρόσβασης Επόμενης Γενιάς - Υπουργείο Οικονομίας, Υποδομών, Ναυτιλίας Και Τουρισμού - Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών Και Ταχυδρομείων Ιούνιος 2015
- 49) Οπτικές Ίνες (Optical Fibers) – Οπτικά Καλώδια
- 50) Optical Switching Networks (Martin Maier) Cambridge University Press 2008
- 51) Συστήματα Επικοινωνιών Με Οπτικές Ίνες (Govind P. Agrawal) Εκδόσεις Τζιόλα 2010
- 52) Οπτικές Ίνες - Ένας Πρακτικός Οδηγός (David R. Goff) Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 1999
- 53) Δίκτυα Υπολογιστών (Tanenbaum, Wetherall) Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2011
- 54) Fiber to the premises by country – Βικιπαίδεια
- 55) Internet in Germany – Βικιπαίδεια

### Ιστοσελίδες

- Υπηρεσίες Προώθησης Ευρυζωνικότητας:  
<http://broadband.cti.gr/>
- ebusiness forum  
<http://www.ebusinessforum.gr/>