

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH –  
Fiber to the Home)**

**Παπαϊωάννου Ιωάννης  
Πλιάκας Στυλιανός**

**ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΝΙΟΣ 2017**

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH – Fiber to the Home)**

**Παπαϊωάννου Χ. Ιωάννης  
Α.Μ. 38549  
Πλιάκας Α. Στυλιανός  
Α.Μ. 36861**

**Εισηγητής:**

**Γιαννακόπουλος Παναγιώτης, Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

**Ζάχαρης Νικόλαος, Καθηγητής  
Φατούρος Σταύρος, Καθηγητής**

**Ημερομηνία εξέτασης 20/6/2017**

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Παπαϊωάννου Ιωάννης του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 38549 και Πλιάκας Στυλιανός του Αποστόλου, με αριθμό μητρώου 36861, φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβουμε την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μας, δηλώνουμε ότι ενημερωθήκαμε για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό της μετάδοσης δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH).

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας, κύριο Γιαννακόπουλο και το οικογενειακό μας περιβάλλον για την υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας καθώς και οποιονδήποτε άλλο συνάδελφο και μη, για τη πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχε.

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)



## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια και κυρίως στις μέρες μας η ολοένα και περισσότερη ζήτηση σε νέες τεχνολογίες και συγκεκριμένα σε τεχνολογίες τηλεπικοινωνίας, είναι δεδομένη. Η βιομηχανία της τεχνολογίας σημειώνει ραγδαία πρόοδο λόγω των απαιτήσεων της εποχής σε όγκο δεδομένων πληροφορίας αναλογικά με τις υπάρχουσες ταχύτητες για τη μεταφορά αυτών ανάμεσα σε επιχειρήσεις ιδιωτικές και δημόσιες. Το ίδιο ισχύει και για τις απαιτήσεις των ανθρώπων οι οποίοι την τελευταία εικοσαετία χρησιμοποιούν την τεχνολογία όχι μόνο για τη διασκέδασή τους αλλά επίσης και ως εργαλείο δουλειάς στο χώρο εργασίας, ο οποίος ενίοτε περιλαμβάνει και την κατοικία.

Έτσι, με την ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων, οι απαιτήσεις αυτές σταδιακά εκπληρώνονται. Μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες των ευρυζωνικών δικτύων είναι τα δίκτυα των οπτικών ινών. Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν την αρχιτεκτονική που ονομάζεται: Ίνα στο σημείο X (FTTX – Fiber to the X) το οποίο σημείο “x” αντιστοιχεί στην τοποθεσία όπου υλοποιείται ένα δίκτυο οπτικής ίνας και το οποίο πλέον δεν περιορίζεται μόνο στο δίκτυο κορμού, αλλά η έκτασή του μπορεί να φτάσει έως και τους τοπικούς βρόχους μιας περιοχής αλλά ακόμα και σε ένα κτήριο ή σε μια κατοικία.

Στην πτυχιακή εργασία που θα εκπονήσουμε, θα αναφερθούμε στη χρησιμότητα κάθε αρχιτεκτονικής δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες (FTTX) και θα περιγράψουμε τα οφέλη των δικτύων οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH – Fiber to the Home) για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και δη της υπηρεσίας μετάδοσης δεδομένων στις μέρες μας. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε όλα τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών τα οποία περιλαμβάνουν τη δομή τους και τις προδιαγραφές τους. Τέλος, θα αναφερθούμε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας FTTH στην Ελλάδα και στο συμπέρασμα αυτής της μελέτης.

## Abstract

In the recent years and mainly nowadays, the increasing demand on new technology and especially on communication is a fact. The industry of technology marks a rapid progress due to the requests of the era in data compared with the existing speeds in transferring them among the private and public businesses. The same goes for the people's demands in the last twenty years who use technology not only for their entertainment, but also as an implement in the working environment, which includes the residence as well.

Therefore with the development of broadband networks, these claims are gradually being accomplished. One of the most important categories of broadband nets is the optical. This uses the so called architecture of FTTX (Fiber to the X) in which the "x" point indicates the location where an optical fiber net is implemented and is no longer limited by the trunk network. Its range can reach the local loop of a location in a building or in a residence.

In the thesis we are going to devise, we will refer to the usefulness of every architectural network that uses optical fibers (FTTX) and we will describe the benefits of FTTH (Fiber to the Home) in the telecommunication services and also the broadcasting data nowadays. Specifically, we'll refer extensively to all the optical fiber features which include their infrastructure and specification. Finally, we'll indicate the development of the FTTH technology in Greece and the conclusion of this research.

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Δίκτυα με οπτικές ίνες, Αρχιτεκτονική FTTH, Αρχιτεκτονική FTTX.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Οπτική ίνα, Μετάδοση δεδομένων, Αρχιτεκτονική δικτύων, FTTX – FTTH.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>13</b>
<b>Κεφάλαιο 1: Η Έννοια και η Χρήση των Οπτικών Ινών.....</b>	<b>15</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή .....	15
1.2 Οπτική ίνα- εννοιολογική προσέγγιση.....	16
1.3 Λειτουργία της οπτικής ίνας .....	19
<b>Κεφάλαιο 2: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι τύποι των οπτικών ινών</b>	<b>21</b>
2.1 Τύποι οπτικών ινών .....	21
2.1.1 Πολύτροπες ίνες (multimode) .....	21
2.1.2 Μονότροπες ίνες (single mode fiber) .....	23
2.2 Απώλειες εξασθένησης στις οπτικές ίνες.....	24
2.2.1 Εσωτερικοί παράγοντες.....	24
2.2.2 Εξωτερικοί παράγοντες .....	25
2.3 Διάμετρος καλωδίων.....	27
2.4 Περιβαλλοντικές παράμετροι .....	27
2.5 Διασπορά (Dispersion) .....	27
2.5.1 Χρωματική ή ενδοτροπική διασπορά (intramodal dispersion) .....	28
2.5.2 Διατροπική ή τροπολογική διασπορά (intermodal dispersion).....	29
2.5.3 Διασπορά τρόπου πόλωσης (polarization mode dispersion).....	29
2.6 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών .....	29
2.7 Μειονεκτήματα οπτικών ινών .....	30
2.8 Εφαρμογές των οπτικών ινών .....	31
2.9 Το φαινόμενο RIN στις οπτικές ίνες .....	32
2.9.1 MFD και ενεργός περιοχή μονότροπης ίνας.....	33
2.9.2 Οπτική απώλεια επιστροφής ORL.....	34
2.9.3 Αποτελέσματα των υψηλών τιμών ORL .....	35
<b>Κεφάλαιο 3: Οπτικός πομπός και δέκτης.....</b>	<b>37</b>
3.1 Οπτικός πομπός.....	37
3.2 Οπτικός δέκτης .....	38
3.3 Πολυπλεξία στα οπτικά δίκτυα (WDM) .....	39

3.4 Οπτικοί ενισχυτές.....	40
3.5 Παράμετροι οπτικών ενισχυτών.....	41
3.6 Οπτικοί πολυπλέκτες- αποπολυπλέκτες.....	42
<b>Κεφάλαιο 4: FTTX - Αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση δεδομένων σε οπτικά δίκτυα .....</b>	<b>44</b>
4.1 Τί είναι το FTTX .....	45
4.1.1 Κατηγορίες αρχιτεκτονικής FTTX.....	46
4.2 Ανάλυση των τεχνολογιών της αρχιτεκτονικής FTTX.....	49
4.2.2 FTTN/FTTC/FTTB/FTTH.....	52
4.3 Διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις αρχιτεκτονικές FTTX....	56
<b>Κεφάλαιο 5: FTTH – Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στην κατοικία.....</b>	<b>58</b>
5.1 Δομή ενός δικτύου FTTH .....	58
5.2 Διάταξη σημείο προς σημείο (Home run fiber, point-to-point).....	59
5.3 Ενεργός Διαχωρισμός (AON) .....	59
5.4 Παθητικός Διαχωρισμός (PON) .....	60
5.5 Υβριδικά δίκτυα PON .....	62
5.6 Home Run δίκτυα .....	63
5.7 Δίκτυα TDM PONs.....	64
5.8 Πρωτόκολλα ATM και Ethernet.....	67
5.9 Δίκτυα WDM PONs.....	69
<b>Κεφάλαιο 6: FTTH στην Ελλάδα .....</b>	<b>70</b>
6.1 Πάροχοι FTTH στην Ελλάδα.....	71
6.1.1 Όμιλος Nova.....	71
6.1.2 Όμιλος COSMOTE .....	73
6.1.3 Όμιλος Wind.....	74
6.1.4 Inalan.....	75
6.1.5 HCN.....	76
<b>Συμπέρασμα – Επίλογος .....</b>	<b>78</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>79</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνες	Τίτλος εικόνας	Σελίδα
Εικόνα 1.1	Η δομή της οπτικής ίνας	18
Εικόνα 1.2	Σφιχτός και χαλαρός σχεδιασμός οπτικών ινών	19
Εικόνα 1.3	Φαινόμενο διάθλασης σε οπτική ίνα	20
Εικόνα 2.1	Κατηγορίες οπτικών ινών	21
Εικόνα 2.2	Διάμετρος των πυρήνων μονότροπων και πολύτροπων	22
Εικόνα 2.3	Μετάδοση σε πολύτροπες και μονότροπες οπτικές ίνες	23
Εικόνα 2.4	Σκέδαση	25
Εικόνα 2.5	Απορρόφηση	25
Εικόνα 2.6	Κάμψεις της ίνας	26
Εικόνα 2.7	Το φαινόμενο RIN	33
Εικόνα 2.8	MFD μονότροπης ίνας	34
Εικόνα 2.9	Η ενεργός περιοχή μονότροπης ίνας	34
Εικόνα 3.1	Διαφορές LED και Laser πομπών	38
Εικόνα 3.2	Οπτικός πομπός (LED/Laser)	38
Εικόνα 3.3	Εκπομπή/ λήψη σε διαφορετικές οπτικές ίνες	42
Εικόνα 3.4	Εκπομπή/ λήψη σε μια οπτική ίνα	42
Εικόνα 3.5	Οπτικός διασταυρωτήρας	43
Εικόνα 4.1	Ενδεικτικές κατηγορίες FTTH	46
Εικόνα 4.2	Δίκτυο Οπτικών Ινών	50
Εικόνα 4.3	Τοπολογία	50
Εικόνα 4.4	Αρχιτεκτονικές FTTH N/C/B/H	52
Εικόνα 5.1	Ενεργός Διαχωρισμός (AON)	60
Εικόνα 5.2	Παθητικός Διαχωρισμός (PON)	62
Εικόνα 5.3	Υβριδικά δίκτυα PON	63
Εικόνα 5.4	Οπτικό τερματικό δικτύου Home Run	64
Εικόνα 6.1	Διαθεσιμότητα Νова FTTH στην Νέα Σμύρνη, Μάιος 2017	72
Εικόνα 6.2	Δίκτυο παροχής Inalan FTTH και μελλοντικό πλάνο	76
Εικόνα 6.3	Δίκτυο κάλυψης HCN	77

## Εισαγωγή

Ένα από τα κυριότερα ζητήματα στον τομέα των δικτύων την τελευταία δεκαετία είναι η διαρκώς αυξανόμενη των απαιτήσεων για εύρος ζώνης στα εσωτερικά δίκτυα των επιχειρήσεων, αλλά και σε δίκτυα μεγαλύτερης εμβέλειας όπως το διαδίκτυο. Η αύξηση της ανάγκης για ευρύτερων δυνατοτήτων δίκτυα δεν προήλθε μονό από τη ραγδαία αύξηση των χρηστών του διαδικτύου, αλλά κυρίως από τις απαιτήσεις των νέων δικτυακών εφαρμογών που καθιστούν τους χρήστες ακόμα πιο απαιτητικούς σε σχέση με την χρήση του διαδικτύου (Augusto & Nugget, 2006).

Η ιδέα της επικοινωνίας με τη χρήση φωτός υπήρξε πολύ πριν την εφεύρεση των οπτικών ινών. Ωστόσο, έπρεπε να περάσουν αρκετά χρόνια ώστε να υπάρξει η μετάβαση από τα πρώτα οπτικά μέσα στις οπτικές ίνες. Η ανάγκη της διάδοσης φωτός μέσα από καλώδια τα οποία αναγκαστικά θα περιέχουν γωνιές, οδήγησε στην εφεύρεση των οπτικών ινών (fiber optics), οι οποίες έλυσαν το πρόβλημα της αποκλειστικά γραμμικής μετάδοσης του φωτός. Στην εποχή μας, όλα τα δίκτυα κορμού στηρίζονται σε οπτικές ίνες και μπορούν να έχουν πρακτικά απεριόριστο εύρος ζώνης, απλά αναβαθμίζοντας τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό τους. Ωστόσο, τα περισσότερα δίκτυα πρόσβασης αποτελούνται ακόμη από τα συμβατικά καλώδια χαλκού.

Παράλληλα, η μετάδοση της ολοένα και αυξανόμενης σε όγκο πληροφορίας θα πρέπει να γίνεται με λογικό κόστος και σε λογικό χρονικό διάστημα. Με μικρές απώλειες στη μετάδοση, χαμηλή παρέμβαση ιδιαίτερα σε υψηλό εύρος ζώνης, η οπτική ίνα φαντάζει και είναι ένα σχεδόν ιδανικό μέσο μετάδοσης. Οι οπτικές ίνες μπορούν να επιτύχουν ταχύτητα μετάδοσης που πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως (Banerjee & Sirbu, 2009).

Οι επικοινωνίες μέσω οπτικών ινών βασίζονται στην αρχή ότι μέσα σε ένα γυάλινο μέσο, το φως μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε σχέση με τα ηλεκτρικά σήματα μέσα σε

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

ένα χάλκινο ή ομοαξονικό μέσο. Η καθαρότητα της σημερινής οπτικής ίνας, σε συνδυασμό βέβαια με τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, επιτρέπει στις οπτικές ίνες να διαβιβάσουν τα ψηφιοποιημένα φωτεινά σήματα πετυχημένα, σε μεγαλύτερες αποστάσεις από 100 χλμ. (60 μίλια) και χωρίς ανάγκη ενίσχυσης (Siderius & Dijkstra, 2006).

Παρόλο που υπάρχουν διάφορες ευρυζωνικές τεχνολογίες που βασίζονται στα ενσύρματα καλώδια, καμία από τις τεχνολογίες αυτές δεν υπόσχεται μια μακροπρόθεσμη λύση για τις απαιτητικές εφαρμογές του άμεσου μέλλοντος. Η μόνη ρεαλιστική μακροπρόθεσμη λύση που έχει παρουσιαστεί μέχρι τις μέρες μας είναι η προσέγγιση των οπτικών ινών μέχρι τους χρήστες, τεχνολογία γνωστή και ως Fiber To The Home (FTTH) (Augusto & Nugget, 2006).

## Κεφάλαιο 1: Η Έννοια και η Χρήση των Οπτικών Ινών

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Οι άνθρωποι από τα πρώτα χρόνια αντιλήφθηκαν την ικανότητα του φωτός και τη χρησιμότητά του στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Στην προσπάθειά τους να μεταφέρουν κωδικοποιημένα μηνύματα σε μεγάλη απόσταση και σε σύντομο χρονικό διάστημα, ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν το φως ώστε να στέλνουν τα μηνύματα αυτά μακριά. Πιο συγκεκριμένα οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τη φωτιά ανάβοντάς την σε ψηλά σημεία των βουνών με σκοπό να μεταδώσουν οποιαδήποτε πληροφορία χρειαζόταν καθώς θεωρούσαν αναγκαίο να καταφέρουν να επικοινωνήσουν από απόσταση.

Ακόμα στα τέλη του 19<sup>ου</sup> και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα συνέχιζαν πολλές φορές να χρησιμοποιούν ειδικούς φακούς σε στεριά και θάλασσα και τους αναβόσβηναν σαν να στέλνουν σήματα Μορς, παρόλο που είχε ανακαλυφθεί η ενσύρματη επικοινωνία (Volotinen, 1999). Σε κάθε περίπτωση η επικοινωνία γινόταν μέσω του αέρα, γεγονός που δυσκόλευε τη μεταφορά του μηνύματος και τη κατανόησή του από τον παραλήπτη ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κακοκαιρίας, ομίχλης, υγρασίας ή κατά τη διάρκεια της ημέρα όπου το φως του ήλιου απέκρυπτε κάθε άλλη φωτεινή πηγή.

Στη σύγχρονη εποχή όπου υπάρχει συνεχής και ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, η επικοινωνία συνεχίζει να πραγματοποιείται μέσω της χρήσης του φωτός- άλλωστε τίποτα δεν μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός (Αλεξανδρής, 2002) - με μόνη και ουσιαστική διαφορά πως μεταδίδεται μέσω του γυαλιού, σε ειδικό αντανακλαστικό υλικό που το περιβάλλει. Πρόκειται για τις οπτικές ίνες που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν πληροφορίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων, με αποτέλεσμα να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης τηλεπικοινωνίας των ανθρώπων σε ολόκληρο τον πλανήτη (Khare, 2004).



Όσον αφορά τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης, από τις αρχές είχαν ως στόχο να μεταδίδουν από απόσταση όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες χωρίς απώλειες και σφάλματα. Κατά τη πρώτη γενιά μετέδιδαν το σήμα μέσω μεταλλικών και χάλκινων καλωδίων και ο έλεγχος για την εγκαθίδρυση των καναλιών και ομιλιών γινόταν χειροκίνητα. Έπειτα η αναλογική μετάδοση έγινε ψηφιακή και η μεταγωγή και επεξεργασία του σήματος γινόταν σε ψηφιακή μορφή. Στην τρίτη γενιά, δηλαδή στην υβριδική εποχή, η οπτική ίνα αποτέλεσε βασικό συστατικό της μετάδοσης και η μεταγωγή είναι πλέον ψηφιακή ηλεκτρονική. Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων με όσο το δυνατόν ελάχιστες απώλειες (Lizuka, 1998).

Σχετικά με το ασύρματο πεδίο επικοινωνιών, μόλις το 2008 χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία Wi-Max ώστε να καλύπτονται και οι πιο δυσπρόσιτες περιοχές της χώρας. Τα παραδοσιακά δίκτυα αναπτύχθηκαν πάνω στην αναλογική μετάδοση και παρόλο που υπήρχε η ψηφιακή μετάδοση, το σήμα μετατρέποταν σε αναλογικό ώστε να υπάρχει συμβατότητα με τις συσκευές τηλεφωνίας. Τέλος η εφεύρεση του Ίντερνετ έγινε στα τέλη της δεκαετίας του '60 αλλά μόλις στις αρχές του '90 χρησιμοποιήθηκαν τα 56kbps για να πραγματοποιηθεί η πρώτη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (Nosu, 1997).

## 1.2 Οπτική ίνα- εννοιολογική προσέγγιση

Οι οπτικές ίνες αποτελούν μια μέθοδο μετάδοσης πληροφοριών μέσω της μορφής παλμών φωτός και μπορεί να έχουν ως φωτεινή πηγή είτε κάποιο είδος LED είτε laser. Τα καλώδια των οπτικών ινών χρησιμοποιούν συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός (Randy, 2000), που μετριοούνται σε νανόμετρα (nanometers), ανάμεσα σε δύο συνεχόμενες κορυφές ενός κύματος φωτός που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Κάθε τύπος ηλεκτρικού σήματος που έχει τη δυνατότητα να μετατραπεί σε παλμούς φωτός μπορεί να μεταδοθεί μέσα από ένα καλώδιο οπτικών ινών (Nellist, 1996).

Τα καλώδια των οπτικών ινών έχουν κατασκευαστεί με παρόμοιο τρόπο όπως τα χάλκινα καλώδια μόνο που διαφέρουν στο εσωτερικό υλικό το οποίο αποτελείται από γυαλί. Έτσι έχουμε χρήση γυαλιού για τη μετάδοση των παλμών φωτός και όχι χάλκινου αγωγού για τη μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων. Στα καλώδια των οπτικών ινών, το γυαλί προστατεύεται από μια μορφή προστατευτικού μονωτικού υλικού που το περιβάλλει και ουσιαστικά καλύπτει όλη τη συγκρότηση του καλωδίου. Κάποια καλώδια περιλαμβάνουν και μια θωράκιση του καλωδίου ως προαιρετικό συστατικό.

Στο εσωτερικό κάθε καλωδίου οπτικής ίνας υπάρχουν δύο ίνες, η κάθε μία σε διαφορετικές θήκες. Οι ίνες αυτές έχουν αντίθετες κατευθύνσεις καθώς η πρώτη χρησιμεύει για να στέλνει δεδομένα ενώ η δεύτερη για να λαμβάνει δεδομένα. Λειτουργούν με τέτοιο τρόπο που επιτρέπουν μια full- duplex επικοινωνία ενώ δε συμβαίνει το ίδιο στα χάλκινα καλώδια που έχουν δύο διαφορετικά ζευγάρια καλωδίων αποστολής και λήψης δεδομένων.

Πιο αναλυτικά η οπτική ίνα αποτελείται από λεπτά νήματα κατασκευασμένα από γυαλί μεγάλης καθαρότητας με σκοπό να καθοδηγούν το φως, δηλαδή να μεταφέρουν τις πληροφορίες από τον πομπό στον δέκτη μέσω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Χωρίζεται σε τρία μέρη καθένα από τα οποία είναι από διαφορετικά υλικά με διαφορετικό δείκτη διάθλασης ώστε να πραγματοποιούν τη μεταφορά του φωτός. Στο κέντρο της ίνας βρίσκεται ο πυρήνας (Core) μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά του φωτός. Επιτρέπει να περνάνε πολλές ακτίνες φωτός ταυτόχρονα αλλά μόνο αν η γωνία τους ανήκει στο φάσμα ανοίγματος του πυρήνα δηλαδή στη γωνία πρόσπτωσης. Πρόκειται για γυαλί φτιαγμένο από μείγμα διοξειδίου πυριτίου και άλλων στοιχείων. Η διάμετρος ποικίλει, από 8.3μm (μονότροπες ίνες), 50μm, 62μm (πολύτροπες ίνες) και φτάνει έως 100μm.



Εικόνα 1.1: Η δομή της οπτικής ίνας

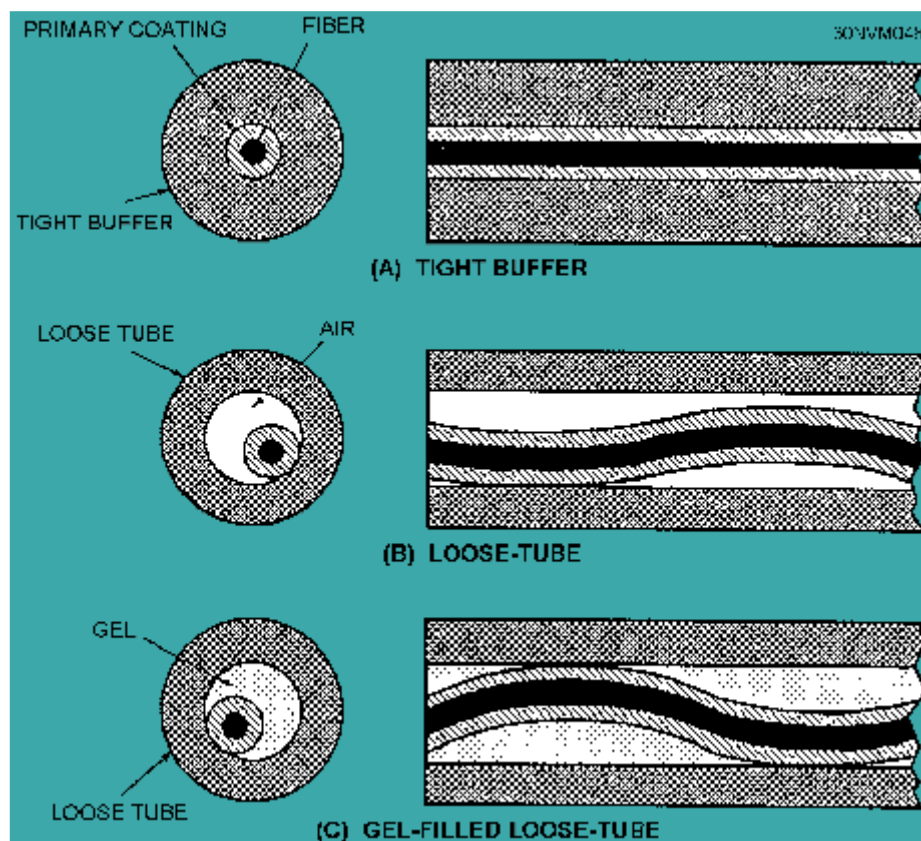
Τον πυρήνα περιβάλλει ο μανδύας (cladding). Η διάμετρος της επένδυσης αυτής είναι 125μm, έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από του πυρήνα ώστε το φως να μη περνάει την επένδυση αλλά να παραμένει στην περιοχή του πυρήνα και να μην χάνει την ισχύ του (Sharma, 1999). Μαζί με τον πυρήνα έχουν κατασκευαστεί από ίδιο υλικό, σαν ενιαίο κομμάτι γυαλιού με ελάχιστες διαφορετικές συνθέσεις.

Τον μανδύα περιβάλλει μια περιοχή που ονομάζεται απομονωτής (Buffer) και φτιάχνεται από πλαστικό για να διατηρεί την αντοχή του γυαλιού της ίνας. Η διάμετρος είναι 250μm, 500μm ή 900μm. Υπάρχουν δύο τύποι καλωδίων ανάλογα με τον σχεδιασμό τους, ο σφιχτός σχεδιασμός tight-buffered και ο χαλαρός σχεδιασμός loose-tube. Ο tight-buffered σχεδιασμός περιλαμβάνει καλώδια με μικρό μέγεθος, εύκαμπτα και εύκολα προς εγκατάσταση. Χρησιμοποιούνται σε εσωτερικές εγκαταστάσεις γιατί δεν προστατεύουν το γυαλί της οπτικής ίνας και δεν παρέχουν αντοχή στις αλλαγές της θερμοκρασίας.

Εν αντιθέσει ο σχεδιασμός loose-tube καλύπτει τις παραπάνω αδυναμίες καθώς η κατασκευή του βασίζεται στην έγχυση ενός ειδικού ζελέ στα καλώδια ώστε να προστατεύονται από το νερό και να τοποθετούνται σε εξωτερικά περιβάλλοντα. Ένα υλικό όμως που περιέχει πετρέλαιο με

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

αποτέλεσμα να είναι εύφλεκτο και να μην ενδείκνυται για εσωτερική εγκατάσταση.



Εικόνα 1.1: Σφιχτός και χαλαρός σχεδιασμός οπτικών ινών

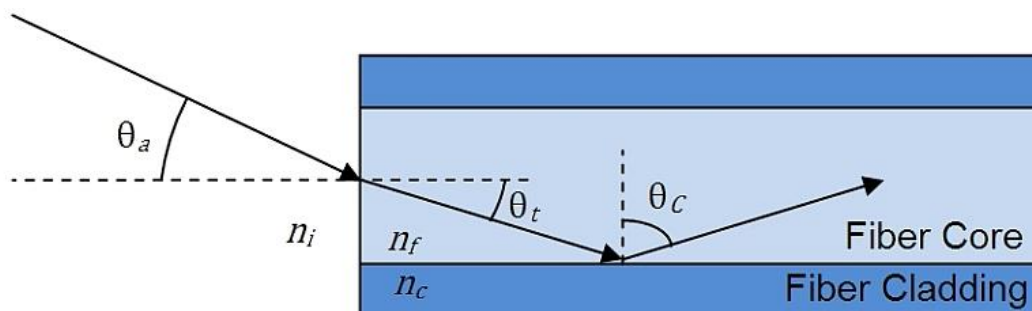
Η οπτική ίνα στο εξωτερικό της έχει την επικάλυψη (coating) που την προστατεύει από κάποια πιθανή βλάβη, από την υγρασία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες και έχει συνήθως πορτοκαλί χρώμα (Culshaw, 1997).

### 1.3 Λειτουργία της οπτικής ίνας

Η διάδοση του φωτός μέσα από μια οπτική ίνα καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες:

- Τον δείκτη διάθλασης
- Την ολική ανάκλαση
- Το νόμο του Snell
- Το αριθμητικό άνοιγμα- γωνία πρόσπτωσης

Αρχικά το φως για να μπορεί να διαδοθεί από το γυαλί, εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης του, δηλαδή από τον λόγο της ταχύτητας του φωτός στο κενό. Πρόκειται για τη ταχύτητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προς τη ταχύτητά του στο μέσο διάδοσης. Ο νόμος του Snell κάνει λόγο για τις γωνίες ανάκλασης  $\alpha_i$  και διάθλασης  $\alpha_r$  μέσω των δεικτών διάθλασης των ολικών. Σύμφωνα με την εξίσωση  $n_1 \sin \alpha_i = n_2 \sin \alpha_r$  όταν η γωνία πρόσπτωσης αυξάνει, η γωνία διάθλασης πλησιάζει τις 90 μοίρες. Τότε η γωνία πρόσπτωσης που δημιουργεί μια γωνία διάθλασης 90μοιρών ονομάζεται κρίσιμη ή οριακή γωνία (Critical Angle). Η αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης πάνω από τη κρίσιμη γωνία οδηγεί σε ολική εσωτερική ανάκλαση. Όταν υπάρχει εσωτερική ανάκλαση, η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.



Εικόνα 1.3: Φαινόμενο διάθλασης σε οπτική ίνα

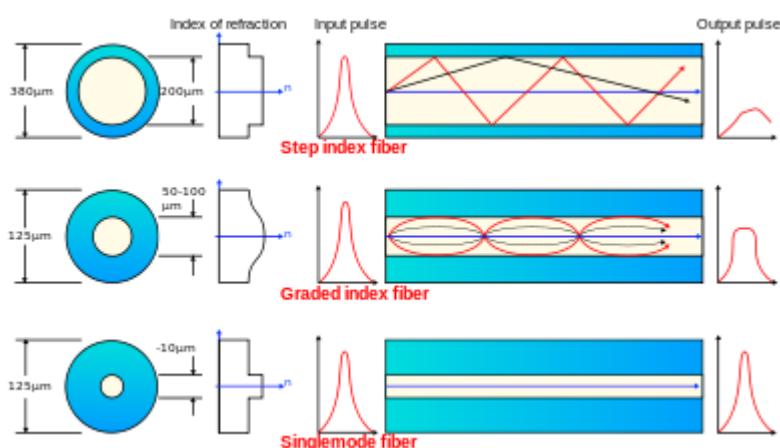
Ο πυρήνας της οπτικής ίνας έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από τον μανδύα επιτρέποντας την εσωτερική ολική ανάκλαση. Όταν το φως εισέλθει στον πυρήνα με γωνία κατάλληλη για ολική εσωτερική ανάκλαση, τότε προχωρεί ανακλώμενο στην επιφάνεια ανάμεσα στον πυρήνα και στον μανδύα. Αν όμως εισέλθει με γωνία που δεν επαρκεί και είναι μικρότερη από την κρίσιμη γωνία τότε διαθλάται στον μανδύα και χάνεται.

Η κρίσιμη γωνία για τις οπτικές ίνες καθορίζεται από το αριθμητικό άνοιγμα της ίνας ως ένας κώνος. Με άλλα λόγια είναι το ημίτονο της μέγιστης γωνίας εισόδου μιας ακτίνας φωτός στον πυρήνα ώστε να διαδοθεί μέσα στην οπτική ίνα με εσωτερική ολική ανάκλαση. Όσον αφορά την γωνία υποδοχής της ίνας, έχει μέγεθος της μισής γωνίας του κώνου φωτός που μπορεί να πέσει πάνω στην οπτική ίνα και να ανακληθεί ολικά.

## Κεφάλαιο 2: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι τύποι των οπτικών ινών

### 2.1 Τύποι οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες (Hayes, 2005): την πολύτροπη ίνα βηματικού ή βαθμιαίου δείκτη (Multimode fiber MM) και την μονότροπη ίνα (Singlemode fiber SM) σύμφωνα με το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας. Η διάκριση αυτή κάνει και τη μετάδοση του φωτός να είναι διαφορετική ανάμεσα στις ίνες καθώς και η πορεία (modes) που μπορούν να ακολουθήσουν μέσα στον πυρήνα είναι περιορισμένη ανάλογα με το μέγεθος (Agrawal, 2001).



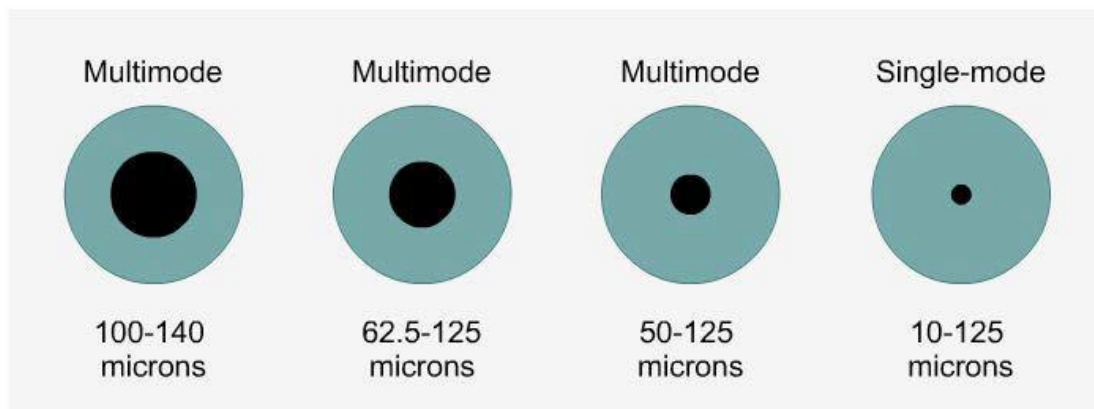
Εικόνα 2.1: Κατηγορίες οπτικών ινών

#### 2.1.1 Πολύτροπες ίνες (multimode)

Η πολύτροπη ίνα ήταν ο πρώτος τύπος που εμπορευματοποιήθηκε και είχε μεγαλύτερο πυρήνα από τη μονότροπη. Χαρακτηρίζεται είτε ως ίνα βηματικού δείκτη καθώς ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας είναι ένα στάδιο παραπάνω από το δείκτη του μανδύα είτε ως ίνα βαθμιαίου δείκτη όπου ο δείκτης διάθλασης του μανδύα αλλάζει βαθμιαία. Οι πολύτροπες ίνες βηματικού και βαθμιαίου δείκτη αυξάνουν την ευκολία σύζευξης του φωτός στον πυρήνα. Έτσι επιτυγχάνουν να συνδεθούν με πηγές φωτός χαμηλότερου

κόστους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι πως τόσο η διασπορά όσο και η εξασθένιση είναι μεγάλη.

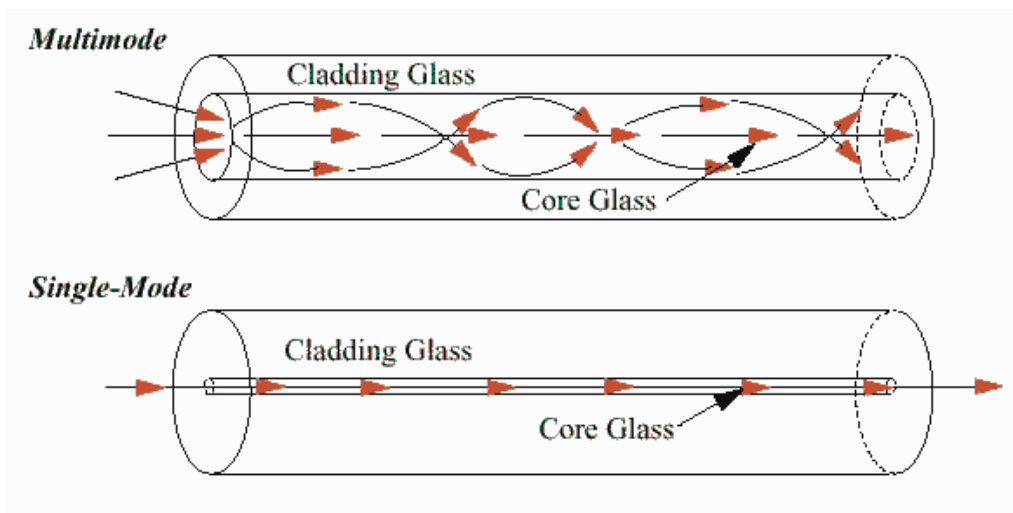
Πιο αναλυτικά μια πολύτροπη ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης ( Step-Index Fiber) επιτρέπει στην ακτίνα φωτός να διαδοθεί μέσα στην ίνα με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Το φως μπορεί να περνά στο κέντρο του πυρήνα ως μια ευθεία γραμμή, να σχηματίζει μια απότομη γωνία και να αναπηδά μπροστά και πίσω κάνοντας ολική εσωτερική ανάκλαση ή τέλος να υπερβαίνει τη κρίσιμη γωνία και όπως διαθλάται να διαπερνά τον μανδύα και να χάνεται στην ατμόσφαιρα. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις το φως φτάνει από το ένα άκρο της ίνας στο άλλο, αλλά με αισθητή διαφορά στη χρονική διάρκεια που χρειάζεται να διασχίσει την απόσταση της ίνας (οπτικός δρόμος). Αυτή η ανομοιογένεια ανάμεσα στους χρόνους άφιξης των ακτινών φωτός θεωρείται η διασπορά η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα παραμορφωμένο σήμα στο άκρο της λήψης.



Εικόνα 2.2: Διάμετρος των πυρήνων μονότροπων και πολύτροπων

Για να μπορέσει να αντισταθμιστεί η χρονική αυτή διαφορά, δημιουργήθηκαν οι βαθμιαίου δείκτη πολύτροπες ίνες (Graded- Index Fiber). Η διαφορά μεταξύ τους είναι στο δείκτη διάθλασης του πυρήνα που σταδιακά ελαττώνεται σε σχέση με τον δείκτη του κέντρου του πυρήνα. Αυτή η αυξημένη διάθλαση στο κέντρο του πυρήνα σε αντίθεση με την άκρη λήψης,

επιβραδύνει τις ακτίνες φωτός με σκοπό να κινούνται με την ίδια ταχύτητα και να φτάνουν περίπου τον ίδιο χρόνο στην άκρη λήψης μειώνοντας έτσι τη διασπορά. Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα. Οι ακτίνες του φωτός κινούνται μέσα στην ίνα με ελικοειδή τρόπο και βαθμιαία κλείνουν πίσω προς το κέντρο του δείκτη διάθλασης που ελαττώνεται συνεχώς.



Εικόνα 2.3: Μετάδοση σε πολύτροπες και μονότροπες οπτικές ίνες

### 2.1.2 Μονότροπες ίνες (single mode fiber)

Από την άλλη μεριά η μονότροπη ίνα με τον μικρότερο πυρήνα αποδείχτηκε ότι επιτρέπει μεγαλύτερη ποσότητα πληροφοριών να μετακινείται ακολουθώντας πιστά τους παλμούς φωτός για μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιώντας ένα infrared laser οι ακτίνες εισέρχονται στον πυρήνα με γωνία 90 μοιρών ακολουθώντας μια ευθεία πορεία ώστε να μην παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά από τις πολλαπλές ακτίνες ή τους τρόπους διάδοσης (propagation modes) με αποτέλεσμα να μεταδίδονται ανά μονάδα χρόνου όλο και περισσότερες πληροφορίες σε αποστάσεις 3000 μέτρων. Επίσης έχει χαμηλότερη εξασθένηση σε σχέση με την πολύτροπη. Η διάμετρος του πυρήνα της μονότροπης ίνα είναι από 8 έως 12  $\mu\text{m}$ , του μανδύα 125 $\mu\text{m}$  και της επικάλυψης 250 $\mu\text{m}$ . Οι μονότροπες ίνες και τα laser στοιχίζουν περισσότερο από τις πολύτροπες ίνες και τα led και συνήθως χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους.



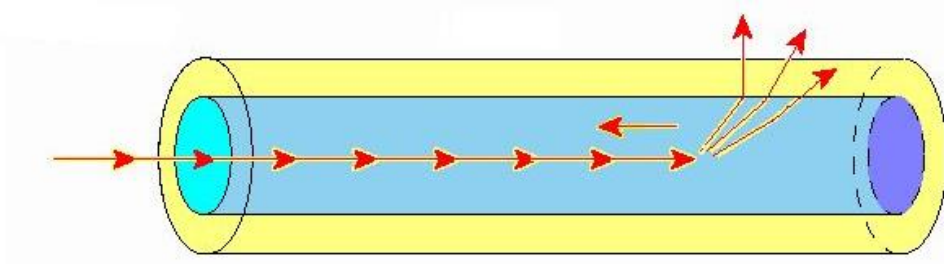
## 2.2 Απώλειες - εξασθένηση στις οπτικές ίνες

Οι απώλειες εξασθένησης στις οπτικές ίνες αποτελεί μια λογαριθμική σχέση ανάμεσα στην εξερχόμενη οπτική ισχύ και στην εισερχόμενη οπτική ισχύ σε ένα σύστημα οπτικής ίνας. Οι παράγοντες που προκαλούν την εξασθένηση χωρίζονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς και αφορούν τον περιβάλλον λειτουργίας και τις παραμέτρους εγκατάστασης. Οι παράγοντες αυτοί δεν εμφανίζονται όλοι μαζί αλλά αντίθετα εξαρτάται από την περίπτωση και τον τρόπο εφαρμογής την ίνας όπως για παράδειγμα στην περίπτωση χρήσης της σε σωληνώσεις όπου δεν χρειάζεται να υπολογιστούν προδιαγραφές φορτίου σύνθλιψης (Culshaw, 1997).

### 2.2.1 Εσωτερικοί παράγοντες

#### Σκέδαση( Scattering)

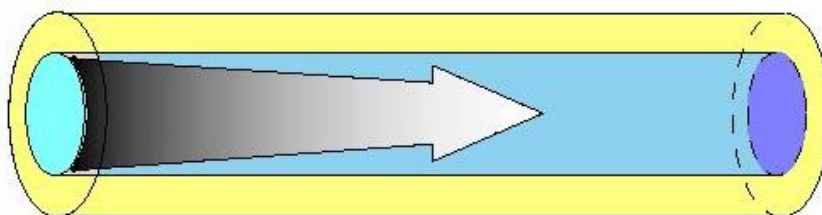
Η σκέδαση Rayleigh αποτελεί τον ισχυρότερο μηχανισμό εξασθένησης των ακτινών φωτός στο εσωτερικό της οπτικής ίνας. Προκαλείται από μικροσκοπικές ανομοιομορφίες στην οπτική ίνα και συγκεκριμένα επιτρέπει στο φως να διασκορπιστεί κατά ένα μέρος με αποτέλεσμα να χάνεται. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 90% της ολικής εξασθένησης των οπτικών ινών οφείλεται στη σκέδαση και σημαντικό ρόλο παίζει το μέγεθος της σύνθεσης του γυαλιού σε σύγκριση με το μέγεθος του μήκους κύματος του φωτός. Συγκεκριμένα όσο πιο μεγάλο είναι το μήκος κύματος τόσο λιγότερο θα επηρεάζει, δηλαδή ο συντελεστής εξασθένησης ( $\alpha$ ) ελαττώνεται όταν το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) αυξάνεται και είναι ανάλογο προς  $\lambda^{-4}$ .



Εικόνα 2.4: Σκέδαση

### Απορρόφηση (absorption)

Ένας ακόμα εσωτερικός παράγοντας εξασθένησης της οπτικής ίνας είναι η απορρόφηση. Προκαλείται από τη μοριακή δομή του υλικού ή από προσμίξεις στην ίνα όπως τα μεταλλικά ιόντα και τα ιόντα νερού  $\text{OH}_2$  ή από ατομικές ατέλειες όπως ανοξειδωτα μέταλλα στη σύνθεση του γυαλιού. Εξαιτίας των ιόντων παρουσιάζονται οπτικές απώλειες σε μήκη κύματος 1250 και 1390 nm ενώ πάνω από 1700 nm μήκος κύματος, το γυαλί απορροφά την ενέργεια φως λόγω του μοριακού συντονισμού του μορίου  $\text{SiO}_2$ . Κατά την απορρόφηση, το φως γίνεται πιο αδύναμο επειδή η οπτική ίνα καταναλώνεται σε ένα μικρό ποσό θερμότητας από τις παραπάνω ακαθαρσίες.



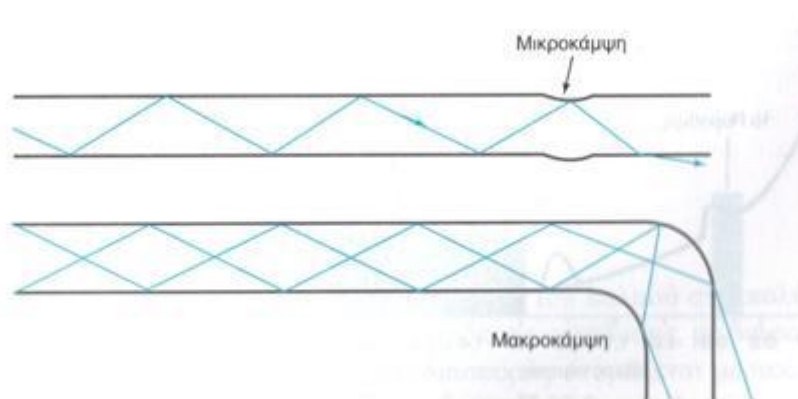
Εικόνα 2.5: Απορρόφηση

### 2.2.2 Εξωτερικοί παράγοντες

Οι εξωτερικοί παράγοντες που εξασθενούν την οπτική ίνα περιλαμβάνουν παραγόμενες τάσεις καλωδίων, περιβαλλοντικές επιδράσεις και φυσικές κάμψεις της ίνας.

## Κάμψεις (bends)

Οι φυσικές κάμψεις μιας οπτικής ίνας διακρίνονται σε μικροκάμψεις και μακροκάμψεις. Οι μικροκάμψεις είναι το αποτέλεσμα από μικρές ατέλειες που υπάρχουν στη γεωμετρία της ίνας, οι οποίες ίσως είναι περιστροφικές ασυμμετρίες, εμπόδια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος, αποτέλεσμα του τρόπου κατασκευής, της μηχανικής τάσης, της στροφής, της πίεσης ή αλλαγές στη διάμετρο του πυρήνα. Οι μακροκάμψεις σχετίζονται με την κυρτότητα της ίνας με διαμέτρους της τάξεως των cm. Λόγω της διάθλασης αντί ολικής ανάκλασης στο όριο του πυρήνα και του περιβλήματος προκαλείται απώλεια της οπτικής ισχύος.



Εικόνα 2.6: Κάμψεις της ίνας

Με άλλα λόγια λοιπόν, μια ελάχιστη ακτίνα θα επιτρέψει να καμφθεί το καλώδιο εξαιτίας των υλικών κατασκευής του, γεγονός που προσδιορίζεται με την μελέτη των χώρου εγκατάστασης του καλωδίου ώστε να βρεθεί η ακτίνα κάμψης (Byoung, 1999). Αξίζει να σημειωθεί ότι στις μονότροπες ίνες όπου αυξάνεται το πεδίο της διαμέτρου με το μήκος κύματος, οι μακροκάμψεις θα προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες όταν τα μήκη κύματος θα είναι μεγάλα. Σε αυτή την απώλεια συμβάλλουν δευτερογενείς και τριτογενείς παράγοντες.

### 2.3 Διάμετρος καλωδίων

Η διάμετρος των καλωδίων παίζει καθοριστικό ρόλο για την εγκατάσταση της οπτικής ίνας σε σωληνώσεις. Ο διαθέσιμος χώρος πρέπει να προβλέπεται ώστε να επιλέγεται σωστά η κατάλληλη καλωδίωση. Σε περιπτώσεις μικρής διαμέτρου οι σχεδιάσεις MFPT είναι οι πιο κατάλληλες (Culshaw, 1997). Σε περιπτώσεις εμπειροχόμενων καλωδίων πρέπει η διάμετρος να είναι μικρότερη από τη διάμετρο του βύσματος σύνδεσης (Nosu, 1997).

### 2.4 Περιβαλλοντικές παράμετροι

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι επηρεάζουν την ορθή λειτουργία του καλωδίου της ίνας στο περιβάλλον όπου βρίσκεται. Οι παράμετροι αυτές είναι οι 11 παρακάτω (Nellist, 1996):

Η αντοχή στις εκδορές

- Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης
- Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας
- Η αντοχή στο νερό και στην υγρασία
- Η αντίσταση στην πυρκαγιά
- Η αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία
- Η αντοχή στις ραδιενέργειες
- Η αντοχή στην τοξικότητα
- Η αντίσταση στην αγωγιμότητα υπό υψηλά σημεία τάσης
- Η αντίσταση στις συγκρούσεις
- Η αντοχή σε καταστροφές από τρωκτικά

### 2.5 Διασπορά (Dispersion)

Η διασπορά αναφέρεται στη διεύρυνση των παλμών φωτός όπως αυτοί ταξιδεύουν στο εσωτερικό της οπτικής ίνας. Η διασπορά περιορίζει το

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

εύρος ζώνης στην ίνα έτσι ώστε να μειώνει τη ποσότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται. Υπάρχουν τρεις σημαντικοί τύποι διασποράς,

- η χρωματική ή ενδοτροπική διασπορά που περιλαμβάνει
  - a) τη διασπορά προφίλ
  - b) υλικού και
  - c) κυματοδηγού
- η διατροπική ή τροπολογική διασπορά και
- η διασπορά τρόπου πόλωσης

### **2.5.1 Χρωματική ή ενδοτροπική διασπορά (intramodal dispersion)**

Η χρωματική διασπορά κάνει λόγο για το γεγονός ότι διάφορα χρώματα ή μήκη κύματος διάδοσης μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες.

#### **α) Διασπορά προφίλ (profile dispersion)**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο δείκτης διάθλασης στον πυρήνα και στην μεμβράνη της οπτικής ίνας επηρεάζει την ταχύτητα διάδοσης των πληροφοριών στο εσωτερικό της ίνας. Αυτό οφείλεται στα υλικά κατασκευής των ινών και αφορούν περισσότερο τις πολύτροπες ίνες γιατί στις μονότροπες έχει βελτιωθεί το προφίλ τους για ένα μήκος κύματος. Οι διαφορές στον χρόνο είναι γνωστές ως Refractive Index Profile και αντιπροσωπεύει τον δείκτη διάθλασης ως συνάρτηση της απόστασης από τον οπτικό άξονα εκπομπής κατά μήκος της διαμέτρου της ίνας.

#### **β) Διασπορά υλικού (material dispersion)**

Καθώς τα μήκη κύματος ταξιδεύουν σε διάφορες ταχύτητες μέσα στην ίνα ανάλογα το υλικό κατασκευής της, η διασπορά μπορεί πιο εύκολα να προκληθεί στις μονότροπες ίνες παρά στις πολύτροπες. Αυτό συμβαίνει γιατί στις δεύτερες, η διατροπική διασπορά παίζει σημαντικότερο ρόλο από τη διασπορά υλικού καθώς είναι μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να μη λαμβάνεται καν υπόψιν.

#### **γ) Διασπορά κυματοδηγού (wave guide dispersion)**

Η διασπορά κυματοδηγού έχει και αυτή σημασία στις μονότροπες ίνες γιατί οι ακτίνες φωτός μεταδίδονται μέσα στον πυρήνα και στη μεμβράνη χωρίς ιδιαίτερες διαφορές στην ταχύτητα εξαιτίας των διαφορετικών δεικτών διάθλασης. Η διασπορά κυματοδηγού μαζί με τη διασπορά υλικού άρουν τη σημασία τους στις μονότροπες ίνες λόγω του τρόπου κατασκευής τους.

### **2.5.2 Διατροπική ή τροπολογική διασπορά (intermodal dispersion)**

Πρόκειται για τη διασπορά που είναι γνωστή ως και διασπορά στον τρόπο και αναφέρεται στην διεύρυνση του παλμού μόνο στις πολύτροπες ίνες λόγω των διαφορετικών τρόπων μετάδοσης με διαφορετικές ταχύτητες σε αυτές. Μπορεί να μειωθεί αν χρησιμοποιηθούν ίνες με πυρήνα μικρότερης διαμέτρου ώστε να μειωθούν αντίστοιχα οι διαφορετικές ταχύτητες. Ακόμα η διασπορά μπορεί να ελαττωθεί με τη χρήση ινών βαθμιαίου δείκτη γιατί στον πυρήνα ο άξονας προς τη μεμβράνη βαθμιαία αλλάζει έτσι ώστε οι πληροφορίες να φτάνουν στο άκρο σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή.

### **2.5.3 Διασπορά τρόπου πόλωσης (polarization mode dispersion)**

Η διασπορά αυτή οφείλει την ύπαρξή της στο γεγονός πως ο πυρήνας της οπτικής ίνας επιτρέπει τις ακτίνες φωτός να μεταφέρονται με διαφορετικές ταχύτητες. Η κατανομή της ενέργειας φωτός στις διάφορες καταστάσεις πόλωσης της ίνας αλλάζει πολύ αργά επειδή επιδρούν παράγοντες όπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ακόμα η διασπορά τρόπου πόλωσης δημιουργείται από την πόλωση της λειτουργίας των δομικών στοιχείων του δικτύου και της εξάρτησής της από αυτή.

## **2.6 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών**

Οι οπτικές ίνες έχουν ως πλεονεκτήματα ότι καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος ζώνης από 40 έως 150 χλμ. χωρίς να επιτρέπουν παρά την ελάχιστη εξασθένηση. Έχουν ηλεκτρομαγνητική ανοχή σε παρεμβολές και

εξασφαλίζουν ηλεκτρική ασφάλεια και ασφάλεια υποκλοπής. Ακόμα, οι οπτικές ίνες διαφοροποιούνται από τους μεταλλικούς αγωγούς καθώς είναι κατασκευασμένες από γυαλί, με βασικό υλικό το πυρίτιο σε αντίθεση με τους μεταλλικούς αγωγούς που αποτελούνται από χαλκό και μόλυβδο. Είναι πιο εύχρηστες λόγω του μικρού μεγέθους και βάρους τους με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε κινητά οχήματα, πλοία αεροσκάφη κλπ. Ένα οπτικό καλώδιο 144 ινών έχει διάμετρο 12mm ενώ ένα αντίστοιχο χάλκινο καλώδιο είναι 9 φορές μεγαλύτερο. Ακόμα μπορούν να επικοινωνούν με πληθώρα καναλιών, έχουν χαμηλότερο κόστος από τους αγωγούς και δεν επηρεάζονται από συνθήκες του περιβάλλοντος όπως το νερό και η υγρασία.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τη χωρητικότητα της πληροφορίας, οι οπτικές ίνες μεταφέρουν σε μεγαλύτερο εύρος μέσω του φωτός απ' ότι τα ραδιοκύματα καθώς χρησιμοποιούνται τεχνικές πολυπλεξίας. Συγκεκριμένα στην τηλεφωνία η οπτική ίνα μεταφέρει 29,192 κανάλια φωνής.

Σχετικά με το εύρος ζώνης οι οπτικές ίνες φθάνουν μέχρι τα 40 Gbits/sec σε σύγκριση με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των 1Gbits/sec, ενώ το διαθέσιμο εύρος ζώνης ξεπερνάει το 1Tbit/sec. Επίσης καθώς η εξασθένιση, η οποία μετριέται σε Db/Km με τυπική τιμή 0,18, είναι ελάχιστη, είναι δυνατές οι ζεύξεις αρκετών χιλιομέτρων χωρίς την ανάγκη ενισχυτών ή αναμεταδότη. Στην περίπτωση υποκλοπής, γίνεται αμέσως αντιληπτό καθώς μειώνεται η ισχύς που φτάνει στον δέκτη.

Τέλος στον χώρο της τηλεφωνίας, συγκρίνοντας τις επιδόσεις της οπτικής ίνας, εύκολα παρατηρείται ότι τα τηλεφωνικά σύρματα δίνουν δεκάδες κυκλώματα ανά ζευγάρι και το ομοαξονικό καλώδιο δίνει εκατοντάδες κυκλώματα ανά ζευγάρι αγωγών. Οι δορυφορικές εκπομπές και τα ραδιοκύματα δίνουν χιλιάδες κυκλώματα ανά σύνδεση και οι οπτικές ίνες μπορούν να δώσουν εκατοντάδες χιλιάδες κυκλώματα ανά ζεύγος.

## **2.7 Μειονεκτήματα οπτικών ινών**

Οι οπτικές ίνες χρειάζονται ειδικό χειρισμό ως προς τη χρήση τους καθώς απαιτούν τη μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό, με αποτέλεσμα να αυξάνουν το κόστος του συστήματος εξαιτίας τη χρήσης των

πομποδεκτών. Ακόμα ενώ το υλικό κατασκευής τους είναι φθηνό, η παραγωγή των οπτικών ινών παραμένει ακριβή γιατί αυξάνεται το κόστος των οπτικών καλωδίων με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά. Επίσης στα σημεία εξασθένησης χρειάζεται η ανάπτυξη και η κατασκευή των πομποδεκτών που το κόστος τους είναι υψηλό.

## 2.8 Εφαρμογές των οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες είναι ιδιαίτερα χρηστικές στην καθημερινή ζωή καθώς το σύστημα λειτουργίας τους είναι εφαρμόσιμο σε πολλά πεδία. Χρησιμοποιείται σε πολλά τεχνολογικά συστήματα όπως οι υπολογιστές, η καλωδιακή τηλεόραση, η ψηφιακή εικόνα και εικόνα υψηλής ανάλυσης. Ακόμα οι οπτικές ίνες συναντώνται σε στρατιωτικές εφαρμογές και σε συστήματα ελέγχου, στην οργανολογία, σε συστήματα ασφαλείας και επιτήρησης όπως και στις τηλεπικοινωνίες και τηλεδιασκέψεις.

Σχετικά με τις επικοινωνίες είναι χρήσιμες καθώς μπορούν και καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις επικοινωνίας σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά καλώδια. Αυτό οφείλεται φυσικά στη διάδοση του φωτός μέσα από την οπτική ίνα χωρίς πολλούς επαναλήπτες αναμετάδοσης. Ακόμα τα φωτεινά σημεία αναλύσεων φτάνουν σε ποσοστό 40Gb/s και η ίνα χρησιμοποιεί πολλά ανεξάρτητα κανάλια που μπορεί να έχουν διαφορετική πολύπλεξη και επιμερισμό του μήκους κύματος του φωτός. Παράλληλα, ακόμα και σε μικρές αποστάσεις, οι οπτικές ίνες εξοικονομούν χώρο καθώς μεταφέρουν πιο πολλά δεδομένα από ένα ηλεκτρικό καλώδιο.

Άλλη μια χρήση των οπτικών ινών είναι ως αισθητήρες για μέτρηση της θερμοκρασίας, της πίεσης, κάποιας παραμόρφωσης κ.α. Το μικρό τους μέγεθος τις ευνοεί να λειτουργούν ως υδρόφωνα για καταμέτρηση σεισμικών δονήσεων ή SONAR εφαρμογές. Οι υδρόφωνοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες πετρέλαιο. Έχουν αναπτυχθεί υδρόφωνα συστήματα με περισσότερους από 100 αισθητήρες ανά καλώδιο οπτικής ίνας.



Από την άλλη μεριά στις γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται οπτικοί αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας γιατί αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και δίνουν πολλές πληροφορίες για πολύπλοκες δομές (Hayes,1999). Σε ορισμένα μοντέλα αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται για σκοπούς πλοήγησης και στο Boeing 767 ως οπτικό γυροσκόπιο.

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε συστήματα απεικόνισης. Για την ακρίβεια τα ενδοσκόπια endoscope περιλαμβάνουν δέσμες ινών και φακούς που επιτρέπουν την απεικόνιση αντικειμένων από μια μικρή τρύπα. Έχουν δημιουργηθεί πολλά ενδοσκόπια που χρησιμοποιούνται στην ιατρική τόσο για πρόληψη όσο και σε χειρουργικές επεμβάσεις. Ακόμα χρησιμοποιούνται και στη βιομηχανία για σημεία όπου ο άνθρωπος αδυνατεί να φτάσει και να εργαστεί όπως για παράδειγμα σε αεροσκάφη τύπου τζετ (Crisp & Elliott, 2005).

Μια ακόμα χρήση των οπτικών ινών αποτελεί ο οπτικός ανιχνευτής ή αλλιώς λέιζερ. Στην περίπτωση αυτή μέσω της διεγερόμενης εκπομπής, μια νοθευμένη οπτική ίνα ανιχνεύει σήματα με σύνδεση splicing ενός μικρού μέρους της νοθευμένης ίνας μέσα σε μια κανονική ανόθευτη γραμμή. Ένα δεύτερο μήκος κύματος λέιζερ, το οποίο συνδέεται με το μονό σήμα κύματος, ενισχύει την νοθευμένη ίνα οπτικά ώστε και τα δυο μήκη κύματος να μεταδίδονται από αυτή. Έτσι μεταφέρεται ενέργεια από το ενισχυόμενο μήκος κύματος στο κύμα του σήματος. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη σε πειράματα φυσικής (Αλεξανδρής, 2002).

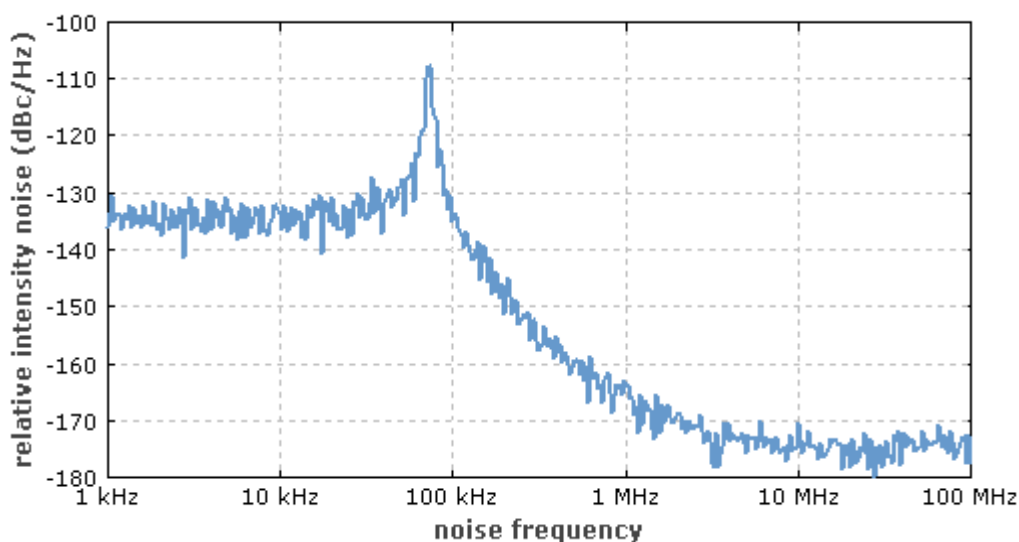
Τέλος οι οπτικές ίνες λειτουργούν σε δυσπρόσιτα σημεία όπου η ηλεκτρική ενέργεια έχει υψηλή τάση. Οι ίδιες μάλιστα μεταφέρουν ηλεκτρικό φορτίο περίπου του ενός Watt σε ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται στα δύσκολα περιβάλλοντα όπως συμβαίνει σε κεραιές υψηλής ενέργειας και σε συσκευές μέτρησης.

## **2.9 Το φαινόμενο RIN στις οπτικές ίνες**

Το φαινόμενο της Σχετικής Έντασης Θορύβου(Relative Intensity Noise) προκαλείται από το φως που σκεδάζεται για δεύτερη φορά πίσω- η λεγόμενη διπλή σκέδαση Rayleigh- στην ίνα προκαλώντας θόρυβο. Συγκεκριμένα μια

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

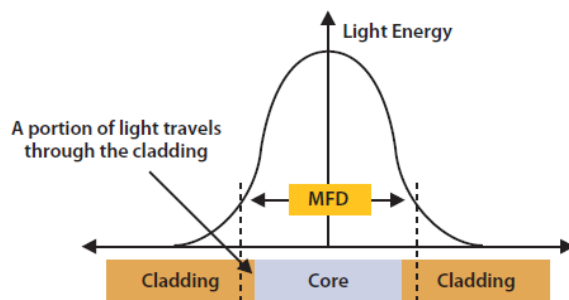
ποσότητα σκεδασμένου φωτός επιστρέφοντας πίσω σκεδάζεται πάλι αλλάζοντας κατεύθυνση ώστε να εξέλθει από την ίνα με το επιθυμητό σήμα. Αν υπάρξει χρονική διαφορά μεταξύ των σημάτων, θα προκληθεί καθυστέρηση του δύο φορές σκεδασμένου φωτός, δηλαδή θόρυβος στο σύστημα μετάδοσης και διαστρέβλωση του σήματος στο τέλος της ίνας. Ο θόρυβος αυτός θεωρείται ανησυχητικός στα αναλογικά συστήματα.



Εικόνα 2.7: Το φαινόμενο RIN

### 2.9.1 MFD και ενεργός περιοχή μονότροπης ίνας

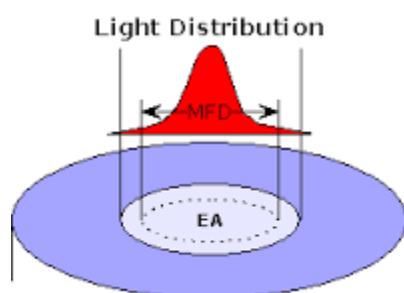
Mode Field Diameter ονομάζεται το τμήμα της ίνας από το οποίο περνάει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του φωτός επειδή η ενέργεια ταξιδεύει ακόμα και μέσω του περιβλήματος. Το MFD έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τον πυρήνα και όσο μεγαλύτερο είναι, επιτρέπει λιγότερες απώλειες συγκολλήσεων στην ίνα αλλά την κάνει πιο ευαίσθητη σε απώλειες που μπορεί να προκληθούν από κάμψεις κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης των ινών. Μία ίνα με πυρήνα 8  $\mu\text{m}$  μπορεί να έχει 9.5  $\mu\text{m}$  MFD.



The mode field diameter (MFD) of singlemode fiber

Εικόνα 2.8: MFD μονότροπης ίνας

Το MFD πολλές φορές καθορίζεται ως ενεργός περιοχή και σχετίζεται με την ισχύ του φωτός. Μια ενεργός περιοχή παράγει μια υψηλή ένταση ισχύος. Αν η ενεργός περιοχή μεγαλώσει, η ισχύς διανέμεται καλύτερα με αποτέλεσμα η ένταση της ισχύος να μην είναι σημαντική. Δηλαδή ισχύει ότι όσο μικρότερη είναι η ενεργός περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ισχύος πάνω σε μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία εξαρτώνται από την ισχύ του φωτός που εισέρχεται στην οπτική ίνα. Σε μια τυποποιημένη μονότροπη ίνα η ενεργός περιοχή είναι 80  $\mu\text{m}$  αλλά και χαμηλή όπως 30  $\mu\text{m}$  για την ίνα αντιστάθμισης.



Εικόνα 2.9: Η ενεργός περιοχή μονότροπης ίνας

## 2.9.2 Οπτική απώλεια επιστροφής ORL

Η οπτική απώλεια επιστροφής (Optical Return Loss) αφορά την ισχύ του συσσωρευμένου ανακλώμενου φωτός μιας οπτικής ίνας μετά από πλήρη σύνδεση. Περιλαμβάνει το οπισθοσκεδασμένο φως από την ίδια την ίνα μαζί με το ανακλώμενο φως από τις ενώσεις και τους τερματισμούς. Οι επιθυμητές

τιμές του ORL είναι οι υψηλές καθώς όσο υψηλότερη είναι η τιμή, τόσο χαμηλότερη είναι η ανακλώμενη ισχύς με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρότερη επίδραση της ανάκλασης εφόσον μειώνεται η απόδοση μερικών συστημάτων μετάδοσης. Επομένως μια τιμή ενός ORL 40 dB είναι πιο επιθυμητή από μια τιμή ενός ORL 30 dB.

Σημαντική επίδραση στην οπτική απώλεια επιστροφής έχει το μήκος των ινών. Αυτό συμβαίνει καθώς αν το μήκος των ινών αυξάνεται, τότε και το συνολικό ποσό του οπισθοσκεδασμένου φωτός αυξάνεται, ενώ η αντανάκλαση του άκρου της ίνα μειώνεται. Αντίθετα για μια σύνδεση μικρού μήκους χωρίς αντανακλαστικά συμβάντα, η ανάκλαση του τέλους των ινών είναι συμβολική στο συνολικό ORL από το ποσό του ανακλώμενου φωτός που δεν έχει εξασθενήσει.

Ακόμα, σε μια σύνδεση μεγάλου μήκους ή σε μια εξασθενημένη σύνδεση, η ανάκλαση δεν είναι συμβολική αλλά ασθενεί από την απορρόφηση και τη σκέδαση. Οπότε το οπισθοσκεδασμένο φως συμβάλλει στο συνολικό ORL περιορίζοντας την επίδραση της ανάκλασης των άκρων. Επίσης τα αντανακλαστικά συμβάντα παίζουν ρόλο ανάλογα με τη θέση τους στο μήκος της σύνδεσης αλλά και της απόστασης ανάμεσα στην ανάκλαση και του ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης.

### **2.9.3 Αποτελέσματα των υψηλών τιμών ORL**

Οι υψηλές τιμές ORL παρουσιάζουν πολλά διαφορετικά αποτελέσματα εφόσον επιτρέπουν στο φως να συντονιστεί στην κοιλότητα της διόδου Laser προκαλώντας αστάθεια. Υπάρχει η πιθανότητα να αυξηθεί ο θόρυβος του πομπού, ο οποίος μειώνει την αναλογία του οπτικού σήματος σε αναλογική τηλεοπτική μετάδοση και να αυξηθεί το BER (Bit Error Rate) στους ψηφιακούς πομπούς. Οι πιθανότητες να προκληθεί ζημιά στον πομπό είναι περισσότερες. Ακόμα μια αύξηση στην πηγή φωτός μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή του κεντρικού μήκους κύματος του Laser και να διαφοροποιήσει την ισχύ εξόδου. Αυτά τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα μπορούν να

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

αντιμετωπίζουν με τη χρήση συνδετήρων χαμηλής ανάκλασης όπως και με τη χρήση οπτικών απομονωτών κοντά στο Laser έτσι ώστε να μειώνονται τα επίπεδα οπισθοανάκλασης.

## Κεφάλαιο 3: Οπτικός πομπός και δέκτης

Για τη μετάδοση των πληροφοριών μέσω της οπτικής ίνας είναι απαραίτητα κάποια στοιχεία (Agrawal, 2001) δηλαδή ο πομπός, ο οπτικός δέκτης και οι οπτικοί ενισχυτές.

### 3.1 Οπτικός πομπός

Ο οπτικός πομπός μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε οπτική μορφή και το μεταφέρει μέσα από την οπτική ίνα. Ένας οπτικός πομπός αποτελείται από μια οπτική πηγή, έναν διαμορφωτή και έναν ζεύκτη καναλιών. Στα κυκλώματα οδήγησης υπάρχει και ένα τρανζίστορ που έχει την δυνατότητα να αναβοσβήνει σε σύντομα χρονικά διαστήματα τη φωτεινή πηγή παρέχοντας την κατάλληλη ηλεκτρική ισχύ στην πηγή και διαμορφώνοντας την έξοδο του φωτός σύμφωνα με το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί (Khare, 2004). Σε περιπτώσεις χρήσης πομπών LED τα κυκλώματα οδήγησης είναι απλά αλλά γίνονται πιο περίπλοκα σε χρήσεις Laser με ημιαγωγούς. Συνεπώς τα κυκλώματα οδήγησης έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν το ηλεκτρικό σήμα διαμορφωμένο και γι' αυτό χρησιμοποιούν ένα βοηθητικό βρόχο για τη διατήρηση της μέσης οπτικής ισχύς (Chomycz, 2000).

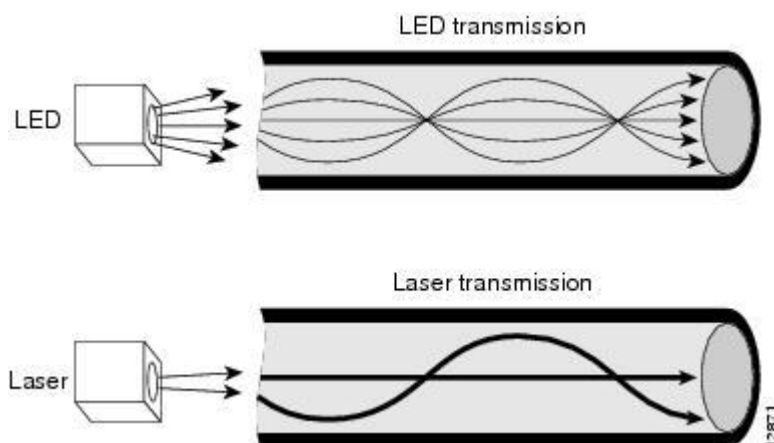
Σχετικά με τις φωτεινές πηγές LED και Laser, οι δεύτερες παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως το μικρότερο μέγεθος τους, η μεγαλύτερη αξιοπιστία, η υψηλότερη απόδοση, η μικρή επιφάνεια εκπομπής σε σχέση με το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας, η κατάλληλη περιοχή μηκών κύματος και η δυνατότητα διαμόρφωσης σε σχετικά υψηλές συχνότητες ώστε να μη χρησιμοποιείται εξωτερικός διαμορφωτής. Τέλος εκπέμπουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις αλλά είναι αρκετά πιο ακριβοί καθώς και πιο πολύπλοκοι στη λειτουργία τους.

**LED Versus Laser**

Characteristic	LED	Laser
Output power	Lower	Higher
Spectral width	Wider	Narrower
Numerical aperture	Larger	Smaller
Speed	Slower	Faster
Cost	Less	More
Ease of operation	Easier	More difficult

Εικόνα 3.1: Διαφορές LED και Laser πομπών

Ο εξωτερικός διαμορφωτής πολλές φορές δεν χρησιμοποιείται καθώς η οπτική πηγή όταν εξέρχεται από τον ημιαγωγό αλλάζει κατεύθυνση το ρεύμα που τη διαρρέει. Χωρίς τη χρήση του διαμορφωτή το κόστος της πηγής μειώνεται και η δομή της απλοποιείται. Ο ζεύκτης καναλιών είναι ένας μικροφακός που εστιάζει το οπτικό σήμα στο επίπεδο εισόδου της οπτικής ίνας με όσο δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση.



Εικόνα 3.2: Οπτικός πομπός (LED/Laser)

### 3.2 Οπτικός δέκτης

Ο οπτικός δέκτης μετατρέπει πάλι το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό για να ανακτήσει τις πληροφορίες που μεταδόθηκαν μέσα από το οπτικό σύστημα. Χρησιμοποιεί τον φωτοανιχνευτή για να μετατρέψει το φως σε ηλεκτρικό παλμό. Σκοπός είναι να είναι παρόμοιο το μήκος κύματος που στέλνει ο πομπός με το αυτό που καλείται να αναγνωρίσει ο δέκτης (Lizuka, 1998).

Καθώς εισέρχεται το οπτικό σήμα ο ζεύκτης θα το εστιάσει πάνω στον φωτοανιχνευτή. Ως φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοδίοδοι ημιαγωγών για καλύτερη συμβατότητα και μετατρέπουν την φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική και με μέγεθος συγκρίσιμο με το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας. Στη συνέχεια ο αποδιαμορφωτής λαμβάνει το σήμα με μορφή bit '1' και '0' τα οποία μετατρέπονται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η λογική αυτή εξαρτάται από το λόγο σήματος προς το θόρυβο SNR του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στον φωτοανιχνευτή (Khare, 2004). Ο φωτοανιχνευτής χρειάζεται να έχει γρήγορη απόκριση, μεγάλη ευαισθησία και αξιοπιστία ενώ χαμηλό κόστος και θόρυβο.

### **3.3 Πολυπλεξία στα οπτικά δίκτυα (WDM)**

Στα οπτικά δίκτυα, όπως προαναφέρθηκε, η πληροφορία μεταδίδεται μέσω της οπτικής ίνας, η οποία ταξιδεύει με τη μορφή ακτινών φωτός και φτάνει στον προορισμό της μέσω των συνεχών ανακλάσεων στο εσωτερικό του διάφανου πυρήνα της. Τα τελευταία χρόνια τα οπτικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλη τεχνολογία μετάδοσης (Γαλανάκης, 2008).

Η πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM) συνηθίζεται να εφαρμόζεται στα δίκτυα οπτικών ινών, κατά την οποία το φάσμα μετάδοσης της οπτικής ίνας χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες περιοχές μηκών κύματος (συχνοτήτων) και κάθε ένα από τα μήκη αυτά μεταφέρει ένα κανάλι του οποίου ο ρυθμός μετάδοσης είναι ίσος με αυτόν του τερματικού ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Σε αυτή την περίπτωση, αφού είναι εφικτή η μεταφορά πολλαπλών WDM καναλιών πάνω από μια οπτική ίνα, επιτυγχάνεται πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα τα δομικά στοιχεία των δικτύων WDM είναι ευκολότερο να υλοποιηθούν, καθώς πρέπει να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ανά κανάλι ίσους με αυτό των ηλεκτρονικών πομποδεκτών.



Επίσης, συσκευές μεταγωγής (optical switches) τοποθετούνται στους αντίστοιχους κόμβους, οι οποίες ενισχύουν και διατηρούν το μεταδιδόμενο με πληροφορίες σήμα στο οπτικό δίκτυο καθώς και έχουν τη δυνατότητα να κάνουν και εναλλαγή στο μήκος κύματος του σήματος αυτού, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου την εκάστοτε χρονική στιγμή.

### 3.4 Οπτικοί ενισχυτές

Οι ενισχυτές είναι απαραίτητοι γιατί η μετάδοση του σήματος μέσα στην οπτική ίνα πολλές φορές εξασθενεί. Σε αντίθεση με το παρελθόν όπου μετέτρεπαν εκ νέου το σήμα σε ηλεκτρικό, οι ενισχυτές ενισχύουν ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μία ίνα. Το κόστος κατανέμεται σε διάφορους χρήστες ή εφαρμογές (Lizuka, 1998). Οι ενισχυτές είναι ευέλικτοι και ανεξάρτητοι από τον ρυθμό μετάδοσης, έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ και είναι μικροί σε μέγεθος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση ισχύος του σήματος σε διαδικασίες πολύπλεξης/ αποπολύπλεξης οι οποίες προκαλούν απώλειες στο σύστημα.

Ο ιδανικότερος ενισχυτής είναι ο Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (Erbium-Doped Fiber Amplifier- EDFA) (Sharma, 1999) και χρησιμοποιούνται στα οπτικά δίκτυα. Πρόκειται για μια οπτική ίνα μερικών δεκάδων μέτρων όπου ο πυρήνας της είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν τροφοδοτηθεί με τη δέσμη Laser, αρχίζει τη διεργασία αναστροφής πληθυσμών με αποτέλεσμα να ενισχύει τα πολυπλεγμένα οπτικά σήματα. Η ενίσχυση αυτή επιτελείται στην περιοχή 1525-1565nm οι ζεύξεις WDM λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm (Volotinen, 1999).

Λόγω της παρουσίας των ιόντων Ερβίου στο υλικό της ίνας ενίσχυσης, δημιουργείται μια δομή τριών ενεργειακών ζωνών με ενεργειακές διαφορές  $\Delta E_{12}$  και  $\Delta E_{31}$  που αντιστοιχούν σε φωτόνια συχνότητας  $f$ . Όταν επιδρά η δέσμη του laser άντλησης, τα φωτόνια μεταφέρονται στην ανώτερη ζώνη και ύστερα μεταπίπτουν στην ενδιάμεση. Η ζώνη αυτή είναι μετασταθής και προσφέρεται για τη συσσώρευση των ηλεκτρονίων και τη δημιουργία της κατάστασης αναστροφής πληθυσμών σε βάρος της βασικής ζώνης. Ανάμεσα

στη μεσοσταθή και στη βασική ζώνη δημιουργείται μια εξαναγκασμένη εκπομπή με αποτέλεσμα να υπάρξουν φωτόνια μήκους κύματος 1525-1565nm και να ενισχυθεί το αρχικό οπτικό σήμα που περιέχει τα πολυπλεγμένα κανάλια (Dutton, 1999). Η διεργασία άντλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με laser με  $\lambda = 1480\text{nm}$  για μεγαλύτερη ενίσχυση αλλά με υψηλότερο θόρυβο.

Πάντως καθώς ο μηχανισμός αυτός ενίσχυσης είναι ανεξάρτητος από το μήκος κύματος μια συγκεκριμένης φασματικής περιοχής δίνει τη δυνατότητα χρήσης του σε ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος στην ίδια την οπτική ίνα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως 6 ενισχυτές στη σειρά, ώστε να μεταδίδεται σε χιλιάδες χιλιόμετρα το οπτικό σήμα, εξαιτίας του θορύβου που παράγουν (Nosu, 1997) μάλιστα έχει διαπιστωθεί ότι οι δουλεύουν ικανοποιητικά στο σημείο του φάσματος στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα των οπτικών ινών (Freeman, 2002).

Σε μία ζεύξη WDM ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος( booster amplifier ή postamplifier) μετά την έξοδο του πολυπλέκτη για να επιτευχθεί η ενίσχυση του σύνθετου οπτικού σήματος όσον αφορά τακτές αποστάσεις συνήθως 80-120 χιλιομέτρων. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προενισχυτής (pre- amplifier) πριν από την είσοδο του αποπολυπλέκτη ώστε το σήμα να αποκτήσει την επαρκή ισχύ που χρειάζεται για την διεργασία της αποπολυπλεξίας και την λήψη αποπολυπλεγμένων καναλιών από τους επιμέρους δέκτες.

### 3.5 Παράμετροι οπτικών ενισχυτών

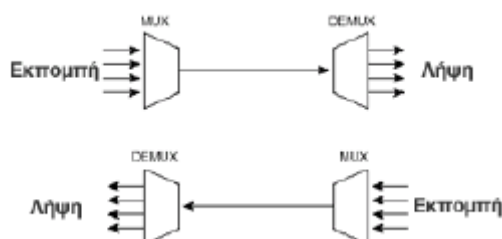
Ένας συγκεκριμένος ενισχυτής χαρακτηρίζεται από πολλές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για να μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας πρακτικός σχεδιασμός ενός οπτικού συστήματος (Mynbaev & Scheiner, 2001). Αυτές είναι:

- το κέρδος
- το κέρδος εύρους ζώνης

- η ισχύς σήματος εξόδου
- ο συντελεστής θορύβου

### 3.6 Οπτικοί πολυπλέκτες- αποπολυπλέκτες

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης αποτελούν δυο ξεχωριστές συσκευές που πολλές φορές όμως λειτουργούν συνδυαστικά. Επιτρέπουν τον συνδυασμό εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων ή διαχωρίζουν το οπτικό σήμα αντίστοιχα. Και οι δύο μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς ηλεκτρική παροχή και λειτουργούν σαν φύλλα υψηλής επιλεκτικότητας ακόμα και αν το οπτικό σήμα αλλάξει φορά (Nellist, 1996). Σχετικά με τα σήματα μετάδοσης, αν είναι μονόδρομης ή αμφίδρομης κατεύθυνσης, οι παραπάνω διαδικασίες διαφοροποιούνται.



Εικόνα 3.3: Εκπομπή/ λήψη σε διαφορετικές οπτικές ίνες



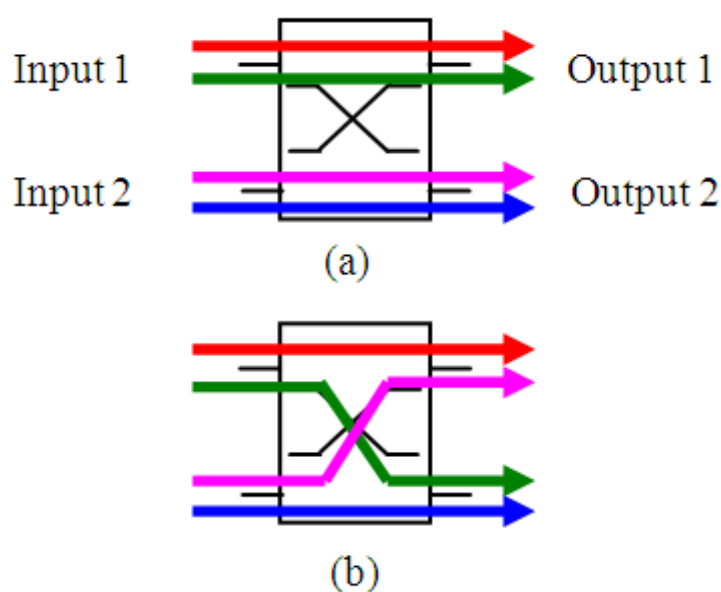
Εικόνα 3.4: Εκπομπή/ λήψη σε μια οπτική ίνα

Οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης (Optical Add/ Drop Multiplexers- OADM's) είναι μια κατηγορία οπτικών πολυπλεκτών και έχει ως λειτουργία την εξαγωγή (drop) από το σύνθετο οπτικό σήμα και την εισαγωγή (add) σε αυτό πολλών οπτικών καναλιών. Ο αριθμός των οπτικών καναλιών κυμαίνεται από 4 έως 32 (Kaminow, 1997) και αποτελεί τη πιο σημαντική παράμετρο για τους συγκεκριμένους πολυπλέκτες. Χωρίζονται σε δυο τύπους OADM, μια σταθερή συσκευή όπου εξάγει προκαθορισμένα και

συγκεκριμένα μήκη φωτός καθώς εισάγει άλλα, και ως δεύτερο τύπο μια συσκευή όπου επιλέγει τα μήκη κύματος που θα εισάγει και θα εξάγει.

Οι οπτικοί διασταυρωτήρες (Optical Cross Connect- OXC) αποτελούνται από  $N$  οπτικές εισόδους και εξόδους και δρομολογούν τα οπτικά κανάλια από οποιαδήποτε είσοδο-έξοδο. Πρόκειται για μια διάταξη με μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη των ολο- οπτικών δικτύων (Dutton, 1999). Οι οπτικοί διασταυρωτήρες χρησιμοποιούν τρεις δομικές μονάδες (Culshaw, 1997) για να μπορέσουν να μεταδώσουν 40 οπτικά κανάλια μέσα από μια οπτική ίνα σε ένα δίκτυο όπου δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους και τα καθοδηγεί ως τις κατάλληλες εξόδους. Αυτές είναι:

- η μεταγωγή οπτικής ίνας (fiber switching) όπου μεταφέρονται τα μήκη φωτός από μια οπτική ίνα εισόδου σε μία οπτική ίνα εξόδου,
- η δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching) από μία οπτική ίνα εισόδου σε μία οπτική ίνα εξόδου,
- η μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion) όπου μπορούν να επαναχρωματιστούν τα εισερχόμενα μήκη κύματος και να μεταδίδονται σε άλλες συχνότητες όταν φτάσουν στην έξοδο.



Εικόνα 3.5: Οπτικός διασταυρωτήρας

## **Κεφάλαιο 4: FTTX - Αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση δεδομένων σε οπτικά δίκτυα**

### **Εισαγωγή**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, την τελευταία εικοσαετία, έχει σημειωθεί ραγδαία αλλαγή στις τηλεπικοινωνίες και στο αντίκρισμα που έχουν αυτές στην χρήση τους από τους ανθρώπους στην κατοικία τους αλλά και στο εργασιακό τους περιβάλλον. Αυτό επέφερε το αποτέλεσμα της αυξανόμενης δικτύωσης των υπολογιστών σε παγκόσμια εμβέλεια. Η ανάγκη για την μετάδοση δεδομένων τα οποία αποτελούνται από ένα εύρος πληροφοριών όπως παραδείγματος χάρη ενημέρωση, ψυχαγωγία, εργασιακές βάσεις δεδομένων κ.λπ. αλλά κυρίως η αποθήκευση αυτών σε διαφορετικά απομακρυσμένα σημεία, είτε για λόγους ασφαλείας είτε μετάδοσης, αποτέλεσαν έναν από τους κυριότερους λόγους μετάβασης από δορυφορικούς, ασύρματους τρόπους δικτύωσης ή ενσύρματους παλαιότερης τεχνολογίας (χαλκού) σε δίκτυα οπτικής ίνας.

Έτσι, επιτεύχθηκαν κάποιοι από τους κυριότερους στόχους. Κάποιοι από αυτούς είναι, η σταθερή επικοινωνία σε σχέση με την προγενέστερη ασύρματη επικοινωνία, η κατά πολλές φορές ταχύτερη μετάδοση των δεδομένων σε αντίθεση με την ασύρματη μετάδοση αλλά και την παλαιότερου τύπου ενσύρματη μετάδοση, η μικρή έως ανύπαρκτη απώλεια πακέτων δεδομένων και τέλος η πιο εύκολη κατασκευή του μέσου μετάδοσης παγκοσμίως σε αντίθεση με το παρελθόν που ήταν αναγκαία η αγορά του χαλκού σε περίπτωση που σε κάποια χώρα δεν υπήρχε παραγωγή. Χωρίς αυτή την μετάβαση, στην υποδομή οπτικών δικτύων τηλεπικοινωνίας, δεν θα είχε επιτευχθεί ποτέ η σταθερή και γρήγορη σύνδεση όλων των ηπείρων.

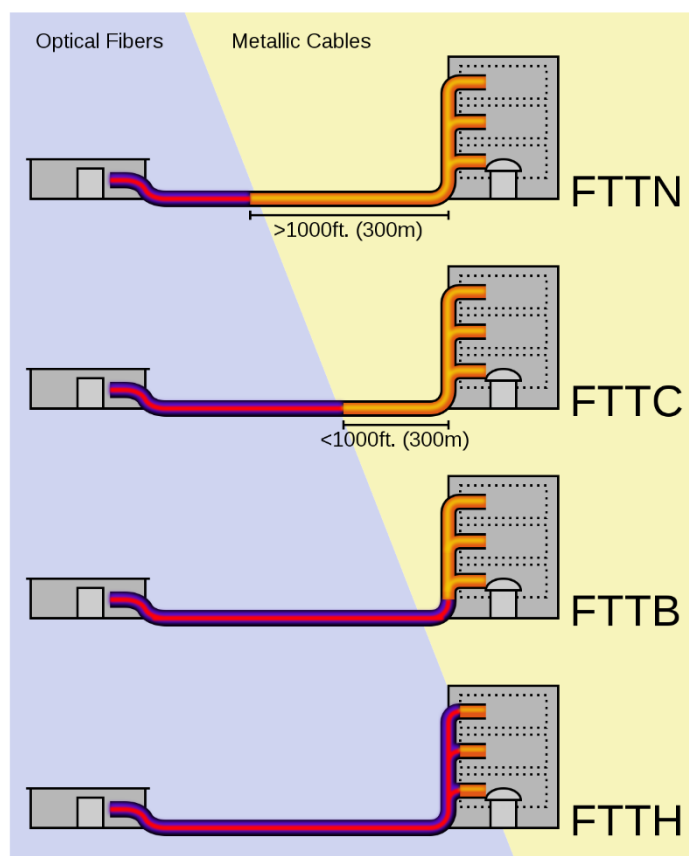
Πλέον η ζήτηση, σε δίκτυα οπτικών ινών για την επικοινωνία αλλά κυρίως για την μετάδοση δεδομένων, είναι μεγάλη. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της ζήτησης περιλαμβάνει τον εργασιακό τομέα. Κυρίως επιχειρήσεις, μεγάλες και μικρομεσαίες, οι οποίες διαχειρίζονται πληροφοριακά συστήματα, επιβάλλεται να έχουν μια τέτοια υποδομή. Γι αυτόν τον λόγο ολοένα και

περισσότερο σημειώνεται η ραγδαία αλλαγή στις υποδομές τους με την μετάβαση από απλά δίκτυα, ασύρματα, δορυφορικά ή ενσύρματα με χρήση χαλκού, σε δίκτυα με χρήση οπτικής ίνας.

Όμως, για αυτή τη μετάβαση από τα προγενέστερης τεχνολογίας δίκτυα στα δίκτυα νέας γενιάς, με την χρήση της οπτικής ίνας, χρειάζεται μια χρονοβόρα διαδικασία ή οποία περιλαμβάνει και μεγάλο κόστος υλοποίησης. Έτσι λοιπόν, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών ανά τον κόσμο που έχουν αναλάβει να πραγματοποιήσουν αυτή την μετάβαση χρησιμοποιούν μια ποικιλία αρχιτεκτονικών των οπτικών δικτύων η οποία χαρακτηρίζεται με την συντομογραφία FTTX (Fiber to the X – Ίνα στο σημείο X). Η επιλογή της εκάστοτε αρχιτεκτονικής στην υλοποίηση ενός οπτικού δικτύου εξαρτάται από τις ανάγκες του εκάστοτε συνδρομητή – χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος και κόστος για την υλοποίηση του οπτικού δικτύου.

#### **4.1 Τί είναι το FTTX**

Η αρχιτεκτονική FTTX είναι μία αρχιτεκτονική οπτικών δικτύων η οποία εκμεταλλεύεται την χρήση της οπτικής ίνας για υπεραστικά τμήματα ενός δικτύου η οποία χρησιμοποιείται παραδοσιακά για τις εκτάσεις των δικτύων αυτών μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο “X” του δικτύου το οποίο καλείται το “τέλος” του οπτικού δικτύου. Το σημείο αυτό “X” περιλαμβάνει τις διάφορες υποαρχιτεκτονικές που απαρτίζουν την αρχιτεκτονική FTTX και οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.



Εικόνα 4.1: Ενδεικτικές κατηγορίες FTTX

#### 4.1.1 Κατηγορίες αρχιτεκτονικής FTTX

##### α) FTTN: Fiber to the node

Σε αυτή την αρχιτεκτονική η οπτική ίνα καταλήγει σε έναν κόμβο. Ο κόμβος είναι το γνωστό αστικό κέντρο το οποίο μπορεί να απέχει >300 μέτρα έως και κάποια χιλιόμετρα από τις εγκαταστάσεις του πελάτη. Η καλωδίωση από τον κόμβο μέχρι τις εγκαταστάσεις του συνδρομητή είναι συνήθως από υλικό χαλκού.

### **β) FTTC: Fiber to the cabin or Fiber to the curb**

Σε αυτές τις αρχιτεκτονικές, οι οποίες δεν διαφέρουν σχεδόν καθόλου, η οπτική ίνα καταλήγει στο κράσπεδο (to the curb) ή στην καμπίνα (to the cabin) του εκάστοτε παρόχου τηλεπικοινωνιών. Η καλωδίωση από το τέλος του οπτικού δικτύου έως τις εγκαταστάσεις του συνδρομητή περιλαμβάνει ως επί των πλείστων χάλκινο καλώδιο. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για αποστάσεις <300 μέτρων η οποία απόσταση μετριέται από το σημείο κατάληξης της οπτικής ίνας έως το σημείο των εγκαταστάσεων του εκάστοτε συνδρομητή.

### **γ) FTTB: Fiber to the building or Fiber to the basement**

Σε αυτή την αρχιτεκτονική η οπτική ίνα τερματίζει στο εκάστοτε ενδιαφερόμενο κτήριο για απόκτηση τεχνολογίας οπτικών δικτύων και όχι σε κάθε όροφο, διαμέρισμα ή γραφείο. Έτσι, όπως και στις προηγούμενες κατηγορίες, από το τελικό σημείο της οπτικής ίνας έως το διαμέρισμα, όροφο ή γραφείο, το δίκτυο περιλαμβάνει καλώδιο χαλκού, Ethernet ή ακόμα και ασύρματη σύνδεση.

### **δ) FTTH: Fiber to the home**

Σε αυτή την αρχιτεκτονική η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το σπίτι-όροφο-γραφείο του συνδρομητή. Αυτό σημαίνει πως σε σχέση με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης.



### **ε) FTTP: Fiber to the premises**

Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί την οπτική ίνα έως τις εγκαταστάσεις των συνδρομητών. Είναι η αρχιτεκτονική που περιλαμβάνει τις δύο προηγούμενες. Πολλοί θα έλεγαν ότι είναι μια μίξη του FTTB και FTTH.

### **στ) FTTdp: Fiber to the Distribution Point**

Αυτή η αρχιτεκτονική είναι ένας συνδυασμός του FTTN/FTTP. Όμως σε αυτή την αρχιτεκτονική υπάρχει το σημείο διασύνδεσης το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στις εγκαταστάσεις με αποτέλεσμα την μείωση της απόστασης του χαλκού και την ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας που μπορεί να επιτευχθεί. Ωστόσο, είναι οικονομικότερη τεχνολογία και εξίσου γρήγορη από την FTTN (“[www.gizmodo.com.au](http://www.gizmodo.com.au),” n.d.).

### **ζ) FTTD : Fiber to the Desk**

Σε αυτή την αρχιτεκτονική η οπτική ίνα φτάνει όχι μόνο μέχρι το κτήριο ή το διαμέρισμα, αλλά έως τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Φυσικά, για να επιτευχθεί τέτοιου είδους οπτικό δίκτυο, απαιτείται εκτός από την οπτική ίνα και συγκεκριμένο υλικό (Hardware) στο οποίο θα καταλήξει η οπτική ίνα. Αυτό το υλικό είναι μια οπτική κάρτα δικτύου. Ενδεικτικά, η ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί αγγίζει ακόμα και το 1 GBPS (Health, 2014).

### **η) FTTAfW: Fiber to the Antenna for Wireless**

Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση των χρηστών κινητών συσκευών οι οποίες εξαρτώνται από ασύρματες συνδέσεις για την μετάδοση φωνής, βίντεο και δεδομένων διότι ενδεχομένως να μην βρίσκονται σε περιοχές που υπάρχει

διαθεσιμότητα FTTH ή FTTC. Η οπτική ίνα συνδέει τις κεραιές εκπομπής σήματος των εταιριών κινητής τηλεφωνίας μεταξύ τους για την παροχή του εύρους ζώνης που απαιτείται αλλά και την διαβίβαση των δεδομένων του δικτύου από κόμβο σε κόμβο (“www.thefoa.org,” n.d.).

Το εύρος ζώνης παρέχεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διότι η οπτική ίνα φτάνει έως την κεραία. Επίσης η οπτική ίνα συνδράμει και στον διαμοιρασμό των δεδομένων που έρχονται στο network backbone από τον τελικό χρήστη. Αυτή η τεχνική ονομάζεται wireless backhaul.

## 4.2 Ανάλυση των τεχνολογιών της αρχιτεκτονικής FTTX

### 4.2.1 Τοπολογία δικτύου οπτικών ινών

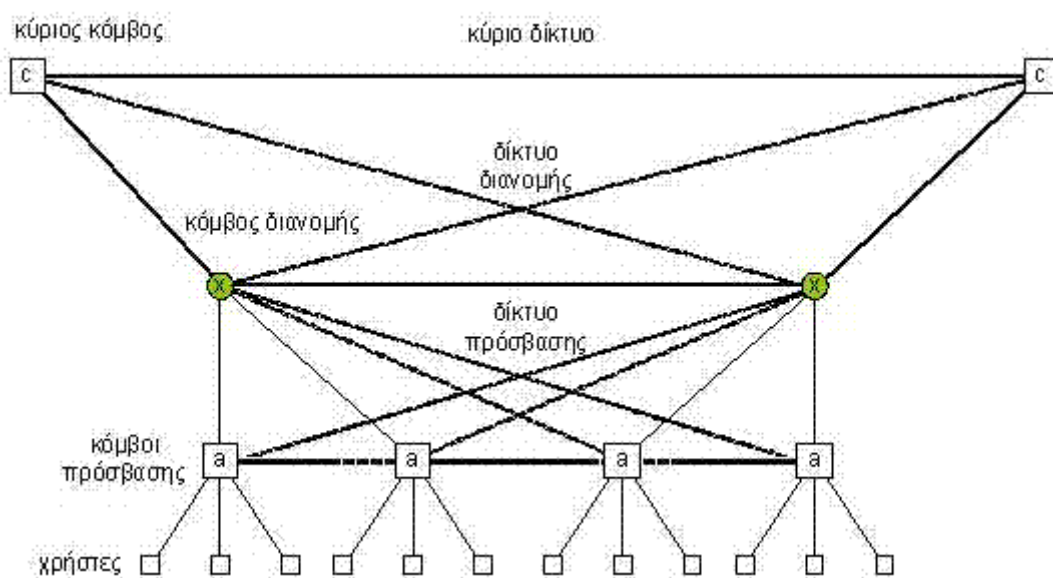
Ένα δίκτυο οπτικών ινών περιέχει πολλά ενδιάμεσα σημεία σύνδεσης από το ξεκίνημά του έως την κατάληξή του στον τελικό χρήστη. Τα τέσσερα βασικά σημεία όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα είναι τα εξής :

- Trunk Network (Δίκτυο κορμού)
- Metropolitan – Wide Network (Μητροπολιτικό ή ευρείας περιοχής δίκτυο)
- Access Network (Δίκτυο πρόσβασης)
- END USER (Τελικός χρήστης)

«Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών, σημειώνεται ότι αποτελείται από τρεις βασικές λογικές μονάδες: το δίκτυο κορμού, το δίκτυο

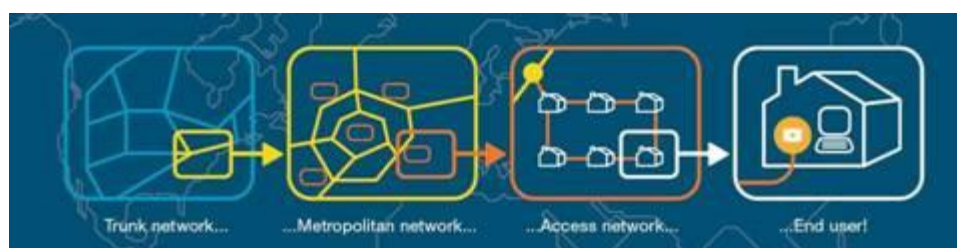
Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Η λογική αυτή παρουσιάζεται καλύτερα στα σχήματα που ακολουθούν:



Εικόνα 4.2: Δίκτυο Οπτικών Ινών

Το δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κύριων κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Επιπλέον, το δίκτυο διανομής αποτελείται από τους κόμβους διανομής, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και υπάρχει πρόβλεψη και για επιπλέον συνδέσεις μεταξύ τους στο μέλλον. Τέλος, στο δίκτυο πρόσβασης το οποίο αποτελείται από τους κόμβους πρόσβασης συνδέονται τα διάφορα κτίρια όπου αναλόγως των απαιτήσεων των τελικών χρηστών καθορίζονται και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των συνδέσεων.



Εικόνα 4.3: Τοπολογία

Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο σήμερα φθάνει στις ευρέως χρησιμοποιούμενες υλοποιήσεις όπως το Gigabit Ethernet μέχρι και τα 10 Gbps. Η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 70-100 χλμ. ανάλογα με τον τύπο της οπτικής ίνας και το σήμα που μεταφέρεται. Συνεπώς, περιορίζουν τον αριθμό των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση, και έχει σημαντική ανοχή στον θόρυβο.

Όσον αφορά την υιοθέτηση τεχνολογίας οπτικών ινών στην παροχή τέτοιου είδους ευρυζωνικής πρόσβασης, η αρχιτεκτονική αναφέρεται ως Fiber To The Home (FTTH) και συνίσταται στην κατάληξη (ζευγών συνήθως) οπτικών ινών στο χώρο των συνδρομητών και τον τερματισμό τους με κατάλληλο εξοπλισμό. Η τεχνολογία FTTH διαχωρίζεται ανάλογα με το αν στα σημεία διακλάδωσης χρησιμοποιείται παθητικός ή ενεργός εξοπλισμός. Πρόκειται για τις τεχνολογίες Active Optical Network (AON) και Passive Optical Network (PON).

Ανάμεσα στα πολλαπλά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των οπτικών ινών διακρίνουμε το χαμηλό κόστος, το υψηλό bandwidth το οποίο ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου, την μικρή εξασθένηση του σήματος καθώς και τις μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Επιπλέον, οι οπτικές ίνες διαθέτουν μικρές διαστάσεις και βάρος και παρατηρείται υψηλή διαθεσιμότητα που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.

Ένας άλλος σχετικός όρος με το συγκεκριμένο θέμα είναι οι σκοτεινές οπτικές ίνες (Dark Fibers). Πρόκειται για κλασσικές οπτικές ίνες οι οποίες είναι τοποθετημένες κανονικά αλλά παραμένουν αχρησιμοποίητες. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου οι αντίστοιχες εταιρείες επιλέγουν να εγκαταστήσουν μεγαλύτερο πλήθος οπτικών ινών από τις υπάρχουσες ανάγκες για μελλοντική χρήση. Έτσι λοιπόν, οι επιπλέον οπτικές ίνες μπορούν να εκμισθωθούν σε άλλες εταιρείες ή ιδιώτες για προσωπική χρήση.

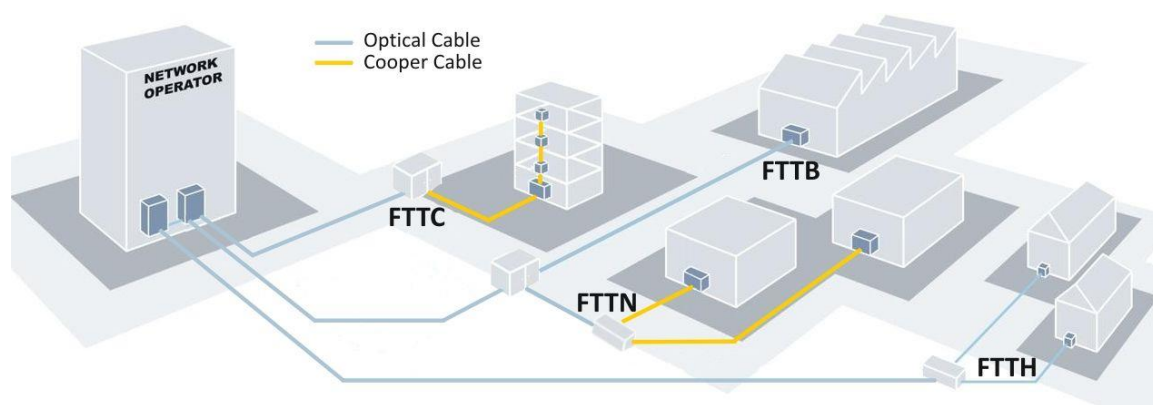
Σημειώνεται ότι στην κατηγορία των παραπάνω δικτύων θα ανήκουν και τα μητροπολιτικά ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών που πρόκειται να δημιουργηθούν στη χώρα μας στα πλαίσια της Πρόσκλησης 93 του

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

Επιχειρησιακού Προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας»  
("broadband.cti.gr," n.d.).»

#### 4.2.2 FTTN/FTTC/FTTB/FTTH

Οι τέσσερις πιο βασικές και διαδεδομένες, στις μέρες μας, υλοποιήσεις της αρχιτεκτονικής FTTX είναι η FTTN/C/B και Η. Fiber to the Node, to the Cabin or Curb, to the Building και Fiber to the Home. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε ενδεικτικά τις διαφορές.



Εικόνα 4.4: Αρχιτεκτονικές FTT N/C/B/H

##### α) FTTN/FTTC

Όπως αναφέρουμε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, πρόκειται για δύο αρχιτεκτονικές που περιλαμβάνουν οπτική ίνα είτε μέχρι τον κόμβο (FTTN), είτε στο κράσπεδο του πεζοδρομίου ή στην καμπίνα/ ντουλάπι (FTTC) του εκάστοτε παρόχου τηλεπικοινωνιών και είναι μια πλατφόρμα τηλεπικοινωνιών που βασίζεται σε καλώδια οπτικών ινών ώστε να εξυπηρετεί πολλούς πελάτες-συνδρομητές. Κάθε ένας από αυτούς τους πελάτες είναι σε σύνδεση με αυτήν την πλατφόρμα μέσω ομοαξονικού καλωδίου ή

συνεστραμμένου ζεύγους. Η ορολογία «curb/κράσπεδο» είναι μια αφηρημένη ορολογία και μπορεί απλά να σημαίνει το ίδιο εύκολα μια τοποθετημένη συσκευή ή μια ντουλάπα/καμπίνα. Τυπικά οποιοδήποτε σύστημα για την περάτωση ινών εντός 300 μέτρων του εξοπλισμού μέχρι τις εγκαταστάσεις του πελάτη θα πρέπει να περιγράφεται ως FTTC.

Η οπτική ίνα στον κόμβο ή τη γειτονιά (FTTN), μερικές φορές ταυτίζεται και άλλοτε διακρίνεται από οπτικές ίνες έως την καμπίνα (FTTC) (Silva & Henrique, 2005), είναι μια αρχιτεκτονική τηλεπικοινωνιών που βασίζεται σε καλώδια οπτικών ινών σε έναν κόμβο/αστικό κέντρο που εξυπηρετεί μια γειτονιά. Οι πελάτες συνήθως συνδέονται σε αυτό το κόμβο με τη χρήση παραδοσιακού ομοαξονικού καλωδίου ή συνεστραμμένα καλώδια ζεύγους. Η περιοχή που εξυπηρετείται από τον κόμβο είναι συνήθως λιγότερο από ένα μίλι σε ακτίνα και μπορεί να περιέχει αρκετές εκατοντάδες πελάτες. Εάν η καμπίνα εξυπηρετεί έκταση μικρότερη από 300 μέτρα σε ακτίνα, η αρχιτεκτονική αυτή συνήθως ονομάζεται FTTC (McCullough & Don, 2005).

Η αρχιτεκτονική FTTN επιτρέπει την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπως Internet υψηλής ταχύτητας. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας, όπως η ευρυζωνική καλωδιακή πρόσβαση (συνήθως DOCSIS-Data Over Cable Service Interface Specification) ή κάποια μορφή ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (DSL), χρησιμοποιούνται μεταξύ του κόμβου και τους πελάτες. Οι ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων διαφέρουν ανάλογα με το ακριβές πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται και ανάλογα με το πόσο κοντά βρίσκεται ο πελάτης από τον κόμβο.

Σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική FTTP, η αρχιτεκτονική FTTN συχνά χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα ομοαξονικά καλώδια ή την υποδομή συνεστραμμένου ζεύγους για την παροχή υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι και είναι συνεπώς λιγότερο δαπανηρή η διαδικασία ανάπτυξης αυτής της αρχιτεκτονικής. Μακροπρόθεσμα, ωστόσο, το εύρος ζώνης που μπορεί να

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

προσφέρει είναι περιορισμένο σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές που φέρουν την ίνα ακόμα πιο κοντά στον συνδρομητή.

Με την αποφυγή νέων καλωδίων υπάρχει μείωση στο κόστος και τις υποχρεώσεις των παρόχων, έτσι, η αρχιτεκτονική FTTC και πόσο μάλλον η αρχιτεκτονική FTTN κοστίζει λιγότερο για την ανάπτυξη. Ωστόσο, έχει επίσης χαμηλότερη προοπτική εύρους ζώνης σε σχέση με την αρχιτεκτονική FTTP. Στην πράξη, το συγκριτικό πλεονέκτημα των ινών εξαρτάται από τη διαθέσιμο backhaul, δηλαδή το σύνολο των ενδιάμεσων «κρίκων-υποδικτύων», τη χρήση με βάση τους περιορισμούς χρέωσης που εμποδίζουν την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων στο τελευταίο μίλι, τις εγκαταστάσεις εξοπλισμού των πελατών, τους περιορισμούς συντήρησης του εύρους ζώνης και το κόστος λειτουργίας των ινών που μπορεί να ποικίλουν ευρέως βάσει του γεωγραφικού και του κτιριακού τύπου.

Μια παραλλαγή αυτής της τεχνικής για τους παρόχους καλωδιακής τηλεόρασης χρησιμοποιείται με ένα υβριδικό σύστημα ομοαξονικής ίνας (HFC). Σε αυτή την παραλλαγή μερικές φορές δίνεται το ακρωνύμιο FTTLA (fiber-to-the-last-amplifier) δηλαδή η κατάληξη της οπτικής ίνας στον τελευταίο ενισχυτή σήματος, όταν αντικαθιστά τους αναλογικούς ενισχυτές έως και τον τελευταίο πριν από τον πελάτη ενισχυτή (ή τη γειτονιά των πελατών).

Ένα παράδειγμα αυτών των αρχιτεκτονικών είναι στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, όπου η μεγαλύτερη ανάπτυξη του FTTC πραγματοποιήθηκε από την εταιρία τηλεπικοινωνιών BellSouth. Με την εξαγορά της BellSouth από την AT & T, η ανάπτυξη του FTTC τελείωσε. Οι μελλοντικές αναπτύξεις θα πρέπει να βασίζονται σε FTTP. Υπάρχουσα εγκατάσταση FTTC μπορεί να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί με FTTP (Gubbins, 2007).

Στην χώρα μας, ο ΟΤΕ είναι ο πάροχος ο οποίος έχει αναπτύξει αυτές τις αρχιτεκτονικές τα τελευταία χρόνια με την μετάβαση από το απλό καφάο (KV) σε καμπίνες (FTTC). Έτσι οι συνδρομητές σε πολλές περιοχές μπορούν να επωφεληθούν τις νέες τεχνολογίες.

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

Οι πάροχοι χρησιμοποιούν την υλοποίηση αυτών των δύο αρχιτεκτονικών FTTN/C για την παροχή υπηρεσιών DSL, ADSL, ADSL2+, VDSL και VDSL2+. Τεχνολογίες που ξεκινούν από ταχύτητες 128kbps (DSL) με δυνατότητες έως 100mbps στην τεχνολογία VDSL2+ (vectoring) .

Στις μέρες μας, βάσει των στοιχείων του ΟΤΕ έως το τέλος του 2016, η διαθεσιμότητα αυτών των υπηρεσιών ξεπερνάει τα 2.000.000 νοικοκυριά σε όλη την Ελλάδα, υπάρχει εκτεταμένο δίκτυο σε Αττική, Θεσσαλονίκη & 216 πόλεις/ κωμοπόλεις σε όλη την Ελλάδα και η πληθυσμιακή κάλυψη αγγίζει το 50% (“www.cosmote.gr,” n.d.).

## **β) FTTB**

Με αυτή την αρχιτεκτονική, η οπτική ίνα καταλήγει σε κάποιο κτίριο (FTTB) (συνήθως μέχρι τον καταναλωτή) στο οποίο βρίσκεται ο χώρος του τελικού χρήστη, αλλά δε φτάνει μέχρι το χώρο του. Πρόκειται για έναν τύπο εγκατάστασης καλωδίων, όπου το καλώδιο οπτικών ινών πηγαίνει σε ένα σημείο ή σε ένα κοινό κτήριο και παρέχει τη σύνδεση με ενιαίο τρόπο σε σπίτια, γραφεία ή άλλους χώρους. Από το σημείο αυτό έως τον τελικό χρήστη υπάρχει διαφορετική εγκατάσταση συνήθως απλού ομοαξονικού καλωδίου ή ακόμα και ασύρματη μετάδοση. Οι εφαρμογές FTTB χρησιμοποιούν συχνά τις ενεργητικές ή παθητικές τεχνικές (AON -PON architecture) οπτικών δικτύων για τη διανομή σημάτων από κοινόχρηστο καλώδιο οπτικών ινών σε επιμέρους νοικοκυριά ή γραφεία. Τεχνικές που θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Έτσι λοιπόν, το FTTB χρησιμοποιείται κυρίως σε επιχειρήσεις διότι με αυτή την αρχιτεκτονική η οπτική ίνα φτάνει ακόμα πιο κοντά στον/στους τελικούς χρήστες σε αντίθεση με τις τεχνολογίες FTTN και FTTC. Έτσι σε ένα κτήριο μπορεί να επιτευχθεί σύνδεση με μεγαλύτερο εύρος ζώνης με ταχύτητες άνω των 100mbps σε download αλλά και σε upload. Ταχύτητες που τείνουν να είναι αναγκαίες στις μέρες μας σε ένα εργασιακό περιβάλλον.



## γ) FTTH

Στην αρχιτεκτονική αυτή της οπτικής ίνας στο σπίτι, η οποία είναι και η αρχιτεκτονική που μας ενδιαφέρει περισσότερο στην παρούσα έρευνά μας, η οπτική ίνα καταλήγει έως το υλικό διανομής του δικτύου εσωτερικά ενός σπιτιού, αντικαθιστώντας όλο το δίκτυο χαλκού που προϋπήρχε. Με αυτόν τρόπο μπορούν να εγγυηθούν στον χρήστη σταθερές συνδέσεις με μεγάλες ταχύτητας, κάτι το οποίο δεν μπορεί να επιτευχθεί με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές. Αυτή η αρχιτεκτονική έχει μονοπωλήσει το ενδιαφέρον ανάπτυξης των εταιριών τηλεπικοινωνίας τα τελευταία χρόνια.

### 4.3 Διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις αρχιτεκτονικές FTTH

Όπως αναφέρουμε και στο πρώτο κεφάλαιο, τα καλώδια οπτικών ινών είναι μικροσκοπικά νήματα κατασκευασμένα από πλαστικό ή γυαλί τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν εικονικές πληροφορίες σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

Καθώς οι οπτικές ίνες εκπέμπουν μέσω φωτός, το σήμα δεν εξασθενεί εύκολα και αποφεύγει τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Συνεπώς, το σήμα είναι πολύ σταθερό, εξασφαλίζοντας υψηλής ποιότητας ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων υψηλής ευκρίνειας σε πραγματικό χρόνο.

Δεδομένου ότι αυτά τα δεδομένα ταξιδεύουν σε όλη τη σύνδεση ινών, χρειάζονται έναν τρόπο να κατευθύνονται έτσι ώστε οι σωστές πληροφορίες να φτάνουν στον προορισμό τους.

Υπάρχουν εναλλακτικά σχέδια δικτύων που καθιστούν δυνατές τις ευρυζωνικές συνδέσεις ινών - ενεργά και παθητικά οπτικά δίκτυα (PassiveOpticalNetworks – ActiveOpticalNetworks). Κάθε σχεδίαση προσφέρει έναν τρόπο να διαχωριστούν τα δεδομένα και να ρυθμιστούν στην επιθυμητή διαδρομή για να φτάσουν στον προορισμό τους. Τα παθητικά και

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

ενεργά δίκτυα έχουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με το σκοπό τους τα οποία και θα τα αναλύσουμε παρακάτω.

## **Κεφάλαιο 5: FTTH – Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στην κατοικία**

### **Εισαγωγή**

Όπως προαναφέρθηκε ο όρος FiberToTheX αναφέρεται σε κάθε αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί τις οπτικές ίνες για να αντικαταστήσει το μεταλλικό κύκλωμα (χαλκός) έως ένα σημείο X ανάλογα με την αρχιτεκτονική που έχει επιλεγθεί. Στην κατηγορία FTTx υπάγεται και η τεχνολογία FTTH (FiberToTheHome), η οποία χρησιμοποιεί οπτική ίνα για να φτάσει μέχρι το εκάστοτε διαμέρισμα που έχει αιτηθεί την αντίστοιχη εγκατάσταση και ο τερματισμός αυτής μπορεί να είναι είτε ενεργητικός (AON δίκτυο) όπου υπάρχει περίπτωση η μεταφορά των σημάτων να γίνεται με διαφορετικό μέσο μέχρι τη συσκευή, είτε παθητικός (PON δίκτυο).

### **5.1 Δομή ενός δικτύου FTTH**

Η δομή ενός δικτύου FTTH αποτελείται από διάφορα στοιχεία τα οποία αφορούν τον τύπο και τη συγκέντρωση των καλωδίων στο εκάστοτε δίκτυο. Αναφορικά τα στοιχεία αυτά, ξεκινώντας από την πλευρά του χρήστη και προς τα έξω, είναι τα παρακάτω (Keiser, 2006):

- Εσωτερικά καλώδια συνδρομητών (Internal cabling), είναι αυτά που αποτελούν την καλωδίωση του σπιτιού τα οποία είναι χάλκινα.
- Καλώδια πρόσβασης συνδρομητών (Drop cabling).
- Σημεία πρόσβασης συνδρομητών (Network Access Points – NAP).
- Καλώδια διανομής (Distribution cabling).
- Τοπικά σημεία σύγκλισης (Local convergence point – LCP).
- Καλώδια τροφοδοσίας (Feeder cabling).
- Κεντρικό γραφείο (Central Office – CO) ή σημείο παρουσίας (Point of Presence – POP) ή κεντρικό σημείο μεταγωγής (Central switch point).

## 5.2 Διάταξη σημείο προς σημείο (point-to-point)

Σε αυτή την περίπτωση, σε κάθε οικία καταλήγει μια γραμμή οπτικής ίνας, απευθείας από το τηλεφωνικό κέντρο. Στη διάταξη αυτή υπάρχει το πλεονέκτημα ύπαρξης ενός μεγαλύτερου δυνατού εύρους ζώνης (με μηδενικές ενεργές διατάξεις πολύπλεξης).

Η αρχιτεκτονική αυτή εφαρμόστηκε αρχικά στον τομέα των επιχειρήσεων για την ασφάλεια και τις μεγάλες ταχύτητες που μπορεί να υποστηρίξει (1Gbps) και στη συνέχεια κέντρισε το ενδιαφέρον αρκετών παρόχων για τη δημιουργία και οικιακών συνδέσεων. Λόγω όμως τους όγκου και της συμφόρησης των καλωδίων των οπτικών ινών στο σημείο του τηλεφωνικού κέντρου, η διάταξη αυτή δεν είναι και η καλύτερη δυνατή και γι' αυτό δεν ενδείκνυται στη σημερινή αρχιτεκτονική δικτύων.

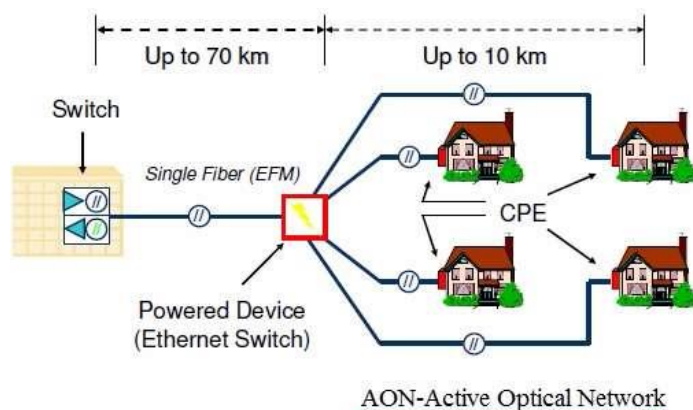
## 5.3 Ενεργός Διαχωρισμός (AON)

Μια Active Optical Network (AON) τεχνολογία χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για εξοπλισμό μεταγωγής, όπως δρομολογητές ή συσσωρευτή διακοπών για να διαχειριστεί τη διανομή του σήματος και την κατεύθυνση στους σωστούς τελικούς χρήστες. Αυτοί οι διακόπτες ανοίγουν και κλείνουν για να εξασφαλιστεί ότι τα εξερχόμενα και εισερχόμενα μηνύματα κινούνται προς τη σωστή κατεύθυνση. Σε αυτό το σχέδιο, οι δεσμευμένες οπτικές ίνες κατευθύνονται στις εγκαταστάσεις των τελικών χρηστών. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι :

- Ο εκάστοτε συνδρομητής έχει μία δεσμευμένη οπτική ίνα.
- Χρησιμοποιεί ενεργά στοιχεία όπως ενισχυτές, αναμεταδότες, ή κυκλώματα διαμόρφωσης για να διαχειριστεί τη διανομή του σήματος.

## Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

- Τα δίκτυα AON μπορούν να καλύψουν ένα εύρος έως περίπου 100 χλμ., σε αντίθεση με ένα δίκτυο PON που περιορίζεται τυπικά σε καλώδιο οπτικών ινών με μήκος έως 20 km.
- Ευέλικτη λύση κατάλληλη για τις επιχειρήσεις.
- Το κόστος είναι υψηλότερο σε ένα κτίριο με ενεργά δίκτυα διότι απαιτεί περισσότερες οπτικές ίνες.



Εικόνα 5.1: Ενεργός Διαχωρισμός (AON)

### 5.4 Παθητικός Διαχωρισμός (PON)

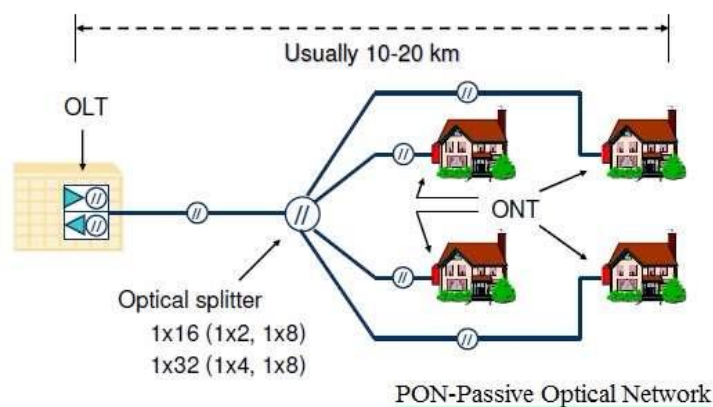
Όπως φαίνεται και στις εικόνες 5.1 και 5.2, οι διαφορές των δύο αυτών οπτικών δικτύων είναι στον τρόπο διαχωρισμού του σήματος. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα τεχνολογίας PON (Passive Optical Network) έχουν και αυτά μια οπτική ίνα μετάδοσης σημάτων έως ένα σημείο αλλά από εκεί και έπειτα για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός αυτών υπάρχει και ένας καθρέφτης και διαχωρίζει το οπτικό σήμα σε πιο πολλά αντίγραφα τα οποία προωθούνται προς τους χρήστες.

Έτσι επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση ενέργειας καθώς δεν χρειάζεται η τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος που αναφέρθηκε παραπάνω στα δίκτυα AON. Όμως, σε αυτή την περίπτωση, λόγω της τεχνικής της πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων, είναι αναγκαία και η ύπαρξη κατάλληλων τερματικών συσκευών στο χώρο του πελάτη άρα και μεγαλύτερο κόστος.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι :

- Μοιράζεται οπτικές ίνες για ένα τμήμα του δικτύου.
- Επειδή το εύρος ζώνης σε ένα PON δεν είναι δεσμευμένο σε μεμονωμένους συνδρομητές, η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μπορεί να επιβραδυνθεί κατά τη διάρκεια των μέγιστων χρόνων χρήσης, φαινόμενο γνωστό ως λανθάνουσα κατάσταση. Η καθυστέρηση αυτή υποβαθμίζει γρήγορα υπηρεσίες όπως ηχητικό και βίντεο, οι οποίες χρειάζονται ένα ομαλό ρυθμό για τη διατήρηση της ποιότητας.
- Χρησιμοποιεί οπτικούς διαχωριστές για να διαχωρίσει και να συγκεντρώσει το σήμα.
- Κάθε φορά που το σήμα χωρίζεται με δύο τρόπους, το ήμισυ της ενέργειας πηγαίνει προς μία κατεύθυνση και το υπόλοιπο μισό πηγαίνει στο άλλο, επομένως τα δίκτυα PON έχουν μικρότερο εύρος κάλυψης που περιορίζεται από την ισχύ του σήματος.
- Η ισχύς ενέργειας απαιτείται μόνο στα άκρα.
- Άκαμπτη λύση κατάλληλη για κατοικίες.
- Τα δίκτυα PON έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής με χαμηλότερο κόστος συντήρησης.
- Τα δίκτυα PON επίσης δυσκολεύουν να απομονώσουν μια αποτυχία όταν εμφανιστεί.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχει η δυνατότητα να σχηματιστούν υβριδικά συστήματα ώστε να χρησιμοποιούν και τις δύο τεχνικές, ενεργές και παθητικές, σε ορισμένα συστήματα FTTH ([www.hymax.co.za](http://www.hymax.co.za), n.d.).



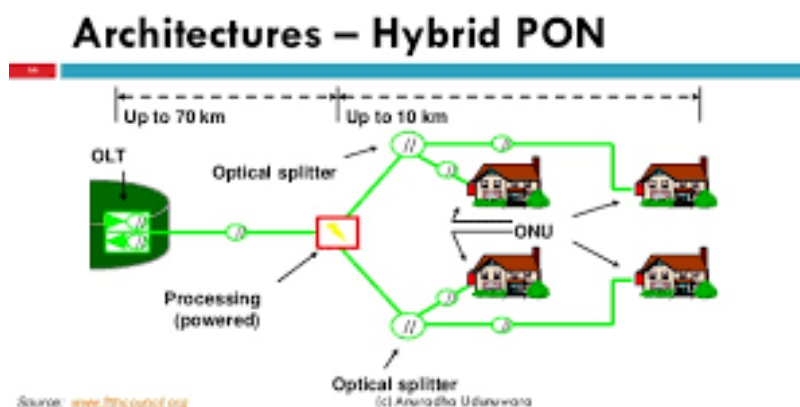
Εικόνα 5.2: Παθητικός Διαχωρισμός (PON)

## 5.5 Υβριδικά δίκτυα PON

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

Επίσης, άλλος συνδυασμός μπορεί να περιλαμβάνει Home Run δίκτυο μαζί με παθητικό PON δίκτυο. Για παράδειγμα, σε μερικά δίκτυα, χρησιμοποιούνται δύο αποκλειστικές οπτικές ίνες για το συνδρομητή. Η πρώτη ίνα δίνει τηλεφωνία, βίντεο κατά απαίτηση (video on demand) και πρόσβαση στο διαδίκτυο, ενώ η δεύτερη ίνα χρησιμοποιείται για μετάδοση τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας, μέσω χρήσης PON εξοπλισμού στο κεντρικό γραφείο.

Η επιλογή της κατάλληλης αρχιτεκτονικής για ένα δίκτυο πρόσβασης συχνά απαιτεί ενδελεχή εξέταση. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει νικητής από τις παραπάνω τοπολογίες, αφού στην αγορά διαφορετικές αρχιτεκτονικές ταιριάζουν σε διαφορετικές απαιτήσεις που έχουν οι τεχνικές και εμπορικές μελέτες. Στο επόμενο σχήμα (Εικόνα 5.3) φαίνεται η εικόνα ενός δικτύου που συνδυάζει AON και PON τοπολογίες (Hadjifotiou, Grace, & Tuomi., 2005).



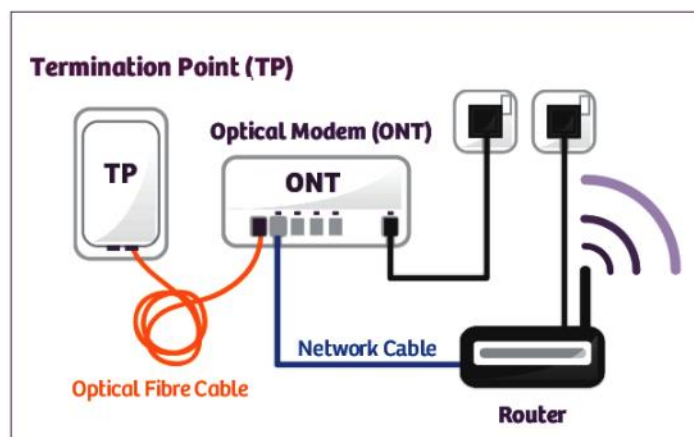
Εικόνα 5.3: Υβριδικά δίκτυα PON

## 5.6 Home Run δίκτυα

Η Home Run αρχιτεκτονική (αλλιώς αναφέρεται και σαν από σημείο σε σημείο αρχιτεκτονική – point to point/ P2P ή σαν single star) αποτελείται από οπτικές ίνες που είναι αποκλειστικές για τους συνδρομητές από το σημείο μεταγωγής μέχρι τις κατοικίες τους στα ONTs (Optical Network Terminal). Η αρχιτεκτονική αυτή είναι ακριβή, γιατί απαιτεί σημαντικά περισσότερη οπτική ίνα αλλά και περισσότερο ενεργό εξοπλισμό – OLT (Optical Line Termination) – στο κεντρικό γραφείο (συγκεκριμένα μία OLT θύρα για κάθε σπίτι ή δύο αν δεν υπάρχει τεχνολογία WDM). Οι συνδρομητές μπορούν να βρίσκονται σε απόσταση μέχρι και 80 χιλιόμετρα από το κεντρικό γραφείο. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι αρκετά ελκυστική σε σχέση με τις υπόλοιπες για το χρήστη, αλλά με υψηλά κόστη, λόγω των πολλών ανεξάρτητων καλωδίων ινών, κάνοντας το δίκτυο μερικές φορές άβολο και ακριβό στη συντήρηση.

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





Εικόνα 5.4: Οπτικό τερματικό δικτύου Home Run

## 5.7 Δίκτυα TDM PONs

Τα παθητικά δίκτυα που χρησιμοποιούνται πολύ είναι αυτά που βασίζονται σε TDM τεχνολογία οπτικών δικτύων. Πάνω σε αυτά εφαρμόζονται οι βασικές αρχές του TDM (πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου) για τη μετάδοση δεδομένων. Λειτουργούν μόνο με μια απλή οπτική ίνα και όταν είναι αναγκαία μια αμφίδρομη μετάδοση χρησιμοποιούν και την τεχνολογία WDM. Κατά τη διάρκεια της λήψης δεδομένων, στην οποία χρησιμοποιείται και η κατάλληλη κρυπτογράφηση, γίνεται μετάδοση TDM σε πολλούς διαφορετικούς παραλήπτες, ενώ στην αποστολή υπάρχει μια TDMA μετάδοση με συνεχείς ριπές μεταδόσεων που γίνονται έτσι ώστε να μην περιορίζονται, αν όχι να αποκλείονται τυχόν επικαλύψεις.

Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες, στη σημερινή εποχή, των TDM PONs είναι αυτά που βασίζονται σε ATM (Asynchronous Transfer Mode) τα λεγόμενα APONs ή BPONs (Broadband PONs) και τα GPONs (1 Gbps) καθώς και αυτά που βασίζονται στην Ethernet τεχνολογία, τα λεγόμενα EPONs (Lam, 2007). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) εμφανίζονται συγκριτικά στοιχεία των παραπάνω κατηγοριών και στη συνέχεια πληροφορίες αυτών.

Χαρακτηριστικά	BPON	EPON	GPON
Πρότυπο	ITU (G.983.x) (FSAN)	IEEE 802.3ah (EFM)	ITU (G.984.x)
Λήψη	622 Mbps	1.2 Gbps	622M, 1.2G, 2.4G
Αποστολή	155 Mbps	1.2 Gbps	622M, 1.2G, 2.4G
Μέγιστη απόσταση	20 km	20 km	20 km
Μέγιστος διαχωρισμός	1:32	1:32	1:32, 1:64, 1:128
Τύπος μετάδοσης	ATM (IP over ATM)	Ethernet	GEM (ATM, IP, TDM)
Φωνή	VoATM	VoIP	VoATM, VoIP, VoTDM
Βίντεο	RF Video, IP Video	RF Video, IP Video	RF Video, IP Video
QOS	ATM, DBA (VLAN)	Ethernet (VLAN)	GEM (ATM, IP, TDM)
Θετικά	Κόστος, Διαλειτουργικότητα, Κληρονομιά ATM	Κόστος, Κληρονομιά Ethernet	Ευελιξία, Μέγιστος διαχωρισμός
Αρνητικά	Εύρος μετάδοσης, Διαχείριση από ATM	TDM, ATM, QoS, Διαλειτουργικότητα	Κόστος, Διαθεσιμότητα κυκλωμάτων

Πίνακας 1

- ITU – T G.983 APON (ATM PON): Το αρχικό πρωτόκολλο για PON. Αναπτύχθηκε κυρίως για εφαρμογές επιχειρήσεων και όχι για γενική χρήση και βασίζεται στο ATM πρωτόκολλο.

- ITU – T G.983 BPON (Broadband PON): Είναι η μετεξέλιξη του APON και για αυτό ιστορικά είναι από τα πρώτα πρότυπα που παρουσιάστηκαν. Προσθέτει υποστήριξη για WDM, υψηλότερη ρυθμαπόδοση, δυναμική απόδοση χωρητικότητας και επιβιωσιμότητα. Συνοδεύεται από το πρότυπο OMCI για διαχείριση των στοιχείων μεταξύ OLT και ONU/ ONT, επιτρέποντας την ανάμιξη συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Μία τυπική αρχιτεκτονική BPON παρέχει 622 Mbps (OC-12) downstream και 155 Mbps (OC – 3) για upstream, αν και το πρότυπο υποστηρίζει θεωρητικά και μεγαλύτερες ταχύτητες. Η αρχιτεκτονική του BPON είναι αρκετά ευέλικτη και προσαρμόζεται σε διαφορετικά σενάρια. Το πρωτόκολλο ATM, στο οποίο βασίζεται η αρχιτεκτονική BPON, παρέχει στήριξη για διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών μέσω επιπέδων προσαρμογής. Το μικρό μέγεθος των ATM κελιών και η χρήση εικονικών καναλιών, επιτρέπουν τη δέσμευση διαθέσιμου εύρους ζώνης στους τελικούς χρήστες με σωστή διαβάθμιση. Επιπλέον, η υλοποίηση ATM σε δίκτυα κορμού μητροπολιτικών δικτύων και η εύκολη διασύνδεση με τεχνολογίες SONET/ SDH επιτρέπει τη χρήση μόνο ενός πρωτοκόλλου από ένα χρήστη στον άλλο. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας ATM στάθηκαν εμπόδιο για την ανάπτυξη των BPON δικτύων, γιατί η πολυπλοκότητα που έχουν είναι μεγάλη και πολλές φορές περιπτή.
- ITU – T G.984 GPON (Gigabit PON): Όσον αφορά τη λειτουργικότητα, είναι η μετεξέλιξη του προτύπου BPON, αν και δε βασίζεται μόνο στο πρωτόκολλο ATM όπως στα BPON συστήματα. Χρησιμοποιείται μια αρκετά απλότερη γενική διαδικασία πλαισιοποίησης (Generic Framing Procedure – GFP), που μπορεί να παρέχει υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Το μεγάλο πλεονέκτημα των GPON είναι ότι οι διασυνδέσεις σε όλες τις υπηρεσίες παρέχονται κι έτσι τα πακέτα που βασίζονται στη διαδικασία GFP και ανήκουν σε διαφορετικά πρωτόκολλα, μπορούν να αποσταλούν στη φυσική τους μορφή. Επιτρέπει υψηλότερες ταχύτητες, αυξημένη ασφάλεια, και επιλογή πρωτοκόλλου (ATM, GEM, Ethernet). Η τυπική ταχύτητα είναι 2.488

Gbps downstream και 1.244 Gbps upstream. Σήμερα η GPON είναι το πρότυπο επιλογής μεγάλων τηλεπικοινωνιακών φορέων κυρίως της Αμερικής.

- IEEE 802.3ah EPON ή GEPON (Ethernet PON): Είναι ένα πρότυπο της IEEE με χρήση αποκλειστικά Ethernet για την ενθυλάκωση των πακέτων δεδομένων. Το 802.3ah είναι πλέον μέρος του προτύπου IEEE 802.3. Ολοκληρώθηκε ως μέρος του Ethernet First Mile (EFM). Χρησιμοποιεί απλοποιημένα πλαίσια κατά 802.3 Ethernet με συμμετρικές ταχύτητες 1 Gbps και στις δύο κατευθύνσεις. Έχει απεριόριστο θεωρητικό λόγο διαχωρισμού (splitting rate) και πρακτικά μπορεί να υποστηρίξει 1:64 με φθηνότερο εξοπλισμό απ' ό,τι η GPON. Το EPON είναι κατάλληλο τόσο για εφαρμογές απλών δεδομένων αλλά και για πλήρεις υπηρεσίες φωνής και video. Σήμερα είναι εγκατεστημένες περίπου 15 εκατομμύρια θύρες EPON. Με την εμπλοκή της Κίνας στην εντατική ανάπτυξη δικτύων EPON, η εγκατεστημένη βάση αναμένεται να ανέβει στις 20 εκατομμύρια θύρες έως το τέλος του 2008.
- IEEE 802.3av 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON): Είναι ένα πρότυπο της IEEE Task Force για υποστήριξη αυξημένων απαιτήσεων έως 10 Gbps και είναι συμβατό με το 802.3ah EPON. Το 10GigEPON χρησιμοποιεί διακριτά μήκη κύματος για 10G και 1G downstream, ενώ εξακολουθεί να χρησιμοποιεί κοινό μήκος κύματος και για 10G και 1G upstream με διαχωρισμό ATDMA . Προδιαγράφεται τόσο η άμεση χρήση του από τις ασιατικές χώρες όσο και ο μελλοντικός συνδυασμός του με κάποια μορφή WDM-PON στα άκρα, δεδομένου ότι έχει τη δυνατότητα χρήσης πολλαπλών μηκών κύματος και στις δύο κατευθύνσεις.

## 5.8 Πρωτόκολλα ATM και Ethernet

Τα πρωτόκολλα τεχνολογίας είναι απαραίτητα για την μετάδοση των ψηφιακών σημάτων μέσω της οπτικής ίνας καθώς διαχειρίζονται τη ροή των

δεδομένων (upstream- downstream) και την τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Τα πρωτόκολλα ATM και Ethernet έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία FTTH, σε οπτικά και ηλεκτρικά σήματα.

Όσον αφορά το τηλεπικοινωνιακό ATM δίκτυο (Asynchronous Transfer Mode), πρόκειται για μια εξελιγμένη μορφή τηλεφωνικού δικτύου όπου επιτυγχάνεται σύνδεση μεταξύ δύο σημείων. Λειτουργεί ως μηχανισμός που μεταφέρει πακέτα δεδομένων, που είναι μικρά και έχουν καθορισμένο μήκος, ακόμα και όταν η επικοινωνία έχει διακοπεί. Καθώς υπάρχουν πολλές σειρές μεταβλητού μήκους (strings) στα δεδομένα διαδικτύου (IP protocol), αυτές διασπώνται σε πολλά ATM πακέτα. Αυτά με τη σειρά τους χρειάζεται να συγκερατούν πληροφορίες που στο τέλος της διαδρομής θα δώσουν τη δυνατότητα στα δεδομένα να συναρμολογηθούν και να πάρουν την αρχική τους μορφή. Με αυτόν τον τρόπο το ATM λειτουργεί ως ενιαίο κύκλωμα μεταφοράς, πολύπλεξης και μεταγωγής πληροφοριών κάθε είδους μέσα από ένα τόσο απλό μηχανισμό ενώ παρέχει όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας.

Σημαντικό είναι το γεγονός ότι υπάρχει ελάχιστος έλεγχος λαθών και ροής με άμεσο αποτέλεσμα την επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων μεταφοράς. Το ATM δίκτυο είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο στη διαχείριση της φωνής. Τέλος τα ATM ανταποκρίνονται περισσότερο στη μετάδοση IP δεδομένων για τη τεχνολογία FTTH και προκαλούν το ενδιαφέρον των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών για ευρεία και κυρίαρχη χρήση τους στο μέλλον.

Από την άλλη μεριά το πρωτόκολλο Ethernet αποτέλεσε μια εξέλιξη από τα δίκτυα των υπολογιστών. Εδώ τα πακέτα δεδομένων είναι μεγαλύτερου μεταβλητού μήκους και ευνοούν τη μετάδοση και τον χειρισμό των δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι η ευρεία χρήση του έχει καταστήσει οικονομικά φθηνότερα τα Ethernet προϊόντα. Σχετικά με τη μετάδοση της φωνής το Ethernet μειονεκτεί ως προς την ποιότητα εκπομπής. Γι' αυτό το λόγο γίνεται προσπάθεια να βελτιώνεται ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων όσο πιο άμεσα γίνεται και χωρίς απώλειες.

## 5.9 Δίκτυα WDM PONs

Στις μέρες μας η αυξανόμενη απαίτηση της αγοράς για μεγαλύτερες «ταχύτητες» Download και Upload είναι ραγδαία. Τα δίκτυα WDM PON είναι άλλος ένας τύπος PON ο οποίος κάνει χρήση διακριτών μηκών κύματος με τα οποία μπορούν να επιτευχθούν αυτές οι μεγάλες τιμές λήψης και αποστολής δεδομένων, καθώς υπόσχεται πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις μειώνοντας τις απώλειες ισχύος, με την αποφυγή σε απώλειες, διαχωριστών. Η εφαρμογή των πολλαπλών μηκών κύματος γίνεται για την εκμετάλλευση χαμηλότερων καθυστερήσεων και μεγαλύτερο ρυθμό απόδοσης αλλά και ακόμα για τη δημιουργία εικονικών παθητικών δικτύων τα οποία έχουν εγκατασταθεί στην ίδια τη συσκευή. Διακρίνονται δύο τύποι πολυπλεξίας μήκους κύματος, το CWDM το οποίο υποστηρίζει 3-5 μήκη κύματος και το DWDM που υποστηρίζει 5 μήκη κύματος.

Το πρόβλημα που υπάρχει με τα WDM PONs είναι ότι οι αναβαθμίσεις ενός τέτοιου είδους δικτύου παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες καθώς απαιτούνται χειροκίνητες ρυθμίσεις στους τερματικούς εξοπλισμούς των χρηστών. Αυτό συμβαίνει γιατί μόνο μια κυματομορφή αναθέεται σε μια τερματική μονάδα του δικτύου (ONU) με αμετάβλητο τρόπο.

Λόγω όμως του κόστους που χρειάζεται αυτή η τεχνολογία τόσο στους εξοπλισμούς όσο και στις υπηρεσίες διαίρεσης μήκους κύματος έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι οικονομικά αποδοτική (Murphy & Nowak, 2005).

## **Κεφάλαιο 6: FTTH στην Ελλάδα**

### **Εισαγωγή**

Από το 2008 είχαν αρχίσει οι συζητήσεις-μελέτες για την υλοποίηση του οπτικού δικτύου στην Ελλάδα. Τότε, η πρώτη μελέτη είχε εκπονηθεί και πρότεινε την ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών αποκλειστικά στα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς η αντίληψη που επικρατούσε ήταν πως μόνο εκεί θα υπήρχε βιωσιμότητα της υπηρεσίας κάτι το οποίο δεν εφαρμόστηκε. Στην συνέχεια, εξαγγέλθηκε η δημιουργία ενός εκατομμυρίου συνδέσεων οπτικών ινών σε όλες τις πόλεις της χώρας, όμως ούτε αυτό υλοποιήθηκε.

Ύστερα από σχετικό διαγωνισμό του υπουργείου Υποδομών το 2011, η κοινοπραξία «Ευρωσύμβουλοι - ΕΠΙΤΣ - ΕΠΙΣΕΥ» ανέλαβε ρόλο τεχνοοικονομικού συμβούλου, που θα επανακαθορίσει το τελικό φυσικό αντικείμενο του έργου και τον νέο νομικό σύμβουλο. Ο νέος σύμβουλος του έργου κλήθηκε να κάνει επαναπροσδιορισμό του έργου όσων αφορά την έκταση αλλά και την τεχνοοικονομική του διάσταση. Αυτό προέκυψε λόγω του υψηλού κόστος μιας τέτοιας επένδυσης οπτικών ινών από άποψη υλικού αλλά και στη συνέχεια από το κόστος που θα έπρεπε να επιβαρυνθεί ο τελικός χρήστης της. Ο στόχος ήταν να βρεθεί ένα πιο οικονομικά βιώσιμο σχέδιο.

Στη συνέχεια η χώρα μας παρουσίασε ένα πολύπλοκο πλάνο με σύμπραξη ιδιωτικού και δημοσίου τομέα (ΣΔΙΤ), κρατική επιδότηση και ευρωπαϊκούς πόρους. Τα υπουργεία Υποδομών, Οικονομικών και Περιφερειακής Ανάπτυξης, κλήθηκαν να συμβασιοποιήσουν το σχέδιο, το οποίο πήρε τον δρόμο του διαγωνισμού, έπειτα από την έγκριση της Ε.Ε. Το σχέδιο είχε προβλεφθεί πως θα ξεκινήσει περί τα μέσα του 2013.

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του έργου ήταν (“www.yme.gr,” n.d.):

- Το δίκτυο οπτικής ίνας να είναι ένα ανοικτό δίκτυο πρόσβασης (Open Access)
- Να παρέχεται οπτική ίνα για την κάλυψη των απαιτήσεων των χρηστών τουλάχιστον στα 100Mbps ανά χρήστη.
- Μοντέλο για τον πάροχο κατασκευής, συντήρησης και δυνατότητα παθητικής υποδομής (σκοτεινής ίνας) για τους παρόχους επικοινωνίας.
- Εκτιμώμενη διάρκεια υλοποίησης του έργου: 7 χρόνια  
(“www.tovima.gr,” n.d.)

## 6.1 Πάροχοι FTTH στην Ελλάδα

### 6.1.1 Όμιλος Nova

Ήδη τα τελευταία 5 χρόνια στην Ελλάδα έχουν αρχίσει την ανάπτυξη του οπτικού δικτύου οι εταιρίες παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών. Η αρχή έγινε το 2012 από τον όμιλο Nova (πρώην Forthnet) ο οποίος στην ουσία έδειξε τον δρόμο προς τα οπτικά δίκτυα υλοποιώντας το πρώτο πιλοτικό οπτικό δίκτυο μέχρι το σπίτι του εκάστοτε καταναλωτή. Σε συνεργασία με τον Δήμο Νέας Σμύρνης και τεχνολογικούς παρόχους το έργο ξεκίνησε το 2012 στην Αττική. Σε πρώτη φάση το σχέδιο ήθελε να γίνει κάλυψη τουλάχιστον 2000 νοικοκυριών.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα FTTC που είχαν αρχίσει ήδη να υλοποιούνται από άλλες εταιρίες παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών, τα δίκτυα FTTH ήταν κάτι πρωτόγνωρο και ταυτόχρονα εντυπωσιακό. Ο όμιλος NOVA δηλώνει πως οι δυνατότητες του δικτύου FTTH για πραγματικές ευρυζωνικές υπηρεσίες είναι απεριόριστες περιλαμβάνοντας όχι μόνο φωνή και γρήγορο internet, αλλά επίσης υπηρεσίες τηλεόρασης, gaming, cloud services και άλλες. Το δίκτυο έχει μεγάλες δυνατότητες φθάνοντας σε ταχύτητα το **1 Gbps** στο download και τα **100 Mbps** στο upload. Μέχρι στιγμής όμως οι





### 6.1.2 Όμιλος COSMOTE

Όντας ο πρώτος όμιλος τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα, ο όμιλος COSMOTE (πρώην ΟΤΕ) διαθέτει την συντριπτική πλειοψηφία των τηλεπικοινωνιακών γραμμών της Ελλάδας. Ήδη, τα τελευταία 7 χρόνια έχει αναπτύξει και υλοποιήσει την αρχιτεκτονική FTTC σε πολλά σημεία της επικράτειας με την υπηρεσία VDSL , κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, παρέχοντας στους συνδρομητές του που επιλέγουν αυτή την υπηρεσία υψηλότερο εύρος ζώνης σε σχέση με το παλαιού τύπου ADSL, με ταχύτητες που φτάνουν τα 50mbps στο download και 5mbps στο upload. Πρόσφατα έχει ανακοινώσει την μετάβαση στην τεχνολογία vectoring – super vectoring η οποία θα έχει την δυνατότητα να προσφέρει ακόμα μεγαλύτερο εύρος ζώνης στους καταναλωτές άνω των 100mbps και έως τα 300mbps διατηρώντας την ήδη υπάρχουσα καλωδίωση από την καμπίνα έως την κατοικία.

Με αυτόν τον τρόπο ο όμιλος COSMOTE εξασφαλίζει ένα μεγάλο κομμάτι κάλυψης από οπτική ίνα σε αρκετά πυκνοκατοικημένες περιοχές αφού ως επί το πλείστον η οπτική ίνα φτάνει έως την καμπίνα παροχής στην εκάστοτε περιοχή με ακτίνα έως 400μέτρα κατά προσέγγιση από την κάθε οικία. Αυτό, καθιστά μέγιστο πλεονέκτημα για μία εταιρία που έχει σκοπό να αναπτύξει το δίκτυό της σταδιακά στο μέλλον σε FTTH διότι ήδη έχει έτοιμη και λειτουργική την οπτική ίνα σε πολύ μικρή απόσταση από τον εκάστοτε ενδιαφερόμενο μειώνοντας όχι μόνο το χρόνο διεκπεραίωσης, αλλά και το κόστος (“www.tovima.gr,” n.d.).

Ήδη από τον Ιούνιο του 2016 ο όμιλος Cosmote έχει αρχίσει δοκιμαστικές εγκαταστάσεις οπτικής ίνας στο κέντρο της Πρωτεύουσας με ταχύτητες που αγγίζουν τα 100mbps.

Πριν από λίγους μήνες, τον Απρίλιου του 2017, ο όμιλος COSMOTE ανακοίνωσε πως ήδη 50 σπίτια-επιχειρήσεις στην περιοχή Ζωγράφου του Δήμου Αθήνας μέσω του πιλοτικού προγράμματος FTTH έχουν υπηρεσίες internet με συμμετρική ταχύτητα 1Gbps (1Gbps Download και 1Gbps Upload) δωρεάν για την δοκιμαστική περίοδο.

Τέλος, ο όμιλος ΟΤΕ έχει ανακοινώσει πως το FTTH αποτελεί στρατηγικό στόχο για τα μελλοντικά τεχνολογικά σχέδια της εταιρίας. Αυτό φαίνεται διότι ήδη την τελευταία διετία οι επενδύσεις ξεπέρασαν τα 2.000.000.000 € σε τεχνολογικές διασυνδέσεις και αναμένεται την επόμενη τετραετία να γίνουν αντίστοιχες επενδύσεις της τάξης των 1.500.000.000 € (“www.startupper.gr,” n.d.).

### 6.1.3 Όμιλος Wind

Πρόσφατα, τον Μάιο του 2017, ο όμιλος Wind ΕΛΛΑΣ κατέθεσε στην Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) πλήρες επενδυτικό πλάνο για την άμεση ανάπτυξη του δικτύου οπτικών ινών της, αναφέροντας πως στα άμεσα σχέδιά της είναι η υλοποίηση FTTH περί το 2022 με ταχύτητες έως 1Gbps. Σκοπός της εταιρίας είναι να αναπτύξει το FTTH μέσω του supervectoring σε ποσοστό 30% FTTH και 70% vectoring (“www.kathimerini.gr,” n.d.).

Η ανακοίνωση του Ομίλου Wind ΕΛΛΑΣ :

« Μαρούσι, 22 Μαΐου 2017. Τη δέσμευση της να διαδραματίσει αποφασιστικό ρόλο στον ψηφιακό μετασχηματισμό της Ελλάδας μέσω της ανάπτυξης υποδομών υπέρ – υψηλών ταχυτήτων επιβεβαίωσε η WIND Ελλάς , καταθέτοντας πλήρες επενδυτικό πλάνο για δίκτυο οπτικών ινών (FFTx) στην Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ).

Το επενδυτικό πλάνο κατατέθηκε στην ΕΕΤΤ στο πλαίσιο της διαγωνιστικής διαδικασίας του κανονισμού “Vectoring” η οποία θα καθορίσει τον οδικό χάρτη για την ψηφιακή ανάπτυξη της χώρας σε επίπεδο υποδομών.

Έχοντας ήδη προγραμματίσει επενδύσεις για δίκτυα νέας γενιάς σε κινητή και σταθερή τηλεφωνία, που θα αγγίξουν το μισό δις. Ευρώ ως το 2022, η WIND Ελλάς στο πλάνο της για τις οπτικές ίνες αναφέρει αναλυτικά τις γεωγραφικές περιοχές στις οποίες θα επικεντρωθεί καθώς τις καινοτόμες

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

τεχνολογίες που θα αναπτύξει ώστε να προσφέρει ευρυζωνικές ταχύτητες που θα ξεκινούν από 100Mbps και θα φτάνουν το 1Gbps» (“www.wind.gr,” n.d.).

Η Καλαμάτα θα είναι η πρώτη πόλη στη χώρα μας που θα συνδεθεί στο διαδίκτυο με υπέρ – υψηλές ταχύτητες καθώς η WIND είναι έτοιμη να ολοκληρώσει άμεσα και μέχρι το τέλος Ιουλίου του 2017 το ιδιόκτητο δίκτυο οπτικών ινών που κατασκευάζει στην πόλη, εφόσον πάρει την έγκριση από την ΕΕΤΤ. Το δίκτυο οπτικών ινών της WIND θα καλύπτει το 88% των γραμμών της πόλης (“www.insider.gr,” n.d.).

#### **6.1.4 Inalan**

Η Εταιρία Inalan είναι μια νέα εταιρία στην χώρα η οποία έχει μπει για τα καλά στην υλοποίηση ιδιόκτητου δικτύου FTTH. Είναι ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος FTTH, εδρεύει στον δήμο Μεταμόρφωσης στην Αττική και έχει καλύψει ένα μεγάλο κομμάτι διαθεσιμότητας όχι μόνο στον δήμο Μεταμόρφωσης αλλά και στις γύρω περιοχές. Η εταιρία συνεργάζεται με τον γνωστό παγκόσμιο πάροχο διαδικτύου Cogent Communications (“www.cogentco.com,” n.d.) και το δίκτυο που εκμεταλλεύεται είναι στην ιδιοκτησία της παρέχοντας μεγάλες ταχύτητες στους συνδρομητές της τάξης των 100Mbps download και 100Mbps upload. Επιπλέον παροχές της εταιρίας είναι η IP TV αλλά και υπηρεσία VOIP σε συνεργασία με την εταιρία Yuboto.

Η εταιρία παρέχει επίσης και εταιρικά πακέτα Οπτικής Ίνας έως τα γραφεία, ήδη οι εταιρικοί πελάτες της αυξάνονται. Η ταχύτητα για ένα τέτοιο πακέτο φτάνει το 1Gbps.



Εικόνα 6.2: Δίκτυο παροχής Inalan FTTH και μελλοντικό πλάνο

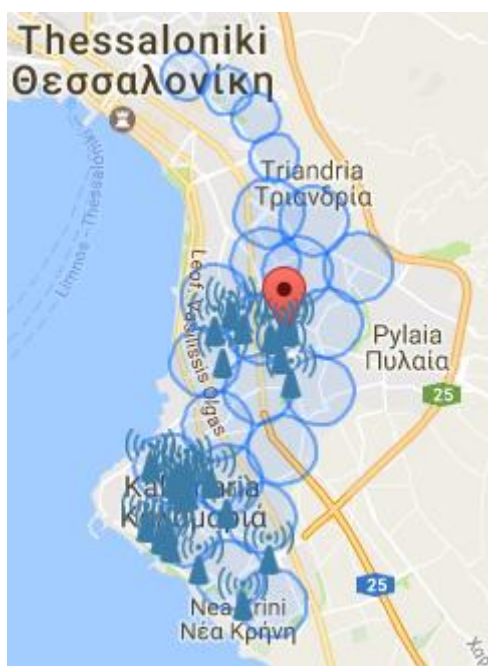
Με μπλε χρώμα διακρίνουμε την διαθεσιμότητα της εταιρίας ενώ με κόκκινο χρώμα είναι οι περιοχές που βρίσκονται εντός πλάνου (“www.inalan.gr,” n.d.).

### 6.1.5 HCN

Η Εταιρία HCN (Hellenic Cable Networks) είναι μια εταιρία παροχής FTTH η οποία έχει έδρα την Θεσσαλονίκη. Ιδρύθηκε τον Ιανουάριου του 2012 οπού και άμεσα ξεκίνησαν τα έργα για την υλοποίηση του δικτύου οπτικών ινών. Η εταιρία δραστηριοποιήθηκε συγκεκριμένα στον Δήμο Καλαμαριάς

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

οπού σχεδόν άμεσα συνέδεσε με FTTH τους πρώτους της πελάτες. Από το 2012 έως τώρα, η εταιρία αναπτύσσει τακτικά το δίκτυό της σε όλη την Θεσσαλονίκη καλύπτοντας 20 χιλιόμετρα διασχίζοντας σχεδόν όλη την Θεσσαλονίκη προσφέροντας Internet, IP TV και VOIP στους πελάτες της μέσω Οπτικής Ίνας με ταχύτητες έως 120Mbps download και 8Mbps upload (“www.hcn.gr,” n.d.).



Εικόνα 6.3: Δίκτυο κάλυψης HCN

## Συμπέρασμα – Επίλογος

Είναι αναμφισβήτητο πως η ανάπτυξη των οπτικών δικτύων παγκοσμίως έχει αλλάξει τα δεδομένα στην επικοινωνία και τη ψυχαγωγία των ανθρώπων. Το ίδιο συμβαίνει και στον τομέα της εργασίας όπου όλο και περισσότερες επιχειρήσεις ανά τον κόσμο επιλέγουν τις καινούριες τεχνολογίες οι οποίες αναπτύσσονται με ραγδαίο ρυθμό.

Αποτελεί γεγονός πως οι επιπτώσεις των δικτύων οπτικής ίνας συνδράμουν σε μέγιστο βαθμό στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα κάθε χώρας. Συγκεκριμένα, είναι βέβαιο πως με την αμεσότητα μετάδοσης των πληροφοριών εξοικονομείται χρόνος, παρέχεται αξιοπιστία και συνεχής ροή επικοινωνίας αναμεταξύ των επιχειρήσεων που συνδέονται με οπτική ίνα. Η καθαρότητα της σημερινής οπτικής ίνας, σε συνδυασμό βέβαια με τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, επιτρέπει στις οπτικές ίνες να διαβιβάσουν τα ψηφιοποιημένα φωτεινά σήματα χωρίς σφάλματα, σε μεγαλύτερες αποστάσεις από 100 χλμ. χωρίς ανάγκη ενίσχυσης.

Είναι ξεκάθαρο πως οι επιπτώσεις στην ζωή των πολιτών, που έχουν επιλέξει ήδη ή θα επιλέξουν την σύνδεση της κατοικίας τους με οπτική ίνα, είναι μεγάλες. Με την τεχνολογία FTTH, οι χρήστες μπορούν να εκμεταλλευτούν μια γκάμα από εξελιγμένες υπηρεσίες. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε την δυνατότητα τηλε-εργασίας, εκπαίδευσης, συνεδρίασης, μετάδοσης (streaming) βίντεο υψηλής ευκρίνειας και όλα αυτά ακόμα και σε πραγματικό χρόνο λόγω της αξιοπιστίας που προσφέρουν τα δίκτυα οπτικών ινών και της μεγάλης ταχύτητας τόσο για το γνωστό κατέβασμα (download) αλλά και το ανέβασμα (Upload) των δεδομένων.

Αξίζει να σημειώσουμε πως το πλεονέκτημα της τεχνολογίας FTTH είναι η συμμετρική της λειτουργικότητα η οποία επιτρέπει να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα η μέγιστη ταχύτητα τόσο για την αποστολή, όσο και για την λήψη δεδομένων. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον εκάστοτε χρήστη σε περίπτωση που το επιθυμεί να εκτελεί δύο διαφορετικές διαδικασίες ταυτόχρονα και εξίσου αποδοτικά.

Εν κατακλείδι, θα λέγαμε πως τα κύρια οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη σύνδεση οπτικής ίνας στην οικία, το γραφείο, την επιχείρηση, επικεντρώνονται στη βελτίωση της καθημερινότητας των πολιτών και των επιχειρήσεων. Ένα παράδειγμα κοινωνικού ενδιαφέροντος είναι πως η μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω οπτικής ίνας θα μπορούσε να συμβάλλει αποφασιστικά στο να σωθούν ζωές μέσω της τηλειατρικής αλλά και να περιοριστεί και η εγκληματικότητα.

Τέλος, η κατασκευή δικτύων οπτικών ινών και δη FTTH αποτελεί μια πολύπλοκη, χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία που έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης και κάλυψης περιοχών σε ολόκληρο τον πλανήτη.

## Βιβλιογραφία

- Agrawal, G. (2001). *Συστήματα Επικοινωνιών με Οπτικές Ίνες*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Augusto, J. C., & Nugget, C. D. (2006). *Designing Smart Homes, LNAI 4008*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Banerjee, A., & Sirbu, M. (2009). *Towards Technologically and Competitively Neutral Fiber to the Home (FTTH) Infrastructure*.
- broadband.cti.gr. (n.d.). Retrieved from [http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/fiber\\_optics.php](http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/fiber_optics.php)
- Byoung, K. (1999). *13th International Conference On Optical Fiber Sensors*.
- Chomycz, B. (2000). *Fiber Optics Installer's Field Manual*.
- Crisp, J., & Elliott, B. (2005). *Introduction to Fiber Optics, Third Edition*.
- Culshaw, B. (1997). *Optical Fiber Sensors III & IV*.
- Dutton, H. (1999). *Understanding Optical Communications*.
- Freeman, R. (2002). *Fiber Optic Systems for Telecommunications*. New York: John Wiley and Sons.



Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

- Gubbins (Ed.). (2007). *Analyst: AT&T may replace some FTTC with FTTP, Connected Planet*. Penton Media.
- Hadjifotiou, T., Grace, D., & Tuomi., I. (2005). *Broadband in Europe for All: A Multidisciplinary Approach. Second report on the multi-technological analysis of the "broadband for all" concept, focus on the listing of multi-technological key issues and practical roadmaps on how to tackle these issues*.
- Hayes, J. (1999). *Εγχειρίδιο Οπτικών Ινών*. Εκδόσεις Ίων.
- Hayes, J. (2005). *Fiber Optics Technician's Manual*.
- Health, N. (2014). *Could ultrafast broadband over copper speed the rollout of gigabit internet?*
- Kaminow, I. (1997). *Optical Fiber Telecommunications and Lightwave I, II, III Volume B* (Vol. B).
- Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. Hoboken. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Khare, R. (2004). *Fiber Optics and Optoelectronics*.
- Lam, C. (2007). *Passive Optical Networks. Principles and Practice*. Massachusetts, USA: Elsevier: Burlington.
- Lizuka, K. (1998). *Photonics for Fiber and Integrated Optics*.
- McCullough, & Don. (2005). *Flexibility is key to successful fiber to the premises deployments*.
- Murphy, J., & Nowak, D. (2005). *FTTH: The Overview of Existing Technologies. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering. Opto-Ireland Conference: Optoelectronics, Photonic Devices, and Optical Networks*. Dublin Ireland.
- Mynbaev, D., & Scheiner, L. (2001). *Fiber- Optic Communications Technology*. PrenticeHall.
- Nellist, J. (1996). *Understanding Telecommunications and Lightwave Systems: an Entry- Level Guide*.
- Nosu, K. (1997). *Optical Fdm Network Technologies*.

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

Randy, F. (2000). *Understanding Smart Sensors* (2nd Edition).

Sharma, A. (1999). *Fiber Optics and Photonics*.

Siderius, H., & Dijkstra, A. (2006). *Smart Metering for Households : Cost and Benefits for the Netherlands. Proceedings of the 4Th International Conference Eedal'06* (Vol. 1). Utrecht: SenterNovem.

Silva, D., & Henrique. (2005). *Optical Access Networks*.

Volotinen. (1999). *Reliability of Optical Fibers and Components*.

www.cogentco.com. (n.d.). Retrieved from <http://www.cogentco.com/en/>

www.cosmote.gr. (n.d.).

www.gizmodo.com.au. (n.d.). Retrieved from  
<https://www.gizmodo.com.au/2016/04/what-is-fttdp/>

www.hcn.gr. (n.d.).

www.hymax.co.za. (n.d.). Retrieved from <http://www.hymax.co.za/passive-and-active-optical-networks-what-is-the-difference/>

www.inalan.gr. (n.d.).

www.insider.gr. (n.d.). Retrieved from  
<http://www.insider.gr/epiheiriseis/tehnologia/49672/se-optikes-ines-kai-tahytites-eos-1-gbps-ependyei-i-wind>

www.kathimerini.gr. (n.d.). Retrieved from  
<http://www.kathimerini.gr/896410/article/epikairothta/ellada/ote-vodafone-wind-ependyoyn-250-ekat-se-diktya-neas-genias-sth-sta8erh>

www.newsbomb.gr. (n.d.). Retrieved from  
<http://www.newsbomb.gr/bombplus/tehnologia/story/218999/proto-pilotiko-ftth-apo-forthnet-kai-dimo-neas-smyrnis>

www.nova.gr. (n.d.).

www.optronics.gr. (n.d.). Retrieved from  
<http://www.optronics.gr/services/network-studies-design/ftth-design/%0A>

www.startupper.gr. (n.d.). Retrieved from <http://startupper.gr/οτε-pilotiki-prosvasi-1-gbps-sto-spiti-ftth/>

Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικής ίνας στο σπίτι (FTTH - Fiber to the Home)

www.thefoa.org. (n.d.). Retrieved from

<http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTA.html>

www.tovima.gr. (n.d.). Retrieved from

<http://www.tovima.gr/finance/article/?aid=397855>

www.wind.gr. (n.d.). Retrieved from [https://www.wind.gr/gr/wind/gia-tin-](https://www.wind.gr/gr/wind/gia-tin-etaireia/newsroom/deltia-typou/deltio-typou/?prid=825&accept=1&refer=https%253A%252F%252Foutlook.live.com%252F)

[etaireia/newsroom/deltia-typou/deltio-](https://www.wind.gr/gr/wind/gia-tin-etaireia/newsroom/deltia-typou/deltio-typou/?prid=825&accept=1&refer=https%253A%252F%252Foutlook.live.com%252F)

[typou/?prid=825&accept=1&refer=https%253A%252F%252Foutlook.live.com%252F](https://www.wind.gr/gr/wind/gia-tin-etaireia/newsroom/deltia-typou/deltio-typou/?prid=825&accept=1&refer=https%253A%252F%252Foutlook.live.com%252F)

www.yme.gr. (n.d.).

Αλεξανδρής, Α. (2002). *Οπτικές Ίνες*. Εκδόσεις Ίων.

Γαλανάκης, Ν. (2008). *Ανάλυση και ανάπτυξη σχεδίασης οπτικών ευρυζωνικών δικτύων νέας γενιάς*.